



Politecnico di Bari

Repository Istituzionale dei Prodotti della Ricerca del Politecnico di Bari

Integrating industrial symbiosis and waste management for circularity: a framework and a circular procurement portfolio model

This is a PhD Thesis

Original Citation:

Integrating industrial symbiosis and waste management for circularity: a framework and a circular procurement portfolio model / De Nicolo', Michele. - ELETTRONICO. - (2023). [10.60576/poliba/iris/de-nicolo-michele_phd2023]

Availability:

This version is available at <http://hdl.handle.net/11589/268340> since: 2024-04-03

Published version

DOI:10.60576/poliba/iris/de-nicolo-michele_phd2023

Publisher: Politecnico di Bari

Terms of use:

(Article begins on next page)

LIBERATORIA PER L'ARCHIVIAZIONE DELLA TESI DI DOTTORATO

Al Magnifico Rettore
del Politecnico di Bari

Il sottoscritto Michele De Nicolò, nato a Bari il 10/09/1964, residente a Capurso (BA) in via Giovanni Falcone n.12/A, e-mail michele.denicolo@poliba.it, iscritto al 3° anno di Corso di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Meccanica e Gestionale, ciclo XXXIV, essendo stato ammesso a sostenere l'esame finale con la prevista discussione della tesi dal titolo:

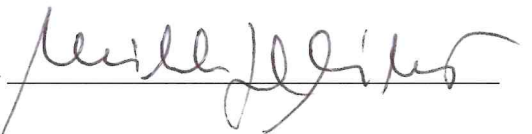
INTEGRATING INDUSTRIAL SYMBIOSIS AND WASTE MANAGEMENT FOR CIRCULARITY: A FRAMEWORK AND A CIRCULAR PROCUREMENT PORTFOLIO MODEL

DICHIARA

- 1) di essere consapevole che, ai sensi del D.P.R. n. 445 del 28.12.2000, le dichiarazioni mendaci, la falsità negli atti e l'uso di atti falsi sono puniti ai sensi del codice penale e delle Leggi speciali in materia, e che nel caso ricorressero dette ipotesi, decade fin dall'inizio e senza necessità di nessuna formalità dai benefici conseguenti al provvedimento emanato sulla base di tali dichiarazioni;
- 2) di essere iscritto al Corso di Dottorato di ricerca INGEGNERIA MECCANICA E GESTIONALE ciclo XXXIV, corso attivato ai sensi del "Regolamento dei Corsi di Dottorato di ricerca del Politecnico di Bari", emanato con D.R. n.286 del 01.07.2013;
- 3) di essere pienamente a conoscenza delle disposizioni contenute nel predetto Regolamento in merito alla procedura di deposito, pubblicazione e autoarchiviazione della tesi di dottorato nell'Archivio Istituzionale ad accesso aperto alla letteratura scientifica;
- 4) di essere consapevole che attraverso l'autoarchiviazione delle tesi nell'Archivio Istituzionale ad accesso aperto alla letteratura scientifica del Politecnico di Bari (IRIS-POLIBA), l'Ateneo archiverà e renderà consultabile in rete (nel rispetto della Policy di Ateneo di cui al D.R. 642 del 13.11.2015) il testo completo della tesi di dottorato, fatta salva la possibilità di sottoscrizione di apposite licenze per le relative condizioni di utilizzo (di cui al sito <http://www.creativecommons.it/Licenze>), e fatte salve, altresì, le eventuali esigenze di "embargo", legate a strette considerazioni sulla tutelabilità e sfruttamento industriale/commerciale dei contenuti della tesi, da rappresentarsi mediante compilazione e sottoscrizione del modulo in calce (Richiesta di embargo);
- 5) che la tesi da depositare in IRIS-POLIBA, in formato digitale (PDF/A) sarà del tutto identica a quelle **consegnate**/inviata/da inviarsi ai componenti della commissione per l'esame finale e a qualsiasi altra copia depositata presso gli Uffici del Politecnico di Bari in forma cartacea o digitale, ovvero a quella da discutere in sede di esame finale, a quella da depositare, a cura dell'Ateneo, presso le Biblioteche Nazionali Centrali di Roma e Firenze e presso tutti gli Uffici competenti per legge al momento del deposito stesso, e che di conseguenza va esclusa qualsiasi responsabilità del Politecnico di Bari per quanto riguarda eventuali errori, imprecisioni o omissioni nei contenuti della tesi;
- 6) che il contenuto e l'organizzazione della tesi è opera originale realizzata dal sottoscritto e non compromette in alcun modo i diritti di terzi, ivi compresi quelli relativi alla sicurezza dei dati personali; che pertanto il Politecnico di Bari ed i suoi funzionari sono in ogni caso esenti da responsabilità di qualsivoglia natura: civile, amministrativa e penale e saranno dal sottoscritto tenuti indenni da qualsiasi richiesta o rivendicazione da parte di terzi;
- 7) che il contenuto della tesi non infrange in alcun modo il diritto d'Autore né gli obblighi connessi alla salvaguardia di diritti morali od economici di altri autori o di altri aventi diritto, sia per testi, immagini, foto, tabelle, o altre parti di cui la tesi è composta.

Luogo e data, BARI 23/11/2023

Firma



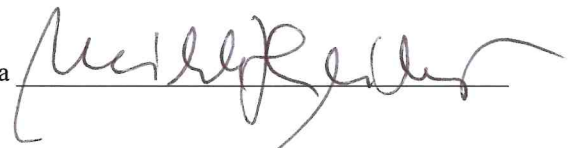
Il sottoscritto, con l'autoarchiviazione della propria tesi di dottorato nell'Archivio Istituzionale ad accesso aperto del Politecnico di Bari (POLIBA-IRIS), pur mantenendo su di essa tutti i diritti d'autore, morali ed economici, ai sensi della normativa vigente (Legge 633/1941 e ss.mm.ii.),

CONCEDE

- al Politecnico di Bari il permesso di trasferire l'opera su qualsiasi supporto e di convertirla in qualsiasi formato al fine di una corretta conservazione nel tempo. Il Politecnico di Bari garantisce che non verrà effettuata alcuna modifica al contenuto e alla struttura dell'opera.
- al Politecnico di Bari la possibilità di riprodurre l'opera in più di una copia per fini di sicurezza, back-up e conservazione.

Luogo e data, BARI 23/11/2023

Firma





Politecnico
di Bari

Department of Mechanics, Mathematics and Management

MECHANICAL AND MANAGEMENT ENGINEERING

Ph.D. Program

SSD: ING-IND/35 – BUSINESS AND MANAGEMENT ENGINEERING

Final Dissertation

Integrating Industrial Symbiosis and Waste
Management for Circularity: a framework
and a circular procurement portfolio model

by

Michele DE NICOLÒ

Supervisor:

Prof. Pierpaolo PONTRANDOLFO

Coordinator of Ph.D. Program:

Prof. Giuseppe P. DEMELIO

Course n°34, 01/11/2018-31/10/2021



Politecnico
di Bari

Department of Mechanics, Mathematics and Management

MECHANICAL AND MANAGEMENT ENGINEERING

Ph.D. Program

SSD: ING-IND/35 – BUSINESS AND MANAGEMENT ENGINEERING

Final Dissertation

Integrating Industrial Symbiosis and Waste
Management for Circularity: a framework
and a circular procurement portfolio model

by

Michele DE NICOLÒ

Referees:

Prof. Anna DE LIDDO
Prof. Luca FRACCASCIA

Supervisor:

Prof. Pierpaolo PONTRANDOLFO

Coordinator of Ph.D. Program:

Prof. Giuseppe P. DEMELIO

Course n°34, 01/11/2018-31/10/2021

A Maria e Mariantonietta

καὶ ἠύλογησεν αὐτοὺς ὁ θεὸς, λέγων
αὐξάνεσθε καὶ πληθύνεσθε
καὶ πληρώσατε τὴν γῆν
καὶ κατακυριεύσατε αὐτῆς
καὶ ἄρχετε τῶν ἰχθύων τῆς θαλάσσης
καὶ τῶν πετεινῶν τοῦ οὐρανοῦ
καὶ πάντων τῶν κτηνῶν
καὶ πάσης τῆς γῆς
καὶ πάντων τῶν ἑρπετῶν τῶν ἑρπόντων ἐπὶ τῆς γῆς
(Γεν. 1,28)

“Science is essentially an anarchic enterprise: theoretical anarchism is more humanitarian and more likely to encourage progress than its law-and-order alternatives”

“Without a constant misuse of language, there cannot be any discovery, any progress”

— **Paul Karl Feyerabend, Against Method**

RINGRAZIAMENTI

Il percorso lungo e impegnativo del dottorato di ricerca, rappresenta un'importante esperienza di crescita umana e di conoscenza.

Grazie al prof. Pierpaolo Pontrandolfo, mio relatore, per la pazienza, il garbo e l'acume con cui ha indirizzato i miei sforzi verso percorsi di rigore scientifico e passione per la ricerca.

Grazie alla prof.ssa Anna De Liddo e al prof. Luca Fraccascia, revisori di questo lavoro, che, con le loro preziose osservazioni, mi hanno aiutato a migliorarlo.

A loro va la mia sincera riconoscenza.

Sommario

Indice delle figure	iii
Indice delle tabelle	v
Introduzione, motivazione e obiettivo della ricerca.....	1
1. Approcci circolari: una revisione critica e comparata della letteratura	4
1.1. Economia Circolare (EC)	5
1.2. Simbiosi Industriale (SI)	16
1.3. Waste Management (WM).....	33
1.4. Analisi comparata della letteratura su EC, SI e WM.....	41
1.5. Criticità emerse dalla letteratura	48
1.6. Contributi del presente lavoro	53
1.7. Teorie e metodologia	55
2. Evidenze empiriche per l'integrazione di SI e WM	56
2.1. Economia Circolare.....	56
2.2. Simbiosi Industriale	58
2.3. Waste Management	71
2.4. Discussione delle evidenze empiriche.....	88
3. Proposte per l'integrazione di SI e WM e per la scalabilità delle reti di circolarità	91
3.1. Framework generale di confronto tra SI e WM.....	91
3.2. Proposta di nuova definizione di Simbiosi Industriale	104
3.3. Modello per l'integrazione di SI, WM e WH.....	104
3.4. Gestione strategica degli approvvigionamenti in contesti di Economia Lineare	107
3.5. Gestione strategica degli approvvigionamenti in contesti di Economia Circolare: la Circular Supplies Portfolio Matrix.....	110
3.6. Caratterizzazione della CSPM	114
3.7. Obiettivo della Circular Supplies Portfolio Matrix.....	124
4. Analisi dei casi di SI del progetto MAESTRI mediante la CSPM.....	125
4.1. Il progetto MAESTRI.....	125
4.2. I casi di studio esaminati	127
4.3. Descrizione e valutazione dei casi	133
4.4. Analisi dei casi mediante la CSPM	155
4.5. Considerazioni sull'applicazione della CSPM per l'analisi dei casi	156
4.6. Implicazioni.....	157

Conclusioni e sviluppi futuri	159
Bibliografia	161

Indice delle figure

Figura 1 Business as usual scenario simulation results (Source: The Limits to Growth, Meadows et al., 1972)	4
Figura 2 La Circular Economy nell'ambito della Green Economy [European Environment Agency]	6
Figura 3 The circular economy butterfly diagram [EllenMacArthur Foundation]	8
Figura 4 Coding results regarding CE Core Principles (Kirchherr et al., 2023)	13
Figura 5 Coding results regarding CE Aims (Kirchherr et al., 2023)	14
Figura 6 Coding results regarding CE Enablers (Kirchherr et al., 2023)	14
Figura 7 Evoluzione del concetto di SI dal 2000 al 2019 (Mallawaarachchi et al., 2020)	17
Figura 8 Aspetti più significativi delle definizioni di SI dal 2000 al 2019 (Mallawaarachchi et al., 2020)	18
Figura 9 - Relazione simbiotica con sostituzione (a) "pura" e (b) "impura" (Fraccascia et al., 2017)	19
Figura 10 - Modello di emersione della SI: processo e fattori critici che influenzano la transizione tra le fasi (Mortensen & Kørnøv, 2019)	22
Figura 11 - SCALER Deliverable 4.4 - Timeline of the EU Policies relevant to IS	26
Figura 12 - Mappatura delle politiche dell'UE legate alla simbiosi industriale	26
Figura 13 - Mappatura degli standard UE legati alla simbiosi industriale	31
Figura 14 - La curva di Kuznet ambientale (Letcher & Vallero, 2019)	34
Figura 15 - La "Gerarchia dei rifiuti" descritta all'art. 4 della WFD	36
Figura 16 - Mappa degli stati membri rispetto ai target di riciclo	39
Figura 17 - The 9R Framework (Kirchherr et al., 2017)	40
Figura 18 - Andamento delle importazioni nette di materiali rispetto al PIL, 2017-2022 (2017=100), (CEN-FSS-ENEA, 2023)	57
Figura 19 - Tasso di utilizzo di materia proveniente dal riciclo nei cinque principali paesi europei, 2012-2021 (%), Fonte: Eurostat, (CEN-FSS-ENEA, 2023)	57
Figura 20 - Mappatura delle reti di SI in Europa (Domenech et al., 2019)	59
Figura 21 - Statistica della emersione dei 70 casi di SI in EU studiati da (Domenech et al., 2019)	61
Figura 22 - Library of Case Studies (MAESTRI-Project, 2019)	62
Figura 23 - Exchanges Database (MAESTRI-Project, 2019)	62
Figura 24 - Statistica della emersione dei casi di SI del progetto Maestri	64
Figura 25 - Modello di crescita per la scalabilità dell'esperienza del NISP (Laybourn&Morrissey, 2009)	66
Figura 26 - Percentuale di successo iniziative di SI (Luciano & Ramunni, 2022)	68
Figura 27 - Settori coinvolti nelle iniziative di SI (Luciano & Ramunni, 2022)	68
Figura 28 - Status giuridico della materia scambiata (Luciano & Ramunni, 2022)	68
Figura 29 - Tipologia delle risorse condivise (Luciano & Ramunni, 2022)	68
Figura 30 - Tipologia delle risorse condivise (input/output) (Luciano & Ramunni, 2022)	68
Figura 31 - Tipologia di valorizzazione economica (Luciano & Ramunni, 2022)	68
Figura 32 - Dati complessivi relativi alla modalità di emersione delle sinergie [%]	70
Figura 33 - Schema del recepimento delle direttive EU/2018 nella legislazione italiana	75
Figura 34 - Efficienza del riciclo in Europa (Report Università Bocconi per CONAI, 2022)	82
Figura 35 - Tasso di riciclo dei rifiuti in Europa: confronto Italia- Media UE	83
Figura 36 - Numeri principali dell'industria del riciclo in Italia	83
Figura 37 - Confronto 1997-2020 performance del riciclo in Italia	83
Figura 38 - Performance di riciclo dell'Italia rispetto all'Europa	83
Figura 39 - Imballaggi cellulosici (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)	84

Figura 40 - Imballaggi in vetro (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)	84
Figura 41 - Imballaggi in plastica (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI).....	85
Figura 42 - Imballaggi in legno (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI).....	85
Figura 43 - Imballaggi in alluminio (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI).....	85
Figura 44 - Imballaggi in acciaio (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI).....	86
Figura 45 - Oli lubrificanti (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte: CONOU)	86
Figura 46 - Andamento della raccolta di pile e accumulatori portatili rispetto all'immesso al consumo (t) (Fonte CDCNPA).....	86
Figura 47 - Pile e accumulatori immessi sul mercato (t) (Fonte CDCNPA)	87
Figura 48 - Generazione pro capite di rifiuti in UE	87
Figura 49 - Diagramma dei flussi di materiali in UE [2022, Mton] [Fonte: Eurostat]	87
Figura 50 - Confronto della evoluzione temporale delle principali milestones relative a SI, normative EU/IT sulla gestione dei rifiuti e progetti in ambito SI	90
Figura 51 – Modello di integrazione WhiWamIS di SI, WM e WH.....	106
Figura 52 - Stages of Purchasing Sophistication (Kraljic, 1983).....	107
Figura 53 - The purchasing Portfolio Matrix.....	108
Figura 54 - Strategic Implications of Purchasing Portfolio Positioning	109
Figura 55 - The 9R Framework (Kirchherr et al., 2017)	110
Figura 56 - “Closing the Loop Processes” e ulteriore decisione di Procurement: MPV o MPS?	111
Figura 57 - Matrice di Kraljic.....	122
Figura 58 - Rappresentazione della CSPM.....	123
Figura 59 - Library of Case Studies (Progetto MAESTRI, 2020)	126
Figura 60 - Exchanges Database (Progetto MAESTRI, 2020)	127
Figura 61 - Vista tabella dei flussi di scambio.....	132
Figura 62 - Posizionamento dei casi nel modello CSPM.....	155

Indice delle tabelle

Tabella 1 Coding framework (Kirchherr et al., 2023)	13
Tabella 2 - Insieme delle barriere che ostacolano l'emergere di sinergie di SI (Golev et al., 2015)	24
Tabella 3 Risultati del sondaggio: sfide associate all'implementazione della simbiosi industriale	27
Tabella 4 - Concetti core specifici della SI classificati in "istanze tangibili" e "istanze intangibili"	32
Tabella 5 - Definizioni di rifiuto	35
Tabella 6 - Griglia di confronto tra le definizioni di EC, SI e WM presenti in letteratura	42
Tabella 7 - Citation networks di EC-SI e WM	47
Tabella 8 Deposit Return Systems (DRSs) for Single-use Drinks Containers in Europe: Comparison of Key Features	53
Tabella 9 - Esiti indagine su Scopus relativa al tema del procurement portfolio circolare	54
Tabella 10 - Benefici ambientali dei 70 casi di SI in EU studiati da (Domenech et al., 2019).....	61
Tabella 11 - Benefici ambientali dei casi di SI del progetto Maestri	64
Tabella 12 - Risultati ambientali certificati dei progetti NISP tra Aprile 2005 e Settembre 2009 (Laybourn&Morrissey, 2009).....	66
Tabella 13 - Dati di sintesi relativi ai volumi trattati nell'ambito di relazioni di simbiosi industriale	70
Tabella 14 - Sinottico dell'evoluzione della normativa sui rifiuti sia al livello europeo che italiano.....	81
Tabella 15 - Volumi in UE di trattamento dei rifiuti [Fonte: Eurostat]	88
Tabella 16 - Confronto di sintesi tra i dati quantitativi complessivi di SI e WM.....	89
Tabella 17 - Tabella della comparazione qualitativa tra i costi di transazione / produzione per l'azienda A che cede il rifiuto (oppure per l'azienda B che riceve il rifiuto) nei due casi di approccio di tipo SI e di approccio di tipo WM	101
Tabella 18 - Esiti del confronto tra gli approcci SI e WM basato sui costi di transazione	102
Tabella 19 - Sinottico di sintesi del confronto tra SI e WM basato sui costi di transazione.....	103
Tabella 20 - Aspetti chiave per il modello integrato che facilita la scalabilità della circolarità.....	105
Tabella 21 - Relazione tra strategie R e Procurement.....	111
Tabella 22 - Esiti della ricerca effettuata in Scopus (lug-23) sul tema degli approvvigionamenti circolari...	112
Tabella 23 - Tabella dei valori attribuiti alle dimensioni della matrice di Kraljic per la circolarità	113
Tabella 24 - Casi di studio selezionati dal progetto MAESTRI	130
Tabella 25 - Categorie degli attributi della tabella dei flussi di scambio	133
Tabella 26 - Caso Taranto	135
Tabella 27 - Caso UPM Kymi	136
Tabella 28 - Caso Gladstone	137
Tabella 29 - Caso Ulsan.....	138
Tabella 30 - Caso Guitan	139
Tabella 31 - Caso Nanning	140
Tabella 32 - Caso NIA.....	141
Tabella 33 - Caso Landskrona	142
Tabella 34 - Caso PODEBA	143
Tabella 35 - Caso Birmingham	144
Tabella 36 - Caso BIO4BIO	145
Tabella 37 - Caso Emilia-Romagna.....	146
Tabella 38 - Caso Händelö	147
Tabella 39 - Caso PV Market.....	148

Tabella 40 - Caso Liuzhou	149
Tabella 41 - Caso Jinan	150
Tabella 42 - Caso Michelin.....	151
Tabella 43 - Caso Kawasaki.....	152
Tabella 44 - Caso Suzhou	153
Tabella 45 - Caso Britsh Sugar	154

Introduzione, motivazione e obiettivo della ricerca

“Waste is a resource in the wrong place”

— Mahatma Gandhi

La parola “sostenibilità” deriva dal verbo “sostenere” che, come riportato, per esempio, nel vocabolario italiano “Treccani”, deriva dal latino “sustinere” che è un verbo composto dalla preposizione “sus-” (variante di sub- «sotto»), e “tenere” che ha identica traduzione «tenere». La prima accezione di significato è la seguente: *“Tenere sollevata una cosa o una persona sopportandone il peso dal di sotto”*¹.

Questa derivazione etimologica consente di poter affermare che il genere umano, che popola l’ecosistema Terra, è da esso sostenuto ma, al tempo stesso, ne è parte integrante e cioè ne condivide il destino.

Ciò significa che trarre risorse dal pianeta per il proprio sostentamento, deve necessariamente confrontarsi con la capacità del pianeta di poter fornire quelle risorse e quindi di poterle rigenerare all’interno di un delicato equilibrio che, ove si incrinasse, andrebbe senz’altro a scapito soprattutto della parte più debole dell’intero sistema e cioè il genere umano.

Per lungo tempo (di fatto fino ai giorni nostri) e in conseguenza della nostra innata volontà di potenza, abbiamo avuto la pretesa di poter “dominare” l’ecosistema Terra sfruttandone senza alcun limite le risorse e considerandoci, per certi versi, esterni e non facenti parte di esso. Tale pretesa ha obnubilato la consapevolezza dell’esistenza di quel delicato equilibrio facendo ritenere infinite sia le risorse della Terra che la sua capacità di saper tollerare, assorbire le conseguenze delle nostre attività e ci ha condotti sino al punto di riuscire ad alterare gli equilibri di molti ecosistemi (Pope Francis, 2015) (Francesco, 2015).

La risposta a queste presunzioni ci viene dalla stessa Natura che, nel momento in cui ci chiama a sopportare gli effetti dell’alterazione degli ecosistemi causata dai nostri comportamenti, ci restituisce le conseguenze delle nostre scelte. Solo allora ci accorgiamo che: (i) siamo parte degli ecosistemi (ii) esistono limiti allo sfruttamento delle risorse naturali.

La pandemia ha reso ancora più evidente questo fenomeno. *“Abbiamo proseguito imperterriti pensando di rimanere sempre sani in un mondo che noi stessi abbiamo ammalato”*, ha dichiarato Papa Francesco il 27 Marzo 2020 durante una memorabile *Cerimonia della Benedizione “Urbi et Orbi”* in una piazza S. Pietro deserta il cui aspetto era reso ancora più cupo dalla pioggia di un giorno grigio e uggioso.

I principali dati² relativi al cambiamento climatico riguardano: la concentrazione di CO₂ in atmosfera che ha raggiunto il livello record di 421 [ppm] rispetto ad un valore considerato normale di 300 [ppm] e l’incremento della temperatura media globale che ha raggiunto +1,1 °C rispetto all’era preindustriale.

Purtroppo, ridurre decisamente il consumo di materie prime e di energia, minimizzare la produzione di rifiuti, ridurre il consumo di energia prodotta da fonti fossili ed accelerare la transizione della produzione di energia da fonte fossile a fonte rinnovabile per poter abbattere l’impatto che l’ecosistema terrestre è chiamato a sopportare, restano, al momento, sfide non solo non compiute ma appena intraprese.

¹ <https://www.treccani.it/vocabolario/sostenere>; (consultato il 01/05/2023)

² [Home – Climate Change: Vital Signs of the Planet \(nasa.gov\)](#)

Gli sforzi compiuti nella direzione indicata dalla scienza, motivati anche dagli evidenti cambiamenti climatici, hanno ottenuto risultati perlopiù nel creare un'iniziale consapevolezza (almeno teorica e raggiunta in tempi molto recenti al livello dei più vasti strati dell'opinione pubblica) che ci spinge ad agire ora quantomeno per arginare e mitigare le previsioni peggiori.

In questa direzione hanno agito anche gli sforzi posti in essere al livello delle decisioni politiche come, per esempio le conferenze COP, l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e il Green Deal europeo, con obiettivi concreti di riduzione della CO₂ per il 2030 e il 2050.

Come detto, tali sforzi non hanno prodotto esiti di particolare rilievo tanto da indurre le generazioni più giovani a movimenti di protesta pacifica finalizzata a sensibilizzare ulteriormente e spingere le classi politiche dirigenti ad agire nel senso indicato dalla scienza con decisioni drastiche.

Queste decisioni tardano ad arrivare ed inoltre sembra anche che la concreta realizzazione dell'Economia Circolare (EC) sia ostacolata anche da cause strutturali e al funzionamento dei mercati che rendono la transizione particolarmente difficile.

Come noto, il modello "take-make-use-dispose" non riesce a contemperare, al tempo stesso, le due opposte esigenze di offrire sufficienti risorse produttive ad una popolazione mondiale crescente e con esigenze crescenti e di preservare l'ambiente, nei termini di una riduzione di consumo di risorse naturali e di una riduzione di produzione di rifiuti.

Per questo motivo, da molto tempo la gran parte della comunità scientifica ha considerato non più sostenibile il modello "take-make-use-dispose" ed ha proposto, come principale alternativa teorica, il modello dell'Economia Circolare (EC).

L'idea principale alla base dell'EC è quella di ridurre il prelievo delle risorse naturali (e il carico sull'ambiente determinato dall'assorbimento dei rifiuti), minimizzandone il consumo e prolungando il più possibile l'estrazione di valore dalle risorse già prelevate ed in uso, aumentando la durata del ciclo di vita dei prodotti che le utilizzano per (cercare di) disaccoppiare in tal modo la crescita economica dall'esigenza di tutela dell'ambiente.

Per realizzare l'EC, sono stati adottati differenti approcci. Tra questi, in particolare, il presente studio prende in considerazione la Simbiosi Industriale (SI) e il Waste Management (WM).

La SI è stata vista come un approccio promettente per la realizzazione della EC e parte dal considerare quali possano essere le possibili sinergie, nei termini di condivisione di risorse materiali, immateriali ed energia, che le imprese possono realizzare per conseguire gli obiettivi di ridurre il consumo di materie prime e la produzione di rifiuti.

Sono state individuate numerose barriere che, con particolare riferimento sia ai processi di emersione che al mantenimento della stabilità di funzionamento di un network, ostacolano la realizzazione della SI.

Nonostante la letteratura abbia da tempo proposto soluzioni per superare le barriere individuate, lo sviluppo della SI rimane ben al di sotto delle sue potenzialità.

Questo lascia pensare che le soluzioni individuate a ciò che ostacola l'emersione e la stabilità di funzionamento di una Industrial Symbiosis Network (ISN), possano aver colto solo aspetti rivelatisi epifenomenici e non strutturali del funzionamento del sistema.

Differente è l'approccio del WM che invece è storicamente partito dal cercare di evitare l'impatto conseguente alla dispersione dei rifiuti nell'ambiente e quindi dal considerare le migliori modalità per un corretto trattamento dei rifiuti a fini di un loro reimpiego e di minimizzazione del conferimento in discarica.

Peraltro, questo approccio ha dovuto essere inquadrato all'interno di un contesto normativo definito a livello europeo e nazionale, costruito nell'arco di molti anni. Sono stati così ottenuti risultati di rilievo anche per il carattere prescrittivo delle singole normative nazionali che hanno recepito le indicazioni comunitarie.

Il presente lavoro si colloca nell'ambito degli studi dei motivi per i quali la concreta realizzazione della circolarità dei flussi economico-produttivi sembra, ad oggi, non essersi sviluppata in modo adeguato.

In particolare, nel confrontare i differenti approcci alla realizzazione della circolarità, ho voluto privilegiare l'osservazione degli aspetti riguardanti il sistema economico-produttivo che hanno consentito ad un approccio di funzionare meglio di un altro rispetto all'obiettivo di ottenere l'emersione e la stabilità di funzionamento di un network circolare.

Da questo punto di vista, nell'ambito dell'Economia Lineare (EL), i flussi economico-produttivi emergono e funzionano stabilmente a regime in modo intrinsecamente lineare. È quindi ragionevole presumere che, in un contesto di EC pienamente sviluppata, i flussi economico-produttivi emergano e funzionino stabilmente a regime in modo strutturalmente circolare.

Il processo di transizione da EL a EC dovrebbe quindi consistere nella graduale trasformazione dei meccanismi di emersione e di funzionamento a regime da strutturalmente lineari a strutturalmente circolari.

Il processo di transizione dovrebbe quindi ambire a conseguire i seguenti principali risultati: emersione spontanea (non forzata) e rapida della circolarità; stabilità delle modalità di funzionamento a regime; diffusione su larga scala delle sinergie circolari.

Per questi motivi, il presente studio si pone l'obiettivo di capire quali siano stati i punti di forza e le criticità degli approcci qui considerati (SI e WM) rispetto all'obiettivo della realizzazione della circolarità, con specifico riferimento ad alcune sue caratteristiche: modalità di emersione, stabilità delle modalità di funzionamento e diffusione su larga scala.

Propone un framework di integrazione dei due approcci che adotta una prospettiva di complementarità rispetto all'esigenza di realizzazione della circolarità.

Propone inoltre un'estensione dell'approccio portfolio per la gestione degli approvvigionamenti al caso di sistema produttivo circolare.

A tal fine, la ricerca utilizza differenti fonti di dati relativi al fenomeno dell'EC, cercando di coordinare e sistematizzare tali fonti che, pur disponibili, appaiono notevolmente frammentate.

Il lavoro è articolato nel seguente modo. Nel primo capitolo, una sintetica review critica della letteratura consente di effettuare un focus su alcuni aspetti dei domini di riferimento (rispettivamente di EC, SI e WM) evidenziandone le relazioni. Nel secondo capitolo, si presenta il lavoro condotto di analisi delle evidenze empiriche relative ai due approcci e del loro (difficile) confronto. Nel terzo capitolo si presenta il framework di confronto e il modello di integrazione tra i due approcci, in modo da complementare l'azione volta alla realizzazione della circolarità. Si presenta anche il modello per la gestione strategica degli approvvigionamenti che estende l'approccio portfolio ai contesti di Economia Circolare.

Nel quarto capitolo si adotta il modello proposto e lo si popola con un certo numero di casi di studio (documentati nell'ambito del progetto europeo MAESTRI) sia per validare il modello su casi noti che per osservare eventuali regolarità che possano suggerire il modo migliore per approcciare il tema della chiusura dei cicli nei vari contesti. Inoltre, se ne discute l'esito. Si propongono quindi alcune considerazioni sulle implicazioni di tipo teorico, manageriale e di policy conseguenti dalla ricerca condotta. Infine, si traggono alcune conclusioni e si propongono alcuni spunti per gli sviluppi futuri della ricerca.

1. Approcci circolari: una revisione critica e comparata della letteratura

Le conseguenze negative dell'economia lineare sono state evidenziate circa 51 anni fa nel rapporto del Club di Roma *"The Limits to Growth"* (Meadows et al., 1972). È allarmante che il confronto dei risultati di questo studio con i dati reali raccolti tra il 1972 e il 2002 mostra che attualmente stiamo seguendo il percorso *"business as usual"* presentato nella Figura 1 (Deloitte, 2016)

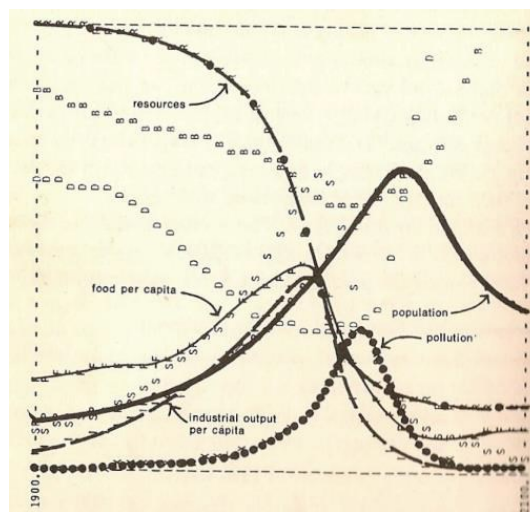


Figura 1 Business as usual scenario simulation results (Source: *The Limits to Growth*, Meadows et al., 1972)

Il modello economico lineare 'take-make-use-dispose' finora adottato si basa su due assunzioni principali, vale a dire (i) la disponibilità di quantità illimitate (e possibilmente economiche) di materiali ed energia e (ii) i costi ambientali e sociali gestiti come esternalità.

Tali assunzioni rappresentano i principali limiti del modello economico lineare e sono, in una certa misura, le ragioni dei principali problemi (es. disastri ambientali) causati dalla sua adozione. In definitiva, la sempre crescente domanda di risorse naturali ed energia da fonti fossili e la produzione incontrollata di rifiuti sono tra le principali cause del cambiamento climatico e delle disuguaglianze sociali (The Ellen MacArthur Foundation, 2012).

In particolare, l'Europa ha un'impronta ecologica di 4,86 [Gha pro capite] che, se confrontata con la biocapacità naturale del pianeta che è di 1,55 [Gha pro capite], dà un'idea dello squilibrio [dati 2019 del Global Footprint Network]. Se la popolazione mondiale avesse consumi in linea con la media europea, servirebbero l'equivalente di tre pianeti per sostenere l'economia globale³.

Ciò comporta una pressione continua (che aumenta con la crescita economica globale) sulla capacità del pianeta di generare risorse. È noto che l'Earth Overshoot Day (la data che definisce il momento in cui, ogni anno, l'umanità ha consumato le risorse che la Terra è in grado di generare per quell'anno), si è quasi sempre verificato in anticipo nel corso degli anni⁴.

³ <https://data.footprintnetwork.org/>

⁴ <https://www.overshootday.org/>

Secondo il Global Resource Outlook dell'International Resource Panel, dal 1970 al 2017, l'estrazione annuale globale di materie prime è triplicata e continua ad aumentare⁵.

Gli effetti del cambiamento climatico sono tangibili: 18 degli ultimi 20 anni sono stati i più caldi mai registrati⁶ e gli eventi meteorologici estremi sono sempre più frequenti in ogni area del mondo. In assenza di interventi degni di nota, gli scienziati concordano sul fatto che, a partire dalla situazione attuale e in funzione delle politiche che verranno adottate, entro la fine del secolo sono possibili scenari di riscaldamento globale che prevedono una variazione di temperatura rispetto all'era preindustriale, variabile da un minimo di +1,5°C fino ad un massimo di +5°C (Pereira et al., 2022).

Al livello globale, i dati principali del cambiamento climatico sono i seguenti⁷:

- La concentrazione di CO₂ in atmosfera ha raggiunto il livello record di 421 [ppm] rispetto ad un valore considerato normale di 300 [ppm]
- L'incremento della temperatura media globale ha raggiunto +1,1 °C rispetto all'era preindustriale
- La concentrazione di CH₄ in atmosfera è oggi di 1924 [ppb] mentre nel 1984 era di 1650 [ppb]
- Il livello dei mari è salito di circa 10 [cm] dal 1993
- Il riscaldamento dei mari è cresciuto di circa 345 [ZJ] dal 1955

Questi problemi hanno sollecitato la necessità di ripensare il modello economico tradizionale per riuscire ad ottenere, quale risultato finale, una economia che riesca a minimizzare o eliminare la produzione di rifiuti, ridurre il consumo di risorse naturali e contribuire alla loro rigenerazione, ridurre fino ad eliminare il consumo di energia da fonte fossile e incrementare sempre più la produzione di energia da fonte rinnovabile.

Ad oggi, la formalizzazione teorica più completa di questi concetti è rappresentata dall'idea di Economia Circolare.

Pertanto, nel seguito, presenterò i risultati più significativi degli sforzi compiuti in letteratura per giungere ad una concettualizzazione della EC e poi mi focalizzerò su alcuni degli aspetti più rilevanti della EC di interesse per il presente studio.

1.1. Economia Circolare (EC)

Il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) definisce la Green Economy (GE) come quella che consente il miglioramento del benessere umano e dell'equità sociale, riducendo significativamente i rischi ambientali e la scarsità delle risorse naturali. La crescita economica dovrebbe essere guidata da investimenti che riducano le emissioni di carbonio e l'inquinamento, migliorino l'efficienza energetica e delle risorse e prevengano la perdita di biodiversità. La GE non sostituisce lo sviluppo sostenibile, ma vi si affianca per il raggiungimento della sostenibilità del sistema economico⁸.

La GE rappresenta una prospettiva più ampia all'interno della quale si colloca la EC. Una EC si concentra sull'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse materiali in un contesto di gestione efficiente delle stesse e di gestione e prevenzione dei rifiuti.

⁵ [Global Resources Outlook | Resource Panel](#)

⁶ [NOAAGlobalTemp | National Centers for Environmental Information \(NCEI\)](#)

⁷ [Climate Change: Vital Signs of the Planet \(nasa.gov\)](#)

⁸ [About green economy | UNEP - UN Environment Programme](#)

L'approccio della GE va quindi oltre la EC guardando anche le modalità con cui si sfruttano le risorse naturali al fine di preservare la biodiversità, la resilienza degli ecosistemi, il benessere umano oltre a considerare anche aspetti economici e sociali più ampi, come la competitività e le disuguaglianze sociali relative all'esposizione a pressioni ambientali.

La Figura 2 illustra quali siano i focus rispettivamente per EC e GE rappresentato come un insieme annidato e integrato di obiettivi. (European Environment Agency, 2015):

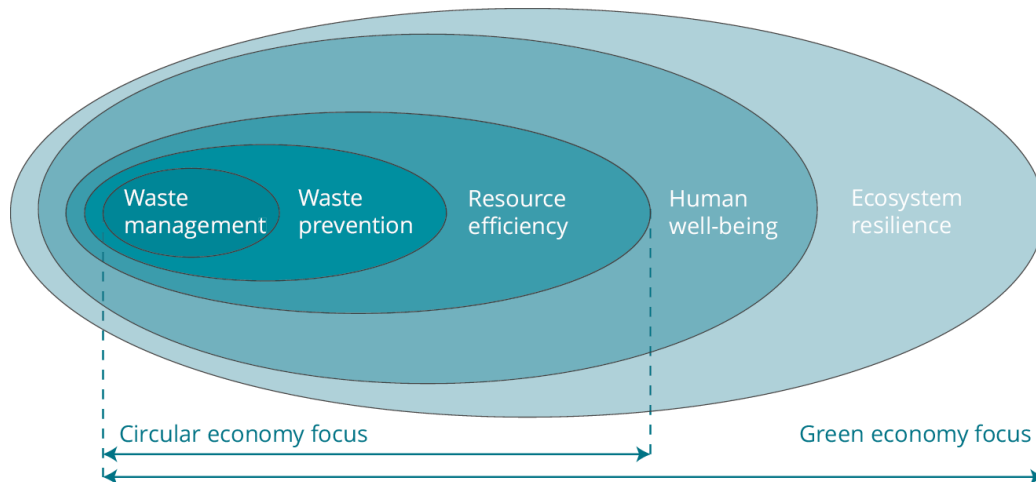


Figura 2 La Circular Economy nell'ambito della Green Economy [European Environment Agency]

Secondo la definizione che ne dà la Ellen MacArthur Foundation (EMF), l'economia circolare definisce un sistema economico pensato per essere sostenibile ovvero ricostitutivo e rigenerativo in modo nativo, mantenendo prodotti, componenti e materiali sempre alla loro massima utilità e valore. È concepita come un ciclo di sviluppo positivo continuo che preserva e migliora il capitale naturale, ottimizza i rendimenti delle risorse e riduce al minimo i rischi del sistema, gestendo scorte finite e flussi rinnovabili. In ultima analisi, cerca di dissociare lo sviluppo economico globale dal consumo di risorse finite, genera crescita, crea posti di lavoro e riduce gli impatti ambientali, comprese le emissioni di carbonio (The Ellen MacArthur Foundation, 2014).

Promuovendo, all'interno di un sistema economico, l'adozione di modelli di produzione e consumo che riescano a chiudere i cicli (attraverso strategie di restringimento, rallentamento, chiusura e rigenerazione), la EC mira ad aumentare l'efficienza nell'utilizzo delle risorse e ridurre gli sprechi e la produzione di emissioni dalle organizzazioni per conseguire un migliore equilibrio tra economia, ambiente e società (Geissdoerfer et al., 2020; Ghisellini et al., 2016; Konietzko et al., 2020;).

L'idea di un flusso circolare nella gestione dei materiali venne presentata nel 1966 da Kenneth E. Boulding nel suo articolo *"The Economics of the Coming Spaceship Earth"* (Kenneth E. Boulding, 1966).

Nel 1976, in un rapporto presentato alla Commissione Europea, dal titolo *"The Potential for Substituting Manpower for Energy"*, Walter Stahel e Genevieve Reday delinearono la visione di un'economia circolare e il suo impatto sulla creazione di posti di lavoro, risparmio di risorse e riduzione dei rifiuti (Stahel & Reday, 1976).

L'economia circolare prende spunto dai meccanismi di funzionamento dei sistemi biologici e assume che i sistemi economici, in modo analogo, debbano funzionare in modo tale che i materiali siano elaborati e utilizzati, per poi poter essere reimmessi nei cicli. Da qui deriva il concetto di "ciclo chiuso" o "rigenerativo".

In questo modello, una volta creato un certo valore, il sistema si concentra sulla sua conservazione per cercare di disaccoppiare, mediante semplici principi, la crescita economica dal consumo delle risorse limitate: evitare a monte la produzione di rifiuti progettando i componenti di un prodotto in modo modulare, versatile

e adattabile e già capaci di reinserirsi in un ciclo produttivo; abbandonare le fonti fossili di energia a favore di quelle rinnovabili.

Un'economia circolare può contribuire ad aumentare l'utilizzo di risorse rinnovabili ed allo stesso tempo ridurre il consumo di materie prime ed energia. L'utilità dei prodotti e dei componenti può essere aumentata tramite lo sharing, il riutilizzo, la riparazione ed il riciclo, insieme ad un design sostenibile.

Analizziamo più nel dettaglio la definizione di EC che, probabilmente, è più nota e cioè la definizione che ne ha dato la EMF:

A circular economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the 'end-of-life' concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models.

Such an economy is based on few simple principles. First, at its core, a circular economy aims to 'design out' waste. Waste does not exist—products are designed and optimised for a cycle of disassembly and reuse. These tight component and product cycles define the circular economy and set it apart from disposal and even recycling where large amounts of embedded energy and labour are lost. Secondly, circularity introduces a strict differentiation between consumable and durable components of a product. Unlike today, consumables in the circular economy are largely made of biological ingredients or 'nutrients' that are at least non-toxic and possibly even beneficial, and can be safely returned to the biosphere—directly or in a cascade of consecutive uses. Durables such as engines or computers, on the other hand, are made of technical nutrients unsuitable for the biosphere, like metals and most plastics. These are designed from the start for reuse. Thirdly, the energy required to fuel this cycle should be renewable by nature, again to decrease resource dependence and increase system resilience (e.g., to oil shocks).

For technical nutrients, the circular economy largely replaces the concept of a consumer with that of a user. This calls for a new contract between businesses and their customers based on product performance. Unlike in today's 'buy-and-consume' economy, durable products are leased, rented, or shared wherever possible. If they are sold, there are incentives or agreements in place to ensure the return and thereafter the reuse of the product or its components and materials at the end of its period of primary use (The Ellen MacArthur Foundation, 2012, 2014).

La definizione appena citata è stata sintetizzata dalla stessa EMF, come riportato di seguito in una pagina del sito della fondazione:

The circular economy is based on three principles, driven by design:

- 1. Eliminate waste and pollution*
- 2. Circulate products and materials (at their highest value)*
- 3. Regenerate nature*

Underpinned by a transition to renewable energy and materials, the circular economy is a resilient system that is good for business, people, and the environment⁹.

La seguente rappresentazione (Figura 3), nota come diagramma a farfalla, illustra il flusso continuo dei materiali in un'economia circolare dove sono evidenti due cicli principali: il ciclo biologico e il ciclo tecnico. Nel ciclo biologico, i materiali sono in grado di essere reintegrati nella biosfera mentre in quello tecnico, sono destinati ad essere rivalorizzati nelle catene produttive.

⁹ <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Nel ciclo tecnico, prodotti e materiali sono tenuti in circolazione attraverso processi come il riutilizzo, la riparazione, la rigenerazione e il riciclo. Nel ciclo biologico, i nutrienti dei materiali biodegradabili vengono restituiti alla Terra per rigenerare la natura.

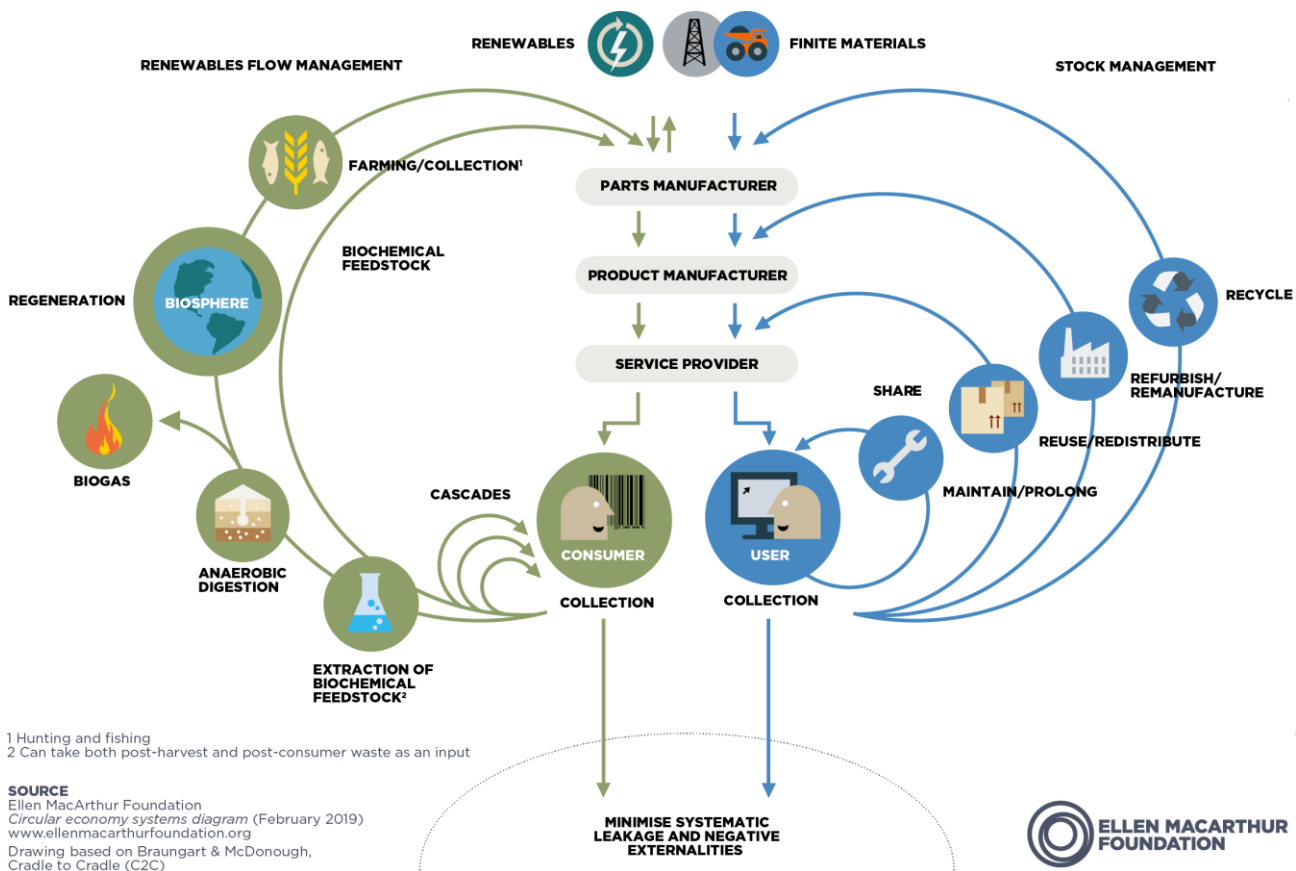


Figura 3 The circular economy butterfly diagram [EllenMacArthur Foundation]

Il modello di Ellen McArthur definisce quattro fonti di creazione del valore possibili in un'economia circolare:

	<p>The inner circle: evitando di smaltire o riciclare un prodotto, un'operazione di riparazione o manutenzione reintroduce un prodotto nel mercato, preservando tutto il valore delle lavorazioni precedenti.</p>
	<p>The longer circle: più un oggetto vive a lungo o più è alto il numero di volte che lo si può utilizzare, maggiore è il risparmio in termini di materiale, energia e lavoro, in quanto non bisogna creare un prodotto nuovo</p>
	<p>Cascade use: diversificazione del riutilizzo lungo la catena del valore</p>
	<p>Pure inputs: un materiale incontaminato è più semplice da raccogliere e ridistribuire, mantiene le sue qualità e prolunga la vita del prodotto</p>

Nell'intento di EMF, una circolarità intrinseca ("by design") nei prodotti, e le differenti modalità di implementazione della circolarità dei materiali, dovrebbero garantire l'eliminazione dei rifiuti e dell'inquinamento. In realtà questa prima analisi, basata sulla definizione di EC data dalla EMF, rappresenta solo uno dei modi possibili di concettualizzare tale idea.

I risultati della ricerca evidenziano che l'EC è un concetto in rapida evoluzione che richiede ancora uno sviluppo per consolidarne la definizione, i confini, i principi e le pratiche associate. Il concetto ha ancora confini sfumati, in quanto non esiste una definizione chiara e non si intravede una chiara convergenza sui principi guida per l'attuazione (Kirchherr et al., 2023).

La EC come nuovo paradigma socio-economico

La EC è inquadrata nel concetto più ampio di sostenibilità, con un'enfasi data agli aspetti ambientali ed economici, mentre le implicazioni sociali e istituzionali, in grado di trasformare il processo a monte della produzione e del consumo, sono considerate solo marginalmente. Per questo motivo, la EC appare come un concetto ombrello, associato a una varietà di altre discipline che ne definiscono le radici e la gestione dei rifiuti emerge come il sotto-settore più rilevante. Al momento, sta crescendo ed emergendo come un nuovo paradigma socio-economico che può aprire la strada verso modi di produzione e consumo innovativi e sostenibili. La EC viene affrontata a livello macro di analisi (paese, regione o città), a livello micro per la sua implementazione in singole imprese e a livello meso per l'implementazione della simbiosi industriale. Gli studi di EC utilizzano strumenti basati su metodi standardizzati e sistematici per modellare i processi e supportare il processo decisionale per la sua implementazione (ad es. Life Cycle Assessment e Material Flow Analysis). La transizione globale, dal modello lineare tradizionale a quello circolare, richiede cambiamenti sociali oltre al ripensamento degli approcci e dei modelli di produzione e consumo. Pertanto, è necessario progettare modelli di business circolari e strategie innovative per rallentare i cicli dei materiali e delle risorse, al fine di spostare l'attenzione dalla strategia di chiusura dei cicli dei materiali al loro rallentamento (Merli et al., 2018).

Le aziende che vogliono migrare ad un modello di economia circolare necessitano di sviluppare idonee strategie di progettazione del prodotto e del modello di business per poter rallentare, chiudere e restringere i cicli delle risorse coinvolte (Bocken et al., 2016).

Alcuni sforzi di definizione della EC sono stati dedicati anche allo sviluppo degli ecosistemi di economia circolare. La produzione a zero rifiuti (ZWM) è un concetto che supporta la transizione verso un'economia circolare sviluppando tecnologie e sistemi di produzione che eliminano i rifiuti attraverso intere catene del valore dei rifiuti che utilizzano il più possibile il riutilizzo e il riciclo.

Le sfide di implementazione sono affrontate all'interno di un quadro che comprende sei temi di progettazione per rifiuti zero: pianificazione intelligente del controllo e della riduzione dei rifiuti, raccolta intelligente dei rifiuti, trattamento dei rifiuti misti di alto valore, piattaforma collaborativa per la simbiosi industriale e conversione e riciclaggio dei rifiuti in risorse. Una varietà di tecnologie mature di gestione dei rifiuti può essere integrata attraverso le ICT per sviluppare un ecosistema ZWM. (Kerdlap et al., 2019)

Inoltre, la complessità e le interdipendenze che emergono in un processo di transizione verso un'economia circolare implicano che nessuna singola azienda può realizzarla da sola ed è necessaria un'orchestrazione a livello di sistema.

Pertanto, all'interno del processo di trasformazione dell'ecosistema, gli orchestratori e i loro partner, realizzano la transizione verso un'economia circolare nelle due fasi della valutazione della prontezza e della trasformazione dell'ecosistema (Parida et al., 2019).

Driver e barriere per la EC

Un altro ambito di indagine di particolare rilievo riguarda la comprensione di driver e ostacoli che si incontrano nello sviluppo e nell'attuazione di un'economia circolare.

Utilizzando un'analisi bibliometrica combinata, delle reti e dei contenuti, come metodo di ricerca, (Araujo Galvão et al., 2018) identificano le principali barriere riportate nella letteratura esistente che ritengono essere: (i) tecnologiche, (ii) politiche e normative, (iii) finanziarie ed economiche, (iv) gestionali, legate al difetto di (v) indicatori di performance, connesse con il (vi) cliente e (vii) sociali.

Le barriere alla realizzazione della EC vengono analizzate anche in relazione agli aspetti di gestione dell'innovazione, caratterizzata dalla necessità di aumentare l'integrazione tra una serie di differenti prospettive e domini nell'industria. (Ritzén & Sandström, 2017)

La combinazione del punto di vista dei sistemi di innovazione con la più recente "svolta di trasformazione" negli studi sull'innovazione può fornire un adeguato percorso di "ecoinnovazione trasformativa" verso una EC che possa favorire questa transizione rimuovendo gli ostacoli alla sostenibilità per un cambiamento strutturale verde dell'economia (de Jesus & Mendonça, 2018).

Ad esempio, uno dei settori più impattanti è quello delle costruzioni e demolizioni (C&D) in cui, con l'obiettivo di aumentare l'efficienza nello sfruttamento delle risorse, la gestione dei rifiuti in ottica di economia circolare è considerata una pratica particolarmente appropriata. Tuttavia, la transizione verso l'economia circolare nella gestione dei rifiuti da C&D, è ostacolata da barriere identificate e classificate nelle tre prospettive comportamentali, tecniche e legali. Le barriere appartenenti a queste tre categorie devono essere individuate e superate prima di poter trasformare l'attuale economia lineare in una economia circolare nella gestione dei rifiuti da C&D (Mahpour, 2018).

La EC, i modelli di business e la trasformazione digitale

Ripensare la creazione di valore in un'ottica circolare richiede spesso l'innovazione dei modelli di business. L'adozione diffusa di modelli di business sostenibili e circolari è infatti necessaria per accelerare la transizione verso una società più sostenibile. La letteratura a supporto del processo di Business Model Innovation for Circular Economy - o Circular Economy Business Model (CEBM) - è ancora agli inizi (Geissdoerfer et al., 2020; Santa-Maria et al., 2021). Tuttavia, classificazioni e tassonomie CEBM sono già state sviluppate come ad esempio in (Henry et al., 2020; Lewandowski, 2016; Lüdeke-Freund et al., 2019; Pieroni et al., 2020; Urbinati et al., 2017).

Alcune classificazioni riguardano modelli di business basati su tecnologie digitali (ad esempio modelli di business basati su piattaforme digitali). La EC ha il potenziale per valorizzare le tecnologie digitali, come i big data, l'intelligenza artificiale, la blockchain e l'Internet delle cose (IoT), tra le altre.

Si ritiene che le tecnologie digitali combinate con l'innovazione del modello di business possano offrire soluzioni interessanti ed estremamente innovative per la trasformazione dell'economia circolare (Chauhan et al., 2022). Per enfatizzare tali aspetti alcuni studiosi (Kristoffersen et al., 2021; Magrini et al., 2021; Rosa et al., 2020) hanno introdotto la nozione di economia circolare digitale (Digital CE).

La digitalizzazione può dare impulso alla trasformazione facilitando la chiusura dei cicli materiali (ad esempio fornendo informazioni accurate sulla disponibilità, l'ubicazione e le condizioni dei prodotti), consentendo processi più efficienti, riducendo al minimo gli sprechi, promuovendo una vita più lunga dei prodotti, riducendo al minimo i costi di transazione e aumentando l'efficienza nell'utilizzo delle risorse, supportando la servitizzazione, facilitando il coordinamento tra le aziende e la collaborazione con gli stakeholder (Antikainen et al., 2018) (UNEP, 2020). Pertanto, le tecnologie digitali hanno il potenziale per influenzare

notevolmente lo sviluppo sostenibile, sociale e ambientale (Bai et al., 2020; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

È necessario compiere ulteriori sforzi per esplorare le sfide e le opportunità offerte dalle tecnologie digitali nel contesto delle innovazioni dei modelli di business per l'economia circolare.

Dalle definizioni di EC ai concetti chiave

Questi appena esposti sono alcuni dei riferimenti utili per comprendere il concetto di economia circolare, che si è evoluto costantemente nell'ultimo decennio e ha finito con l'assumere significati differenti tra i ricercatori e i professionisti. (Kirchherr, 2022) (Köhler et al., 2019) (Vecchio et al., 2022).

Tali differenziazione e frammentazione possono ostacolare il consolidamento del concetto. Uno studio del 2017 ha raccolto 114 definizioni di EC a partire da numerosi studi e 7 review precedenti. Tali definizioni sono state codificate su 17 concetti fondamentali raggruppati in tre dimensioni: *core principles*, *aims* ed *enablers*. Il concetto di EC è più frequentemente rappresentato come una combinazione di attività di riduzione, riutilizzo e riciclo, e le definizioni mostrano pochi collegamenti espliciti di questo concetto allo sviluppo sostenibile. (Kirchherr et al., 2017).

In tempi molto recenti, lo stesso autore ha aggiornato e generalizzato lo stesso studio seguendone l'impostazione metodologica e giungendo ad analizzare 221 definizioni di EC. Tali definizioni sono state desunte a partire da un insieme iniziale di 6566 articoli da cui sono stati estratti 364 studi (che includono 33 studi di revisione precedenti) che sono stati sottoposti a codifica, mappando i concetti risultanti su 30 variabili (che includono le 17 variabili dello studio precedente) raggruppate sempre nelle tre dimensioni: *core principles*, *aims* e *enablers* (Kirchherr et al., 2023).

La domanda di ricerca a cui lo studio risponde riguarda l'attuale comprensione del concetto di EC nella comunità accademica. L'autore è giunto ad un quadro risultante più stabile rispetto allo studio precedente ed onnicomprensivo degli sforzi fatti in letteratura su questo argomento.

In particolare, il concetto si è sia consolidato che differenziato, con un cambiamento sistemico fondamentale emergente per abilitare la EC con riferimento alle catene di approvvigionamento. La EC non è considerata un obiettivo fine a se stesso, ma un mezzo per realizzare lo sviluppo sostenibile e pertanto quest'ultimo è spesso considerato l'obiettivo principale della EC.

Tuttavia, permangono dubbi sul fatto che la EC possa abilitare al tempo stesso sia la sostenibilità ambientale che lo sviluppo economico. Inoltre, Kirchherr evidenzia che, secondo alcuni studi, la transizione verso una EC si basa su un'ampia convergenza di intenti tra parti interessate, inclusi produttori, consumatori, responsabili politici e studiosi.

Il risultato della ricostruzione del framework concettuale operato da (Kirchherr et al., 2023) è riportato nella Tabella 1 che segue:

Core principles	<i>4R framework</i>	<i>Explicit reference to the 4R framework/all 4R dimensions (reduce, reuse, recycle, recover) or any x-R framework that includes 4R?</i>
	<i>3R</i>	<i>Explicit reference to the 3R framework/all 3R dimensions (reduce, reuse, recycle) or any x-R framework that includes 3R?</i>
	<i>Reduce</i>	<i>Discussion around refusing, rethinking, redesigning (including prolonging the lifespan of products), minimization, digitization and so reduction and/or prevention of resource use and preserving of natural capital? Explicit reference to any x-R framework that includes "reduce"?</i>

	Reuse	Discussion around reusing (excluding waste), closing the loop, cycling, repairing and/or refurbishing of resources? Explicit reference to any x-R framework that includes “reuse”?
	Recycle	Discussion around remanufacturing, recycling, closing the loop, cycling and/or reuse of waste? Explicit reference to any x-R framework that includes “recycle”?
	Recover	Discussion around incineration of materials with energy recovery? Explicit reference to any x-R framework that includes “recover”?
	Waste hierarchy	Indication of an order or ranking of the various Rs mentioned, e.g., via words such as “first”, “alternatively” or “least desirable”?
	Supply/value chains	Explicit reference to required changes in the supply/value chains or logistics towards the CE?
	System perspective	Discussion around CE as a system
	Micro systems perspective	Discussion around product level changes, firms and/or consumers and their preferences?
	Meso-systems perspective	Discussion around CE at the local/regional level and/or eco-industrial parks?
	Macro- systems perspective	Discussion around CE at the global and/or national level and/or the overall industry/economic structure?
	System change / paradigm shift	Description of the CE as a system change, paradigm shift, circular disruption and/or alternative model?
	Restorative/regenerative	Explicit reference to CE being restorative and/or regenerative?
	Renewable resources	Discussion around renewable resources being a part of the CE?
	Technical/biological cycles	Explicit reference to the technical and/or biological (nutrient) cycles?
Aims	Sustainable development	Explicit reference to sustainability and/or sustainable development?
	Environmental quality	Discussion around how CE aims to maintain, protect and/or restore the environment and/or resource efficiency/enable transition towards low carbon economy?
	Economic development	Discussion around how CE aims to reduce costs, maintain, protect, transform and/or strengthen/make more competitive the economy and add economic benefits to businesses/consumers?
	Social equity	Discussion around how CE aims to protect, transform, strengthen and/or develop the circular society/ socio-economic system and/or human well-being/health and create jobs?
	Decoupling economic growth from resource extraction	Discussion around the separation of economic growth from resource depletion/negative environmental consequences?
	Future generations (time dimension)	Discussion of future generations and/or the long-term perspective of CE?
	Value maintenance/life-time extension	Discussion around CE practices being aimed at maintaining the value of resources / materials and/or extending the life-time of resources / materials to achieve resource efficiency and to avoid resource scarcity eventually?
	Waste reduction/elimination/minimization	Discussion around CE practices / actions reducing or eliminating the amount of waste (produced) in line with the concepts such as zero-waste?
Enablers	Consumers (demand side)	Explicit mentioning of consumption/consumer perspective/consumers or any entities responsible for increased demands as drivers of CE?

<i>Producers/distributors/businesses/industries (supply side)</i>	<i>Explicit mentioning of production/producer or distribution perspective /producers and similar stakeholders like businesses/firms/industries/organizations as drivers of CE?</i>
<i>Policy</i>	<i>Explicit mentioning of policy(making)/policy perspective/governmental bodies as drivers of CE?</i>
<i>Science/academia</i>	<i>Explicit mentioning of science/academia/scholars as drivers of CE?</i>
<i>Business models</i>	<i>Explicit mentioning of business models (including specific type of business model such as product-as-a-service)?</i>
<i>Technologies</i>	<i>Explicit mentioning of technologies / technological innovations as drivers of CE?</i>

Tabella 1 Coding framework (Kirchherr et al., 2023)

Nello stesso lavoro di (Kirchherr et al., 2023) sono riportate le frequenze con cui si presentano i concetti all'interno delle definizioni, rispettivamente nelle tre dimensioni concettuali.

Si riportano, nelle seguenti Figura 4, Figura 5 e Figura 6 i risultati.

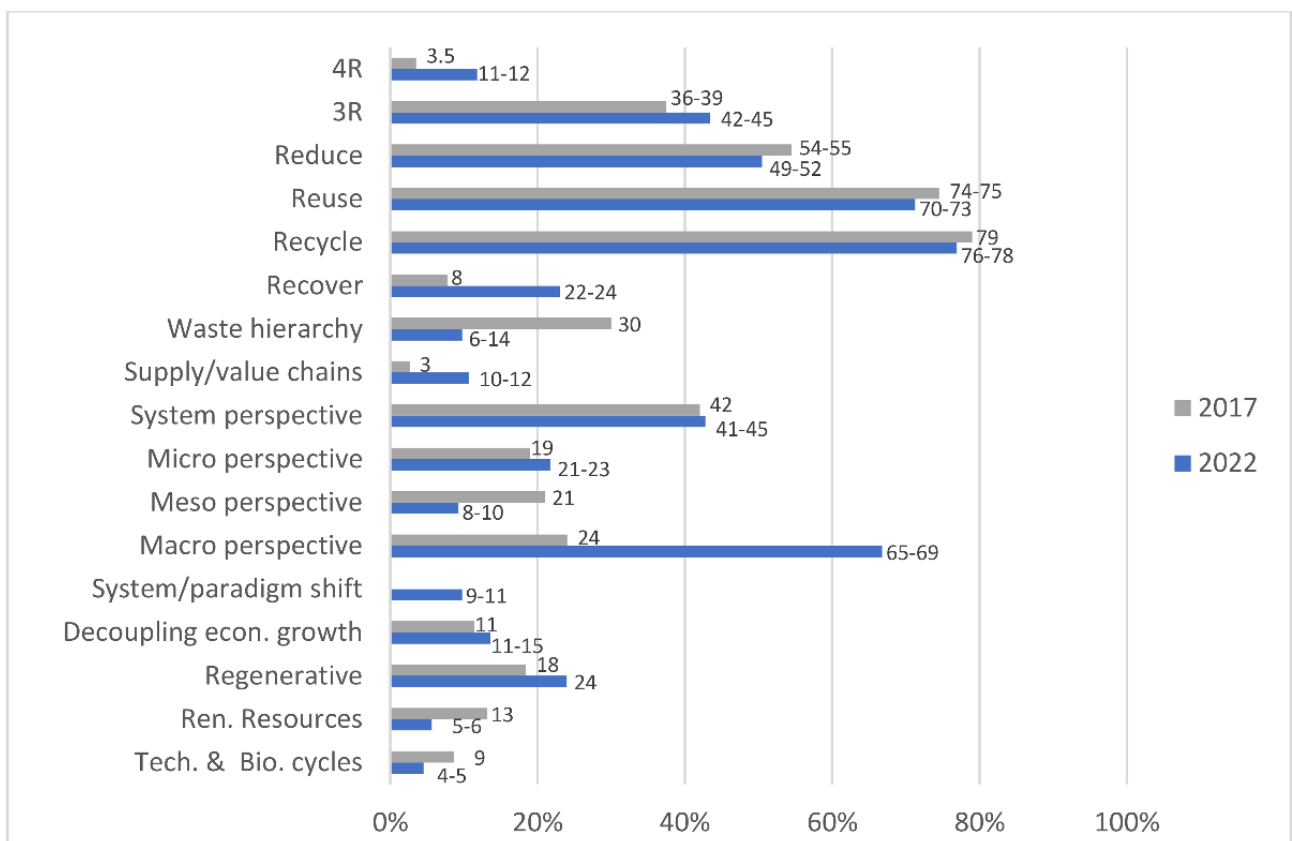


Figura 4 Coding results regarding CE Core Principles (Kirchherr et al., 2023)

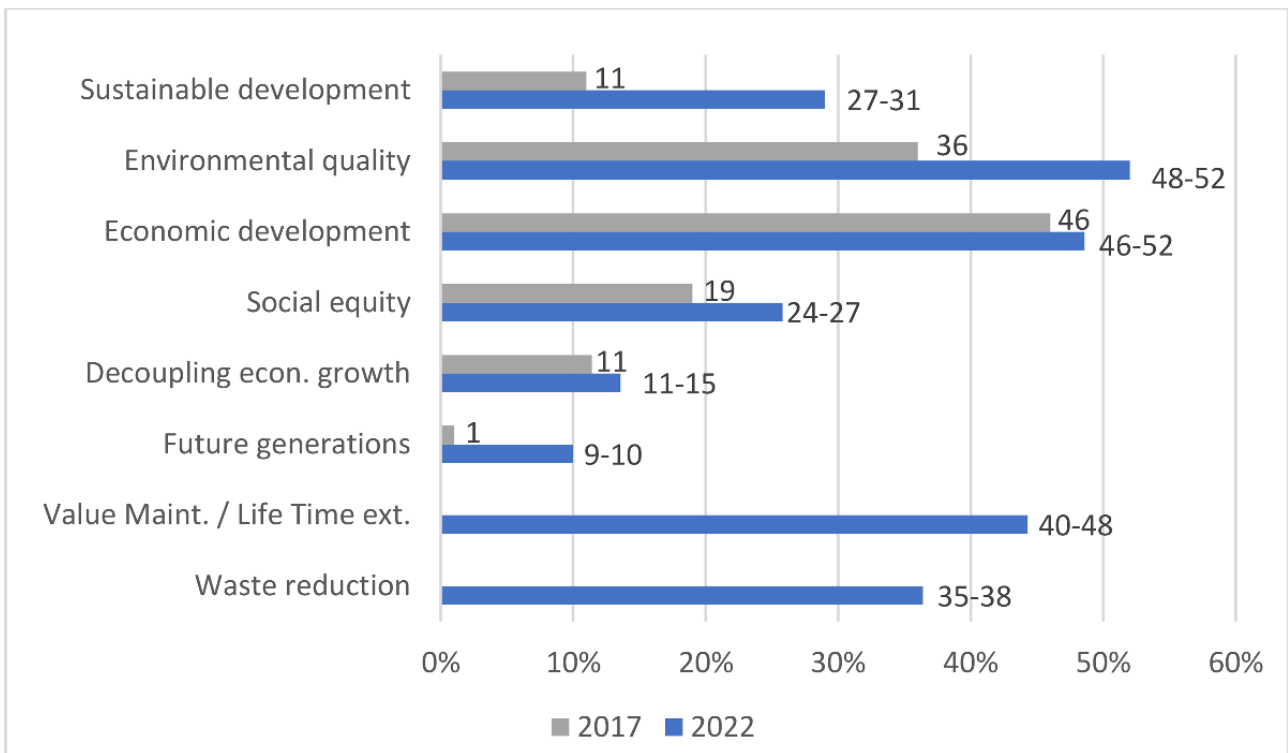


Figura 5 Coding results regarding CE Aims (Kirchherr et al., 2023)

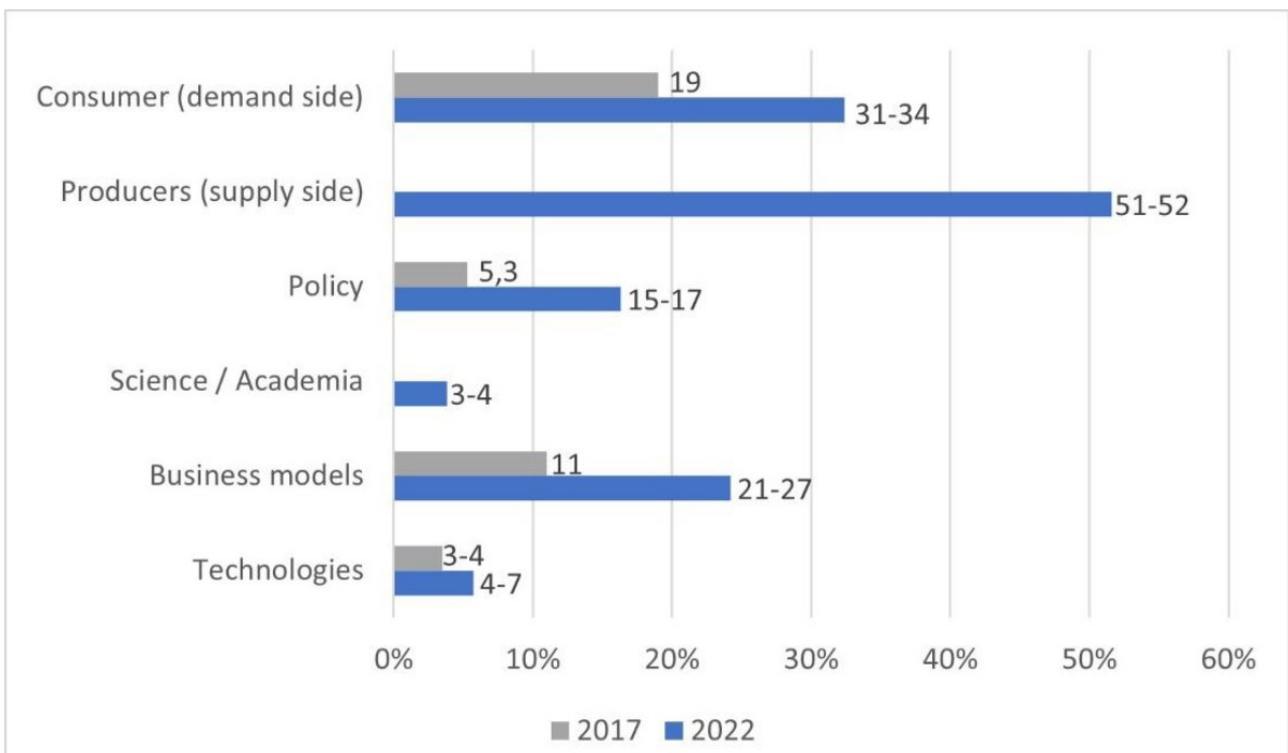


Figura 6 Coding results regarding CE Enablers (Kirchherr et al., 2023)

Temi focali per il presente studio

È utile analizzare la frequenza dei diversi concetti nelle tre dimensioni, come modo per identificare quelli principali. In particolare, di seguito riportiamo i concetti che superano il 30% delle occorrenze nelle definizioni considerate.

Nell'ambito dei "Core principles" le variabili risultanti sarebbero:

1. 3R
2. Reduce
3. Reuse
4. Recycle
5. Waste hierarchy
6. System perspective
7. Macro perspective

Nell'ambito degli "Aims" le variabili risultanti sarebbero:

8. Sustainable Development
9. Environmental quality
10. Economic development
11. Value maint. / Life-Time ext.
12. Waste reduction

Nell'ambito degli "Enablers" le variabili risultanti sarebbero:

13. Consumers (demand side)
14. Producers (supply side)

Passando quindi da 30 concetti a solo 14 concetti.

Il medesimo esercizio viene di seguito ripetuto elevando la soglia al valore 40%, così ottenendo il seguente risultato.

Nell'ambito dei "Core principles" le variabili risultanti sarebbero:

1. 3R
2. Reduce
3. Reuse
4. Recycle
5. System perspective
6. Macro perspective

Nell'ambito degli "Aims" le variabili risultanti sarebbero:

7. Environmental quality
8. Economic development
9. Value maint. / Life-Time ext.

Nell'ambito degli "Enablers" le variabili risultanti sarebbero:

10. Producers (supply side)

Passando quindi da 30 concetti a solo 10 concetti.

Tale selezione dei concetti che presentano una maggiore significatività di presenze nelle definizioni considerate di EC, evidenzia quali siano i tratti di maggiore rilievo di questa definizione.

Gli aspetti legati al trattamento dei rifiuti (3R, Reduce, Reuse, Recycle, Value maint. / Life-Time ext.) considerati in una prospettiva di sistema e con un orientamento, al tempo stesso, allo sviluppo economico e alla tutela dell'ambiente, sembrano poter rappresentare una sintesi possibile dei contenuti concettuali più frequenti nelle definizioni considerate.

L'idea di fondo della EC appare urgente nella sua necessità di concretizzazione (data soprattutto la situazione ambientale) e, al tempo stesso, utopica nella sua reale possibilità di attuazione (data soprattutto la notevole resistenza ai cambiamenti dell'attuale sistema economico-produttivo).

L'eliminazione dei rifiuti (a valle) ottenuta con una opportuna progettazione dei prodotti (a monte), sembra essere un obiettivo molto lontano da poter essere conseguito (Chengcheng, 2022) (Ipsen et al., 2021) (Ossó et al., 2023).

Da questo punto di vista, il periodo di transizione potrebbe rivelarsi molto lungo e quindi emerge con forza un'esigenza legata al periodo di transizione tra i due modelli e cioè quella di gestire nel modo più opportuno i rifiuti che continueranno ad essere prodotti dall'attuale sistema economico-produttivo.

Per questo motivo, il focus stringente che è posto dalle definizioni di EC sulla gestione dei rifiuti, diventa ancora più importante e sarà nel seguito affrontato dai due differenti punti di vista dell'approccio "Simbiosi Industriale" e dell'approccio "Waste Management".

1.2. Simbiosi Industriale (SI)

La simbiosi industriale (SI) è considerata un mezzo per realizzare un'economia circolare (EC) (The Ellen MacArthur Foundation, 2014; European Commission, 2020) e consiste nella condivisione di risorse immateriali, materiali ed energetiche tra processi industriali, che possono appartengono anche a diversi settori industriali (D. R. Lombardi & Laybourn, 2012).

Percorso evolutivo delle definizioni di SI

Il concetto di SI si è evoluto nel tempo (Mallawaarachchi et al., 2020) acquisendo significati sempre più diversi e ampi a partire dalle definizioni iniziali. Come tale, in letteratura, viene riportata la definizione di (Frosch & Gallopoulos, 1989) che per primi introducono il concetto di "ecosistemi industriali" come di una soluzione per ottenere un riutilizzo di rifiuti e sottoprodotti a fini produttivi e per minimizzare il degrado ambientale.

A questa, che può essere considerata una definizione pionieristica ed embrionale, seguì, dopo circa dieci anni, la definizione di (M. Chertow, 2000) che è di fatto considerata la capostipite delle definizioni. Recita così:

"La simbiosi industriale coinvolge entità tradizionalmente separate in un approccio collettivo volto al vantaggio competitivo che coinvolge lo scambio fisico di materiali, energia, acqua e sottoprodotti. Gli aspetti chiave della simbiosi industriale sono la collaborazione e le possibilità sinergiche offerte dalla prossimità geografica"

A valle di questo esordio, come documentato da (Mallawaarachchi et al., 2020), nella comunità scientifica si è verificato un dibattito molto ampio che può essere visto come un percorso evolutivo dei concetti alla base della definizione di SI. Purtroppo tale percorso non è approdato, ad oggi, ad un esito condiviso.

Come nel caso della definizione di EC, la proliferazione di proposte attorno all'idea iniziale e la mancanza di una reale convergenza verso una definizione comune e condivisa, potrebbe portare anche alla scomparsa del concetto stesso (Kirchherr et al., 2017).

Ciò nonostante, come risulterà meglio evidente nel seguito, esiste una convergenza su alcuni macro-temi che ricorrono nelle varie definizioni.

A valle dello studio di (Mallawaarachchi et al., 2020), per quanto è a mia conoscenza, non sono stati pubblicati altri studi significativi di review e quindi possiamo considerare quello di (Mallawaarachchi et al., 2020) come la review più aggiornata oggi disponibile.

In particolare lo studio citato riporta il seguente percorso evolutivo (Figura 7):

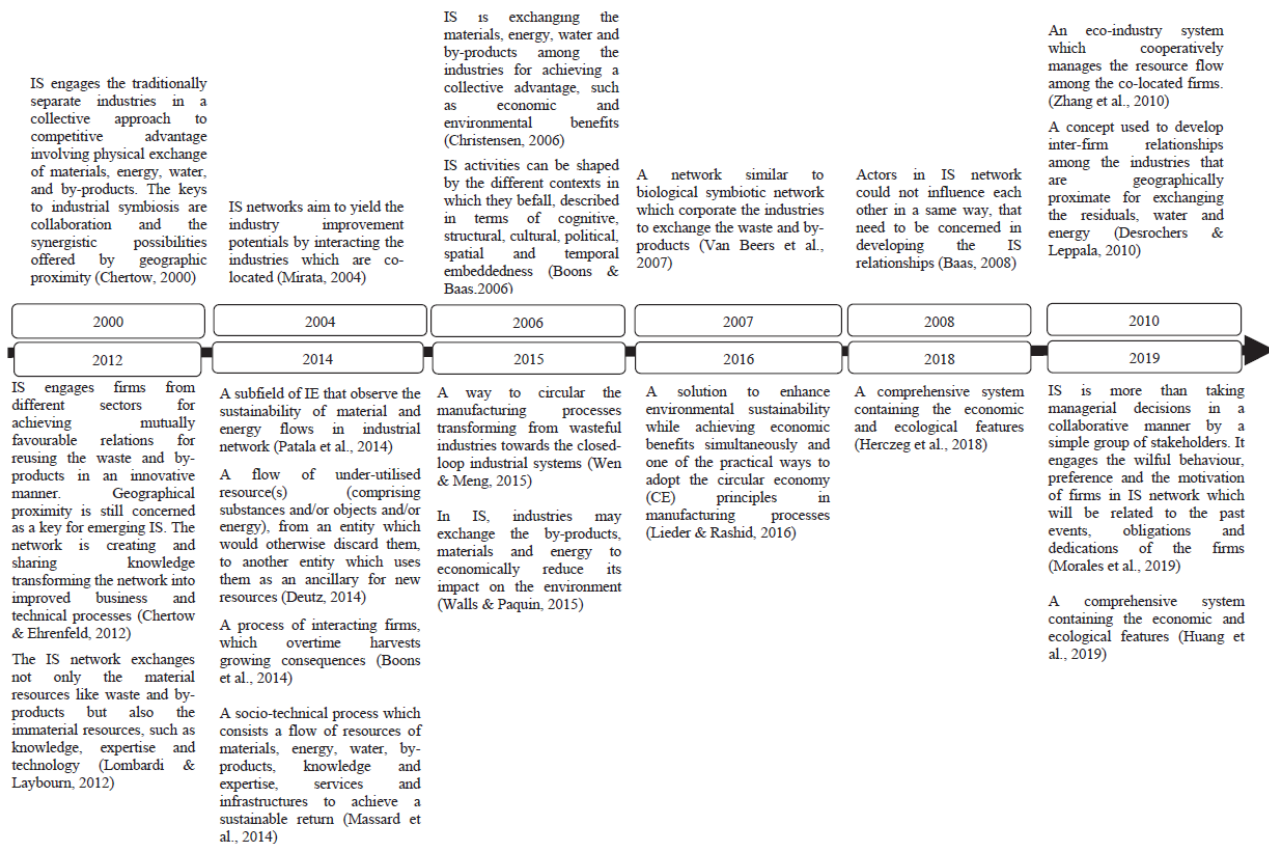


Figura 7 Evoluzione del concetto di SI dal 2000 al 2019 (Mallawaarachchi et al., 2020)

Non analizzerò nel dettaglio tutte le definizioni che si sono succedute dal 2000 al 2019 ma, oltre alla definizione già riportata della Chertow, mi concentrerò solo su due ulteriori contributi che, a mio avviso rivestono un significato di particolare rilievo e cioè la definizione di (D. R. Lombardi & Laybourn, 2012) e la definizione di (M. Huang et al., 2019).

Una tappa di particolare importanza in questo percorso è costituita dall'anno 2012 quando, due tra i protagonisti principali dell'esperienza del National Industrial Symbiosis Program (NISP, il programma di SI del Regno Unito), propongono una definizione "practitioner-based" di SI basata sulla loro esperienza ormai decennale maturata al NISP. In particolare affermano che: *"All terms in Chertow's definition relate back to the ecological metaphor that is considered the foundation of IS, and IE more broadly. Many have a strong (not singular) association with a particular academic discipline, such as "exchange" with economics, "competitive advantage" with business, and "physical resources" with engineering and the natural sciences. Based on our experience communicating with practitioners and policy makers, we propose an alternative definition that positions IS as a business opportunity and tool for eco-innovation; ecoefficiency gains are generally a result of IS, not a driver, and geographic proximity is not mentioned because it is neither necessary nor sufficient for IS. Our definition carries forward various concepts from Chertow"*

E quindi propongono la seguente definizione di SI: *"IS engages diverse organizations in a network to foster ecoinnovation and long-term culture change. Creating and sharing knowledge through the network yields mutually profitable transactions for novel sourcing of required inputs, value-added destinations for non-product outputs, and improved business and technical processes"*

Argomentando quindi la spiegazione della definizione da una *practitioner perspective* e giungendo alla conclusione più significativa che è quella riportata nella timeline presente in figura 7 secondo cui “*The IS network exchanges not only the material resources like waste and by-products but also the immaterial resources, such as knowledge, expertise and technology*” (D. R. Lombardi & Laybourn, 2012).

Questa definizione segna un punto di svolta perché, a partire dal punto di vista di chi la SI “la fa”, introduce una dimensione “soft” che va decisamente oltre la dimensione “hard” degli scambi fisici di materie ed energia legati alla prossimità geografica che incomincia ad essere superata. Questo appena descritto, a più di dieci anni di distanza dalla definizione del 2000, si rivela essere uno degli aspetti più rilevanti a determinare il successo o l’insuccesso di un progetto di sinergia di simbiosi.

Il grande sforzo iniziale che è necessario per far decollare una iniziativa di SI è perlopiù dedicato a superare gli ostacoli di tipo normativo-organizzativo-informativo più che ad affrontare i “normali” problemi di tipo tecnico-economico legati alla fattibilità di un progetto industriale. Ancora oggi, come si dirà più avanti, ad ulteriori dieci anni di distanza dalla definizione di (D. R. Lombardi & Laybourn, 2012), sia al livello della ricerca che al livello della consulenza, ci si interroga su come meglio poter replicare le esperienze di successo di SI in modo da poter suddividere lo sforzo iniziale di avvio della sinergia su più progetti e quindi realizzare una forma di economia di scala nella “produzione” di sinergie simbiotiche.

Il punto di arrivo di questo percorso evolutivo sembra essere, nel 2019, la definizione di (M. Huang et al., 2019) che, in modo non molto dissimile da quanto fatto da (Frosch & Gallopoulos, 1989) ritorna a parlare della possibilità di creare sinergie simbiotiche perché la “*IS is a complete industrial ecosystem*”.

Nella Figura 8, (Mallawaarachchi et al., 2020) riportano i concetti più significativi delle definizioni che si sono succedute nel periodo 2000-2019.

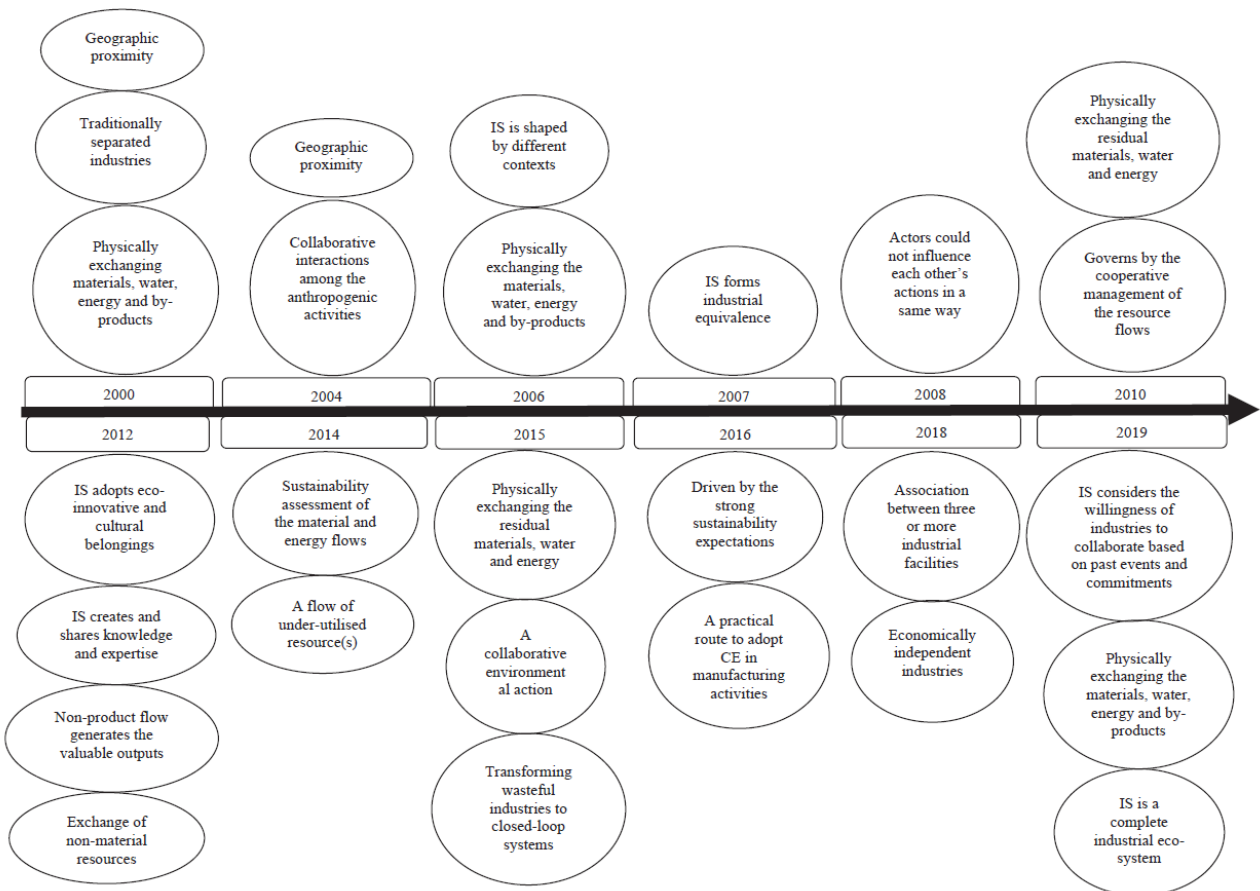


Figura 8 Aspetti più significativi delle definizioni di SI dal 2000 al 2019 (Mallawaarachchi et al., 2020)

Il modello conclusivo di sintesi di venti anni di definizioni di SI proposto da (Mallawaarachchi et al., 2020) è rappresentato a pagina 9 del loro articolo e vede la SI così rappresentata.

- Contesto: la SI è da intendersi collocata all'interno di un contesto ben specifico e caratterizzato dal punto di vista temporale, cognitivo, strutturale, culturale, politico e spaziale
- Network: la SI ha a che fare con i seguenti temi che riguardano la costruzione del network
 - o Physically exchanging the materials, water, energy, by-products, infrastructure and services
 - o Traditionally separated industries and economically independent industries
 - o Willingness of industries to collaborate based on past events and commitments
 - o Cooperative management of the resource flows
 - o Actors have different influences on each other's actions and outcomes
 - o Exchange of non-material resources (knowledge, expertise and technology)
 - o Creating and sharing knowledge
 - o Geographical proximity
- Esternalità: la SI è all'origine delle seguenti esternalità
 - o Sustainability of material and energy flows
 - o Creating value-added destinations
 - o Reduction of ecological footprint of industrial areas
 - o Industrial equivalent of a biological symbiotic network
 - o A collaborative environmental action
 - o Eco-innovative and cultural belongings
 - o Transforming wasteful industries to closed-loop systems/CE

Nel modello risultante dalla sintesi proposta da (Mallawaarachchi et al., 2020), sono presenti tutti gli aspetti più significativi riscontrati in circa venti anni di riflessione sul concetto di SI. Il risultato sembra essere molto articolato e complesso, se guardato dal punto di vista della concreta possibilità realizzativa di sinergie di simbiosi in un determinato contesto industriale.

Con l'obiettivo di poter ricondurre la definizione di SI al modello delle 9R e alla cd. "gerarchia dei rifiuti" (che sarà illustrata più avanti), ritengo di particolare importanza integrare l'exkursus appena illustrato delle definizioni di SI con quanto proposto in (Fraccascia et al., 2017) e anche con due ulteriori contributi che non sono stati inclusi nello studio di (Mallawaarachchi et al., 2020) e cioè:

1. la definizione presente nella proposta di standard CWA 17354: December 2018 *Industrial Symbiosis: Core Elements and Implementation Approaches* (CEN, 2018) che sarà illustrata più avanti,
2. la definizione contenuta nel report di T. Domenech per la Commissione Europea (Commission et al., 2018) divenuto anche la pubblicazione (Domenech et al., 2019).

(Fraccascia et al., 2017) riconoscono due tipi di relazioni simbiotiche: sostituzione pura e sostituzione impura, nel caso di necessità di un processo intermedio di trattamento del rifiuto, come riportato in Figura 9:

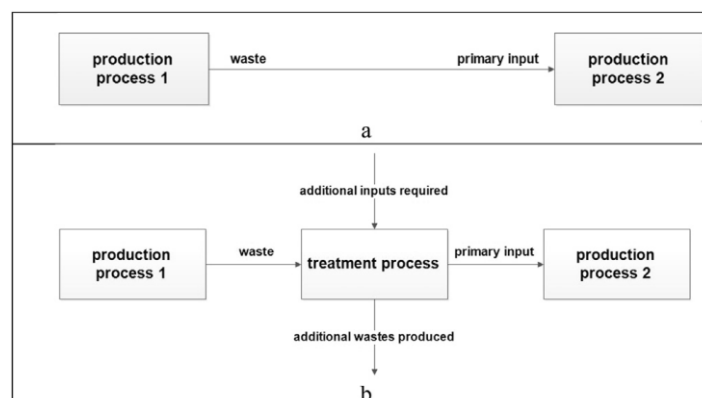


Figura 9 - Relazione simbiotica con sostituzione (a) "pura" e (b) "impura" (Fraccascia et al., 2017)

Fermo restando che la relazione simbiotica, per poter essere tale, deve necessariamente portare, dal punto di vista ambientale, ad un esito più vantaggioso rispetto alla situazione non simbiotica di partenza, quanto rappresentato implica che la SI di fatto possa occuparsi indistintamente sia di riuso che di riciclo.

Inoltre, la definizione ereditata nella proposta di standard CEN (European Committee for Standardization) Workshop Agreement, CWA 17354:2018. *Industrial Symbiosis: Core Elements and Implementation Approaches*, p. 7, è di seguito riportata:

“Industrial symbiosis is the use by one company or sector of underutilised resources broadly defined (including waste, by products, residues, energy, water, logistics, capacity, expertise, equipment and materials) from another, with the result of keeping resources in productive use for longer. It presents a systems approach to a more sustainable and integrated industrial economy that identifies business opportunities to improve resource utilisation and productivity.” (CEN, 2018)

L'elemento su cui appuntare l'attenzione è *“the use ... of underutilised resources broadly defined ... from another, with the result of keeping resources in productive use for longer”*. In questa parte della definizione non si rilevano chiari riferimenti che consentano di comprendere quale sia il posizionamento della SI rispetto p. es. al modello delle 9R riportato nel paragrafo sulla EC. Sembrerebbe di poter intuire che la definizione di SI sopra riportata possa avvicinarsi più all'idea del riuso che non a quella del riciclo ma non se ne può trarre una conclusione definitiva.

Un ulteriore contributo è dato dalla definizione contenuta nel report Domenech (Commission et al., 2018)

Industrial symbiosis (IS) is a systems approach to a more sustainable and integrated industrial system, which identifies business opportunities that leverage underutilised resources (such as materials, energy, water, capacity, expertise, assets etc.) (D. R. Lombardi & Laybourn, 2012). *IS involves organisations operating in different sectors of activity that engage in mutually beneficial transactions to reuse waste and by-products, finding innovative ways to source inputs and optimise the value of the residues of their processes, for instance by using waste or by-products from one activity as an input for another activity.*

There is some confusion generated by the diversity of terminology surrounding IS due to the lack of a standardised and internationally accepted methodology for industrial symbiosis (van Berkel, 2006) ...

In summary, our working definition of industrial symbiosis encompasses networks of different industrial actors belonging to different sectors of activity that, by collaboration and networking identify opportunities to keep physical resources in productive use for longer (rather than go to waste), thereby achieving a better system performance in the use of resources (including materials, energy, water, technology and knowledge), resulting in beneficial environmental and economic outcomes. ...

In line with the confusion surrounding the concept of industrial symbiosis, IS transactions are sometimes confused with common waste management practices. IS is not a specific approach for dealing with waste but rather a systems approach that aims to keep resources in productive use, and maintain or increase their value. This includes not only materials, but also energy, waste heat, space and other intangible assets. IS focuses on opportunities to reduce and reuse (i.e., working at the high end of the waste hierarchy), and to move waste and residuals up the value chain by providing resource- and energy-saving alternatives to traditional management or recycling options (Commission et al., 2018).

Alcuni aspetti meritano di essere evidenziati:

- anche la definizione data nel lavoro di Domenech non contiene elementi che facciano pensare a come poter concretamente realizzare la SI
- sin dal 2006 van Berkel parlava di confusione nella terminologia adottata per definire la SI che viene attribuita alla mancanza di una metodologia standardizzata e accettata a livello internazionale

- tale confusione è evidenziata anche da Domenech quando sottolinea che alcune volte la SI è confusa con le pratiche di WM
- in particolare Domenech sottolinea il fatto che la SI è un approccio di sistema piuttosto che un approccio che tenda a risolvere specifici problemi legati al trattamento dei rifiuti.
- ancora più in particolare specifica che la SI piuttosto *focuses on opportunities to reduce and reuse (i.e., working at the high end of the waste hierarchy)*

Quest'ultima considerazione risulta particolarmente preziosa perché per la prima volta (a me nota) si dice che la SI ha a che fare perlopiù con il *reduce* e il *reuse* collocandosi quindi *at the high end of the waste hierarchy*.

Questo ovviamente ha delle implicazioni, come sarà meglio argomentato più avanti, perché significa che la SI incomincia ad avere una sua più precisa connotazione anche rispetto ad altri approcci che insistono sulla stessa materia prima della SI e cioè i rifiuti e quindi questo significa che incomincia (solo nel 2018) a delinearci un possibile quadro unitario degli sforzi volti alla migliore gestione dei rifiuti a vantaggio dell'ambiente.

Processi di emersione di una relazione di SI (Industrial Symbiosis Relationship, ISR)

Nella letteratura scientifica sono stati proposti alcuni modelli del processo di emersione di una relazione di SI. Una interessante revisione bibliografica di questi modelli che effettua un'ampia e approfondita disamina degli studi precedenti e propone un modello che ne rappresenta una efficace sintesi, è proposta in (Mortensen & Kørnøv, 2019).

Lo studio esplora due aspetti del processo di emersione della SI: il processo attraverso il quale emergono i legami iniziali e i fattori critici che influenzano la transizione tra le fasi del processo.

Identifica tre fasi (iterative) fondamentali: 1) consapevolezza e interesse per la simbiosi industriale, 2) ricerca ed esplorazione di connessioni e 3) organizzazione.

Inoltre, vengono identificati cinque gruppi di fattori critici (condizioni contestuali, attori, ruoli degli attori, caratteristiche degli attori e attività degli attori) che influenzano il processo di emersione in gradi diversi e in momenti diversi del processo.

La Figura 10 rappresenta, in un diagramma, quanto appena descritto.

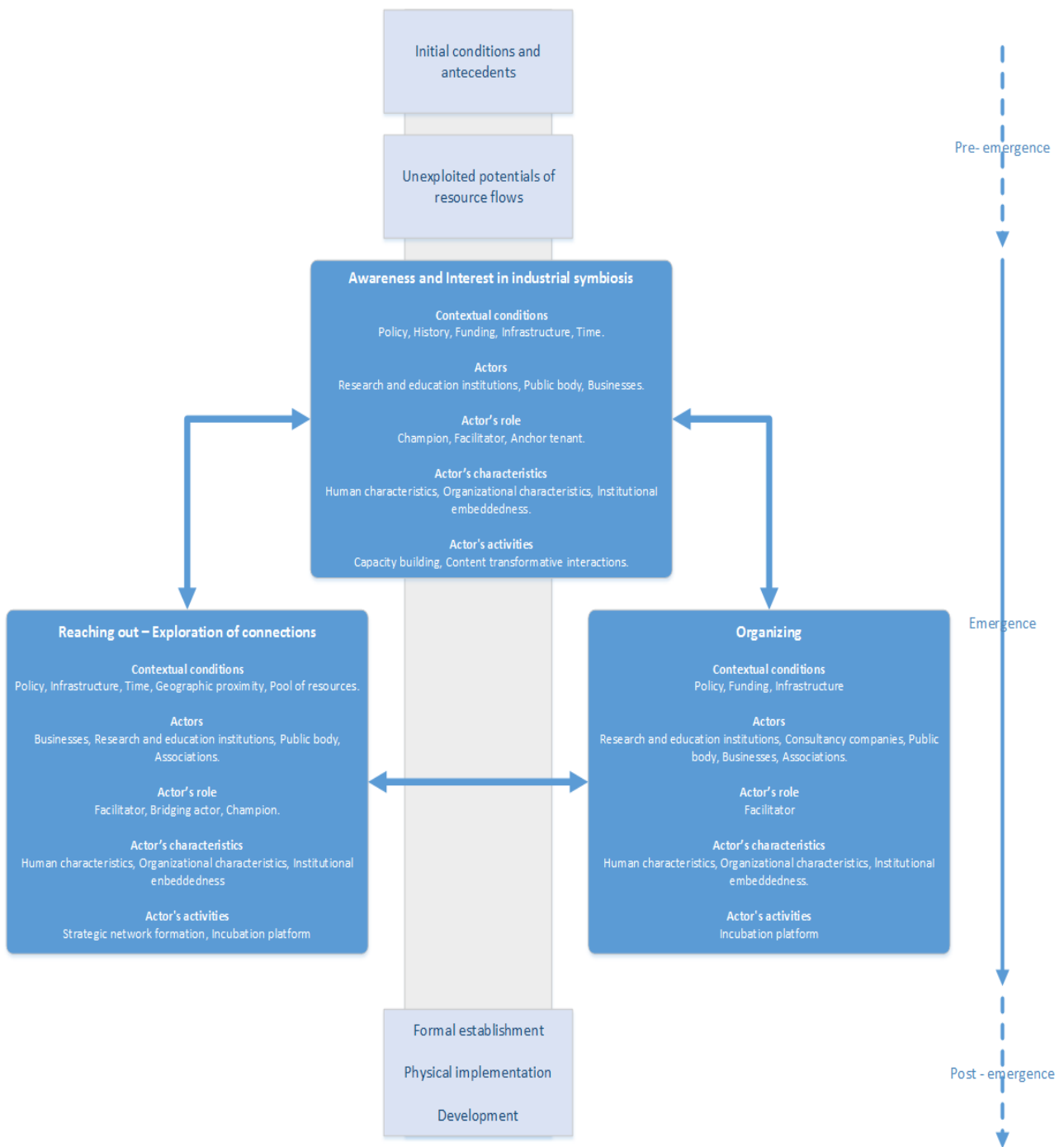


Figura 10 - Modello di emersione della SI: processo e fattori critici che influenzano la transizione tra le fasi (Mortensen & Kørnøv, 2019)

Lo studio di (Schlüter et al., 2020) ha l'obiettivo di determinare in che modo le simbiosi industriali esistenti influenzano l'emersione di nuove e contribuiscono allo sviluppo della rete di SI.

Viene costruito e presentato un modello concettuale, ispirato ad analogie con i processi biologici di riproduzione tradotti in principi industriali, che spiega la connessione e la dipendenza tra simbiosi industriali esistenti ed emergenti.

I risultati dello studio mostrano come il modello di riproduzione della SI si è rivelato uno strumento utile per meglio comprendere i processi di emersione della SI e i processi di sviluppo della ISN rivelando il ruolo dell'interconnessione tra collegamenti simbiotici industriali esistenti ed emergenti.

Lo studio di (Uusikartano et al., 2022) intende la SI come un processo complesso e dinamico di condivisione di risorse materiali e immateriali tra più attori pubblici e privati e indaga il modo in cui gli attori pubblici e privati contribuiscano insieme all'emersione e allo sviluppo della SI.

Il confronto di due casi che rappresentano i principali archetipi dei modelli di SI (ovvero, SI pianificata da attori pubblici e SI auto-emergente tra attori privati), mostra che l'interazione pubblico-privato per promuovere la SI, presenta caratteristiche simili tra i casi.

Il contributo principale dello studio riguarda la modellazione e la definizione del processo di emersione della SI come un'interazione intrinsecamente dinamica del rapporto tra istituzioni pubbliche e attori privati in ciascuna fase del processo. Tale interazione coinvolge diversi attori a vari livelli e supera l'attuale visione, in qualche modo dicotomica negli studi sui processi di emersione della SI, che considera gli attori pubblici e privati come isolati e statici (Uusikartano et al., 2022).

Infine, in un recente contributo di Mortensen, si affronta il tema dell'emersione della SI all'interno delle aree industriali portuali e si mostra come la simbiosi industriale emerga attraverso modelli di business collaborativi. Lo studio identifica i driver per l'emersione della SI tra cui l'importanza della vicinanza geografica e lo sforzo collettivo degli attori per collegare gli obiettivi economici, ambientali e sociali tra i settori pubblico e privato (Mortensen et al., 2023).

A conclusione di questa sintetica disamina dei lavori presenti in letteratura sullo studio dei processi di emersione della SI, di particolare interesse per questo studio sono i lavori di (Mortensen & Kørnø, 2019) e di (Uusikartano et al., 2022).

Lo studio di (Mortensen & Kørnø, 2019), rappresentando di fatto lo stato dell'arte su questo tema, evidenzia in modo chiaro la complessità del processo di emersione che non trova attuazione nello stesso modo in cui avviene una relazione tra due imprese che operano sul mercato interagendo in modo tradizionale.

Il secondo aspetto di rilievo è sollevato nella ricerca di (Uusikartano et al., 2022) che evidenziano il ruolo fondamentale e benefico della interazione tra attori pubblici e privati per l'emersione di ISRs.

Barriere al processo di emersione delle relazioni di SI

I processi di emersione portano solitamente a reti di simbiosi industriale (Industrial Symbiosis Networks, ISNs) configurate "ad hoc" e calibrate per soddisfare le esigenze specifiche di un certo numero di aziende che, in una determinata area geografica, decidono di interagire sinergicamente attraverso scambi simbiotici (Domenech et al., 2019).

Il tema delle barriere alla emersione di relazioni di SI si è rivelato sin da subito di grande importanza.

La fattibilità della realizzazione di una sinergia di simbiosi è stata innanzitutto valutata dal punto di vista tecnico e della convenienza economica ma circa a metà del percorso dell'evoluzione concettuale ci si è conto (anche a valle di numerose esperienze maturate) che, ad ostacolare l'emersione delle sinergie era un altro insieme di fattori in gran parte legati al contesto normativo, organizzativo e inter-organizzativo e alla dimensione della condivisione dell'informazione e della conoscenza.

Già (Fichtner et al., 2005) in un'epoca molto vicina alla definizione capostipite del 2000, identificano tre tipi di barriere applicabili alla simbiosi industriale: il livello personale, aziendale e interaziendale.

Una caratterizzazione ben assestata e più vicina ai giorni nostri dell'insieme delle barriere che ostacolano il realizzarsi di sinergie di SI, è pubblicata circa dieci anni dopo nel lavoro di (Golev et al., 2015) che individuano sette barriere che riporto di seguito (Tabella 2) insieme alle loro descrizioni:

Category	Description
Regulatory	The uncertainties in environmental legislation and difficulties to obtain approvals for waste reuse projects from the regulatory authorities may also be an obstacle for potential synergies. At the same time, compulsory legal requirements to recycle specific materials, higher taxes for waste disposal, and so on, are the drivers for synergy projects.
Economic	Synergistic connections are expected to bring a positive economic outcome along with environmental benefits. Economic feasibility may result in increased revenue, lower input costs, lower operational costs, and diversifying and/or securing water, energy, and material supplies.
Technical	Technical feasibility is an indispensable condition to proceed with a potential synergy. A lack of technical knowledge within the industries may be an additional barrier for a new project. This can be compensated by involving a consulting company or research organization.
Cooperation	The cooperation and trust between key players, sharing of information, and network development are crucially important factors for new synergy projects. A coordinating body (e.g., interindustry council) can significantly contribute to this.
Information	The detailed qualitative and quantitative data on waste streams and local industries' material/water/energy requirements provide the starting point for the development of regional resource synergies.
Community	Community awareness (of the environmental and economic impacts that industries generate) can be a strong driver to initiate or stop the development of different projects. Well-established communication systems between the industries and local community, as well as environmental education programs, help to ensure the legitimate status of new synergies.
Commitment to Sustainable Development	Organizational strategy, goals, and performance measures have to motivate managers to develop and participate in the synergy projects, contributing to the company's and regional SD.

Tabella 2 - Insieme delle barriere che ostacolano l'emergere di sinergie di SI (Golev et al., 2015)

Inoltre (Golev et al., 2015) individuano anche cinque stadi di emersione di una relazione di SI che sono:

- Stage 1: Not Recognized
- Stage 2: Initial Efforts
- Stage 3: Active
- Stage 4: Proactive
- Stage 5: Forming the Future

Incrociano i sette tipi di barriere individuate con i cinque stadi di emersione, viene a formarsi una griglia che consente di valutare la maturità con cui un tessuto industriale è capace di implementare sinergie di simbiosi e, più in generale, adottare buone pratiche di circolarità.

Per il presente lavoro sono di particolare rilievo proprio gli aspetti che riguardano l'insieme delle barriere "non-tecniche".

L'impresa di solito non vede con grandi preoccupazioni gli ostacoli legati alla tecnologia e vede facilmente comprensibili anche gli aspetti legati alla convenienza economica ma ritiene che le possibili sinergie debbano essere convenienti innanzitutto dal punto di vista economico. A volte, opportunità tecnicamente fattibili non sono perseguite perché non convenienti economicamente anche se vantaggiose dal punto di vista ambientale.

Ciò che invece ha sempre rappresentato un insieme di ostacoli che hanno scoraggiato dall'andare oltre sono stati gli aspetti legati al contesto normativo, organizzativo e interorganizzativo e alla dimensione della condivisione dell'informazione e della conoscenza. Il tema delle barriere non-tecniche viene ritenuto una delle principali cause della scarsa diffusione della SI: meno dello 0,1% del numero di imprese europee sono coinvolte in iniziative di SI (R. Lombardi, 2017).

Proprio per questo motivo, sul tema delle barriere non tecniche è di rilievo quanto scritto da (R. Lombardi, 2017) che definisce la SI come *"the use by one company or sector of resources (materials, energy, water, logistics, capacity) from another, thus reducing waste generation while delivering economic, environmental and social benefits"*.

Anche in tempi molto recenti, il complesso percorso di trasformazione dal modello lineare al modello circolare per la realizzazione della SI e le sfide collegate a questa transizione, sono state esplorate mediante l'utilizzo della tecnica del "decision-making trial and evaluation laboratory" (DEMATEL). I risultati rivelano che le sfide organizzative sono le più significative nel percorso di adozione di soluzioni di SI (Taqi et al., 2022).

Tra le barriere "non-tecniche" spicca la mancanza di condivisione di informazioni e di conoscenze. Questo porta ad una comprensione molto limitata dei rispettivi processi che dovrebbero in qualche modo interagire perché possa realizzarsi una sinergia. In quest'ambito si muove il ruolo dei facilitatori che identificano gli aspetti normativi, organizzativi e di governance come barriere potenziali e cercano di superarle, anche perché si ritiene che la SI facilitata offra un modello che è scalabile e replicabile in contesti di mercato differenti. Tale tema è particolarmente sentito perché la simbiosi supportata da strumenti ICT non ha ottenuto grande successo (Dhanorkar et al., 2015; Golev et al., 2015; Grant et al., 2010) ed è quindi importante capire come sviluppare una nuova generazione di strumenti ICT.

Un ulteriore tema dibattuto riguarda il modo in cui la normativa supporti o ostacoli l'emersione delle relazioni di SI (Järvenpää et al., 2019). La Commissione europea ha pubblicato il piano d'azione dell'UE per l'economia circolare nel dicembre 2015 (European Commission, 2015), (European Commission, 2019) e una strategia per la plastica nel 2018 (European Commission, 2018). L'obiettivo è favorire la transizione verso l'economia circolare. Il piano d'azione include obiettivi e azioni per la progettazione del prodotto, il processo produttivo, il consumo, le materie prime secondarie. Le azioni si sono concentrate su materiali specifici, come per esempio la plastica, rifiuti alimentari, materie prime critiche, rifiuti da costruzione e demolizione, biomasse e prodotti a base biologica e fertilizzanti.

In Figura 11 riporto una timeline aggiornata al 2020 della normativa rilevante in Europa e relativa al tema della SI. L'immagine è contenuta nel *Deliverable 4.4 - Report on EU-wide IS regulatory measures, regulatory gaps and need for IS deployment - WP4 - Action Plan for Industrial Symbiosis in Europe* (Konstantinos Karagkounis, 2020)



Figura 11 - SCALER Deliverable 4.4 - Timeline of the EU Policies relevant to IS

In Figura 12 invece riporto una rappresentazione grafica della mappatura delle politiche dell'UE legate alla simbiosi industriale.

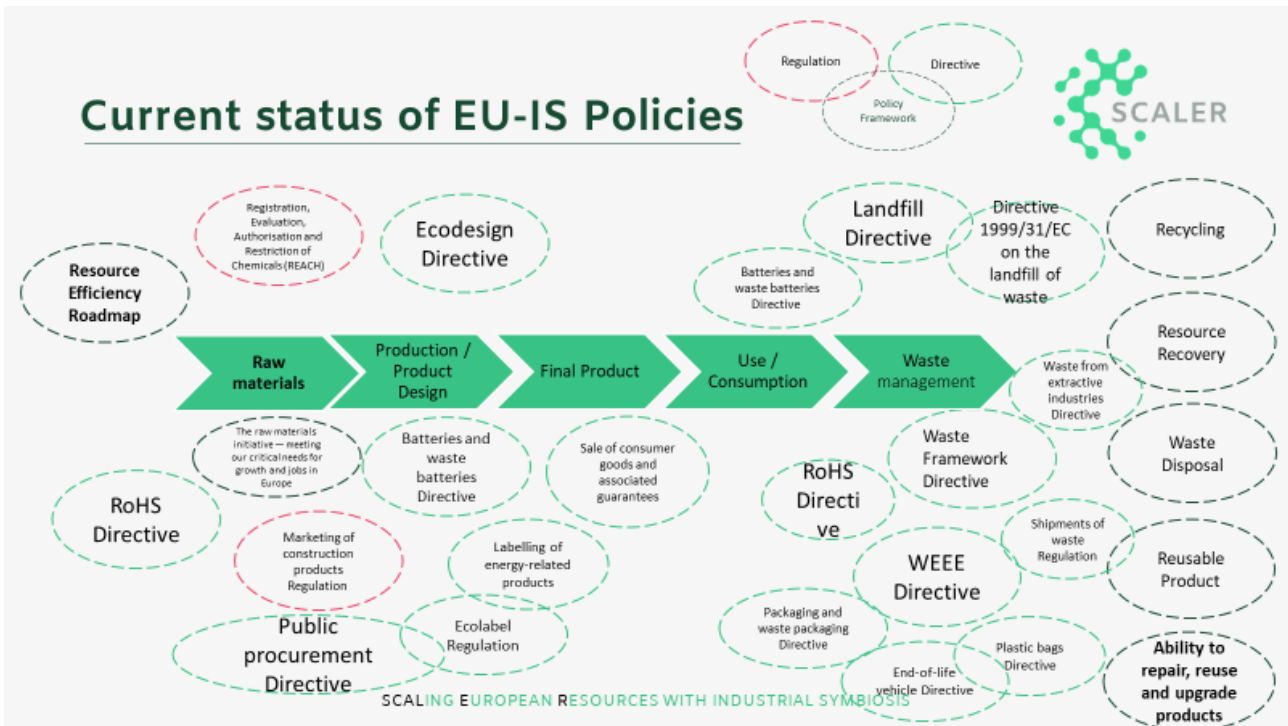


Figura 12 - Mappatura delle politiche dell'UE legate alla simbiosi industriale

La normativa può rappresentare un ostacolo reale quando impone dei veri divieti oppure quando è confusa e contraddittoria o quando riceve un'applicazione/interpretazione incoerente. La mancanza di chiarezza nelle norme induce timori e retrosie nelle aziende e atteggiamento conservativo da parte delle autorità che adotterebbero un'interpretazione non liberale anche a scapito di sinergie con benefici ambientali.

A tal proposito (R. Lombardi, 2017) sostiene che la direttiva quadro UE sui rifiuti ha introdotto barriere al riutilizzo attraverso requisiti opachi e/o onerosi per le aziende interessate. In particolare, nella direttiva citata, la definizione di rifiuto e i criteri dell'End of Waste determinano, per un materiale, sia la qualifica di "rifiuto" (con rilevanti conseguenze sia commerciali che in altri ambiti), che la sua cessazione. La confusione su tale definizione ostacola l'efficace attuazione della gerarchia dei rifiuti.

Se da un lato c'è ancora una comprensione limitata di quali politiche e a quali livelli siano più efficaci nel promuovere la simbiosi industriale (Iacondini et al., 2014) d'altro canto è chiaro dall'esperienza del NISP® nel Regno Unito (2005-2013) che la simbiosi industriale per avere successo non necessita di alcuna legislazione specifica.

In generale, le politiche modellano il contesto all'interno del quale opera l'impresa, e l'impresa risponde al contesto: se il contesto è limitativo le imprese risponderanno di conseguenza. Se il contesto è ambiguo (come nel caso dei criteri End of Waste della direttiva quadro sui rifiuti), le aziende perseguiranno un comportamento conservativo volto a evitare i rischi (R. Lombardi, 2017).

I risultati dell'indagine condotta, mediante questionari e interviste, nello studio di (R. Lombardi, 2017) presso aziende e consulenti (practitioners), è riportato di seguito (Tabella 3). Nell'ultima colonna è riportato il numero di volte che la barriera associata è stata citata come ostacolo alla realizzazione della SI.

Sfide associate all'attuazione della simbiosi industriale	Total
Process barriers	24
Regulatory barriers	20
Financial barriers	20
Transport barriers	19
Lack of information regarding alternative feedstock/inputs	16
Lack of time to implement solutions	14
Long timeframe for implementation of solutions	12
Other	11
Coordination barriers	8
Concerns about confidentiality	6
Gaining approval from relevant authorities	6
Contractual barriers	5
Logistical barriers	1

Tabella 3 Risultati del sondaggio: sfide associate all'implementazione della simbiosi industriale

Come evidente, le barriere maggiormente riferite (tutte quelle prima di Other) sono relative alla difficoltà di avviare un nuovo processo (quello simbiotico) che dialoghi con i processi esistenti nelle imprese di partenza. Da questo punto di vista, non ci si deve meravigliare e, anzi, ci si spiega il motivo per il quale rivesta un ruolo così importante quello del facilitatore/consulente che serve proprio ad agevolare il dialogo tra processi che, almeno all'inizio, non si parlano tra loro. In particolare le "process barriers" unitamente alle barriere normative, raccontano di una difficoltà a modificare la realtà sia dal punto di vista delle imprese che dal punto di vista del contesto nel quale operano.

Infine, partendo dall'assunto che la SI è vista come importante per realizzare una crescita a basse emissioni di carbonio e l'efficienza delle risorse a sostegno dell'economia circolare, i punti salienti delle conclusioni di (R. Lombardi, 2017) sono:

- La validità della simbiosi industriale facilitata è accettata come una delle politiche di efficienza delle risorse più efficaci anche nel raggiungere gli obiettivi di cambiamento climatico.
- Le tradizionali soluzioni ICT (scambio di rifiuti) non sono riuscite a produrre gli impatti che ha avuto la simbiosi industriale facilitata e la facilitazione è una chiave per superare questa barriera.

- La combinazione del modello agevolato con l'ICT si è dimostrata molto più efficace nel promuovere le sinergie rispetto al solo modello ICT, ma è più costosa da realizzare e più difficile da replicare.
- Delle barriere non tecniche alla simbiosi industriale esplorate attraverso sondaggi e interviste, sia le aziende che i professionisti identificano la regolamentazione e la politica come potenziali barriere, di solito affrontato attraverso la facilitazione.
- Infine, le questioni organizzative e di governance sono riconosciute come un ostacolo sia dai professionisti che dalle aziende (barriere di processo, mancanza di tempo, coordinamento).

Da questa sintetica disamina sul tema delle barriere alla SI, per quanto di interesse per la presente indagine, sembra emergere un aspetto di rilievo.

Nonostante oltre venti anni di evoluzione della concettualizzazione della SI, sembra non essere emersa con chiarezza una vera identità della SI dal punto di vista della modalità con cui gestisce la sua materia prima e cioè i rifiuti. Questo per esempio potrebbe aver determinato il fatto che non sia risultato particolarmente evidente il relativo vuoto normativo che, se fosse stato colmato, avrebbe consentito alla SI di poter operare all'interno di un contesto privo di quel tipo di ostacolo.

Oltre a ciò (e forse anche a causa di ciò), sembra che non sia emersa in modo chiaro una metodologia per attuare concretamente la SI. Per questo motivo, seguendo (R. Lombardi, 2017), il ruolo dei facilitatori è così importante e, in effetti, come si vedrà più avanti, la quantità di SI facilitata è preponderante rispetto alle altre modalità di emersione.

In definitiva, se mettiamo a fattor comune le due considerazioni sopra esposte, sembra che la SI non sia ancora giunta ad uno stadio di maturità di pieno sviluppo tanto da poter essere considerata "industrializzata" o "industrializzabile".

Giace invece in uno stato embrionale che determina il fatto che ogni relazione di SI sia costruita (ogni volta quasi partendo da zero) in qualche modo "sartoriale" e pertanto è spiegabile la grande importanza data al ruolo dei facilitatori. Da questo punto di vista, il dibattito sulla esportabilità e sulla replicabilità delle esperienze di SI, nel 2018, a valle del paper di (R. Lombardi, 2017) poteva essere considerato ancora molto giovane. Infatti, a tal riguardo, può essere considerato di rilievo il contributo di (Schlüter et al., 2020) che studia in che modo le simbiosi industriali esistenti influenzano l'emergere di nuove e contribuiscono allo sviluppo della rete di simbiosi industriali. Ispirandosi ad analogie con i processi biologici di riproduzione, tradotti in principi industriali si prova a spiegare la connessione e la dipendenza tra simbiosi industriali esistenti ed emergenti.

Questi due aspetti saranno richiamati nel seguito per poter discriminare gli esiti della SI rispetto ad altri approcci.

La costruzione della rete di SI (Industrial Symbiosis Network, ISN)

A differenza dei processi di emersione delle relazioni di SI, i numerosi aspetti riguardanti il funzionamento della supply chain (SC) simbiotica, riguardano perlopiù il funzionamento a regime della rete di SI (Industrial Symbiosis Network, ISN).

(Jensen et al., 2011) riflettono sul significato del concetto di prossimità geografica che ritengono essere una caratteristica astratta e che, almeno inizialmente, si è ritenuto potesse influenzare molto il funzionamento delle SC simbiotiche. Raggiungono una conclusione di tipo statistico circa le distanze tipicamente percorse all'interno delle reti simbiotiche.

(J. Zhu & Ruth, 2014) studiano le forme di emersione di un certo numero di reti simbiotiche raggiungendo la conclusione che, al livello regionale, la forma di emersione preferita è la auto-organizzazione della rete.

Gli aspetti riguardanti la ridondanza per garantire la stabilità e l'affidabilità nel funzionamento di una rete simbiotica sono affrontati in (Wu et al., 2017) che giungono a qualificare il tipo di ridondanza (di stock, di scala e di funzione) e a quantificarla per ognuno dei tre tipi.

(Herczeg et al., 2018) indagano la collaborazione all'interno della SC che realizza una rete di SI identificando i suoi principali aspetti e i loro impatti a livello di performance sul funzionamento della rete.

Per poter calcolare il risparmio di risorse e di rifiuti, la riduzione del consumo totale di energia, la riduzione delle emissioni di gas serra, (Fraccascia & Yazan, 2018b) utilizzano un modello EIO in grado di valutare in modo dinamico gli effetti della SI sulle tradizionali catene di approvvigionamento con riferimento alla variazione degli input di produzione determinati dal cambiamento nell'uso delle risorse.

(Prosman & Wæhrens, 2019) riflettono sul tema di come organizzare l'integrazione dei fornitori per gestire correttamente il problema della qualità (spesso bassa) dei rifiuti utilizzati come MPS. Sulla base dei dati, una soluzione è identificata in un maggiore allineamento di conoscenza tra fornitore e acquirente.

Inoltre, (Fraccascia et al., 2020) pongono in evidenza il grande ruolo della ridondanza nel riuscire a creare la resilienza delle reti simbiotiche e ne valutano l'impatto di tipo economico e ambientale.

(Turken & Geda, 2020) forniscono una definizione di SC simbiotica, costruiscono una tassonomia dei lavori in quest'ambito e osservano che la maggior parte della ricerca si focalizzi sulle reti auto-organizzate e sulle reti facilitate.

L'ottimizzazione del funzionamento della rete simbiotica è fatta da (L. Huang et al., 2020) facendo leva sui flussi di riciclo dei materiali di scarto e sulle decisioni relative allo scambio dei rifiuti medesimi.

(van Capelleveen et al., 2021) intendono supportare le scelte in una SC circolare con uno strumento visuale che implementa un sistema di raccomandazione per aiutare le decisioni di procurement.

(Vegter et al., 2021) propongono uno studio della letteratura che possa contribuire alla costruzione di un sistema di misurazione della performance per le SC circolari.

(Tombido & Baihaqi, 2022) propongono una revisione della letteratura sulle catene di approvvigionamento a circuito chiuso (CLSC).

(Fussone et al., 2022) analizzano l'impatto della SI sulle dinamiche della supply chain studiando le prestazioni dinamiche delle filiere simbiotiche. L'analisi di una serie di scenari basati su diversi trade-off domanda/offerta e lead time del processo di trattamento dei rifiuti, valutati in termini di effetto bullwhip, porta a concludere che il volume dell'ordine diminuisce con l'aumentare del flusso simbiotico, mentre la variabilità dell'ordine aumenta con esso.

(Tang & He, 2022) trovano il coordinamento ottimale della SC di una rete di SI caratterizzata da incertezza nella domanda e nell'offerta di rifiuti.

Infine una recente review della letteratura (A. Zhang et al., 2023) rileva che la letteratura sulla circular-SCM (CSCM) esistente comprende cinque gruppi importanti: (1) ottimizzazione del canale inverso; (2) revisioni di letteratura sulla CSCM e studi empirici; (3) filiera a ciclo chiuso (CLSC) e consumatori; (4) CLSC e gestione dell'inventario e (5) CLSC e logistica inversa (RL). Gli argomenti invece meno studiati includono rifiuti zero, simbiosi industriale, progettazione di prodotti circolari, approvvigionamento e gestione e riutilizzo delle forniture.

A valle di questa revisione della letteratura sul tema del funzionamento di una rete di SI, ritengo di poter identificare, nelle seguenti caratteristiche, alcuni dei più importanti aspetti relativi al funzionamento a regime della rete simbiotica:

- Strategia delle operazioni per le reti di SI

- Mismatch quantitativo tra domanda e offerta di rifiuti
- Variabilità qualitativa e quantitativa dei flussi di rifiuti
- Vulnerabilità delle operazioni di una rete di SI rispetto a eventi dirompenti
- Effetti dovuti a oscillazione/variabilità nelle reti simbiotiche
- Problemi di disallineamento delle remunerazioni nelle reti di SI
- Strategie di ridondanza per le sinergie di SI
- Sincronizzazione degli scambi di rifiuti tra più fornitori e acquirenti
- Strategie per la gestione delle scorte di rifiuti e sottoprodotti
- Sistemi di produzione e distribuzione nelle reti di SI
- Sincronizzazione logistica tra aziende nelle reti di SI
- Condivisione delle informazioni tra partner della rete simbiotica

La SI e la trasformazione digitale

Tratterò questo aspetto in modo relativamente sintetico perché già il contributo di (R. Lombardi, 2017) afferma chiaramente che gli strumenti ICT finora realizzati e utilizzati per la concretizzazione di relazioni di SI hanno contribuito in modo molto marginale come riportato anche in (Dhanorkar et al., 2015; Golev et al., 2015; Grant et al., 2010). Tale conclusione è stata raggiunta anche nelle considerazioni che seguono.

(van Capelleveen et al., 2018) conducono una indagine sulla letteratura dei sistemi informativi che facilitano l'identificazione della simbiosi industriale e identificano alcune categorie di sistemi informativi a ciò preposti che vengono classificati nei seguenti insiemi:

- Open online waste market
- Facilitated synergy identification system
- IS knowledge repository
- Industrial sector synergy identification system
- Social network synergy identification systems
- Region identification system

Come fanno notare p.es. (R. Lombardi, 2017) e (Maqbool et al., 2019), a vario titolo, tutti questi strumenti non hanno ottenuto grande successo avendo rappresentato perlopiù delle sperimentazioni (finanziate) in varie direzioni.

(Maqbool et al., 2019) fanno notare che, solo in Europa, dal 2006 sono stati investiti oltre 130 milioni di euro in progetti di ricerca per sviluppare metodologie, strumenti ICT, software, piattaforme o reti che facilitassero l'adozione della SI da parte di diversi attori economici.

Molte piattaforme non sono sopravvissute alla fine del progetto che le finanziava. Altre sono ormai inattive. Di oltre 20 piattaforme finanziate per la SI:

- 6 sono "completate, NON operative"
- 1 è in "aggiornamento operativo e continuo"
- 7 sono (almeno formalmente) operative
- 6 sono "in sviluppo"

(Grant et al., 2010) approfondiscono la barriera informativa e di conoscenza e distinguono tra due tipi di conoscenza. Da un lato la conoscenza esplicita o informazione (facilmente comunicabile, codificata o centralizzata) e dall'altro la conoscenza tacita come p.es. il capitale sociale, la fiducia e il know-how (complessa, non codificata, rivelata attraverso l'applicazione e il contesto) che quindi è costoso e difficile condividere tra le persone ma che è essenziale per le interazioni mutualistiche e non di mercato come sono

quelle richieste per la realizzazione di sinergie di SI. Questi aspetti hanno reso particolarmente gravoso e difficile la realizzazione di strumenti ICT idonei e il loro successo.

Su questa scia di indagine si collocano anche (Benedict et al., 2018) che, dichiarando esplicitamente e con forza che gli scambi più importanti per poter realizzare una sinergia di SI sono gli scambi di informazioni e di conoscenze, identificano quattro ostacoli principali alla SI e al suo corrispondente supporto IT: dati, informazioni e conoscenza; componente sociale; metodi, funzionalità/servizi; modalità di accesso e di funzionamento.

In conclusione di questo particolare aspetto, pur in presenza di importanti potenzialità dello strumento ICT (almeno dal punto di vista teorico, come adeguatamente documentato in (Fraccascia, 2020; Fraccascia & Yazan, 2018a)), la traduzione dei fabbisogni individuati in strumenti concreti non ha di fatto funzionato non tanto perchè di scarsa qualità il livello del progetto di implementazione tecnica o lo strumento in sè, quanto perchè sembra non aver funzionato l'individuazione dei fabbisogni che, evidentemente, non ha intercettato le reali esigenze utili per la costruzione della sinergia.

Infatti, come affermato anche da (R. Lombardi, 2017), questo è un tema su cui ci si interroga ancora per poter essere in grado di costruire una nuova generazione di strumenti ICT a supporto delle sinergie di SI.

Il tema della standardizzazione

Le considerazioni appena svolte hanno rappresentato l'esigenza di una migliore definizione della SI e di una sua standardizzazione per avere maggiore possibilità di concretizzare gli sforzi.

Nel più generale contesto delle tematiche attinenti la SI, esistono già una serie di standard indirizzati a normare specifiche materie. Il Deliverable 4.5 "Report on industrial symbiosis standardisation needs" del progetto SCALER (SCALing European Resources with industrial symbiosis) ne riporta la mappa in Figura 13:

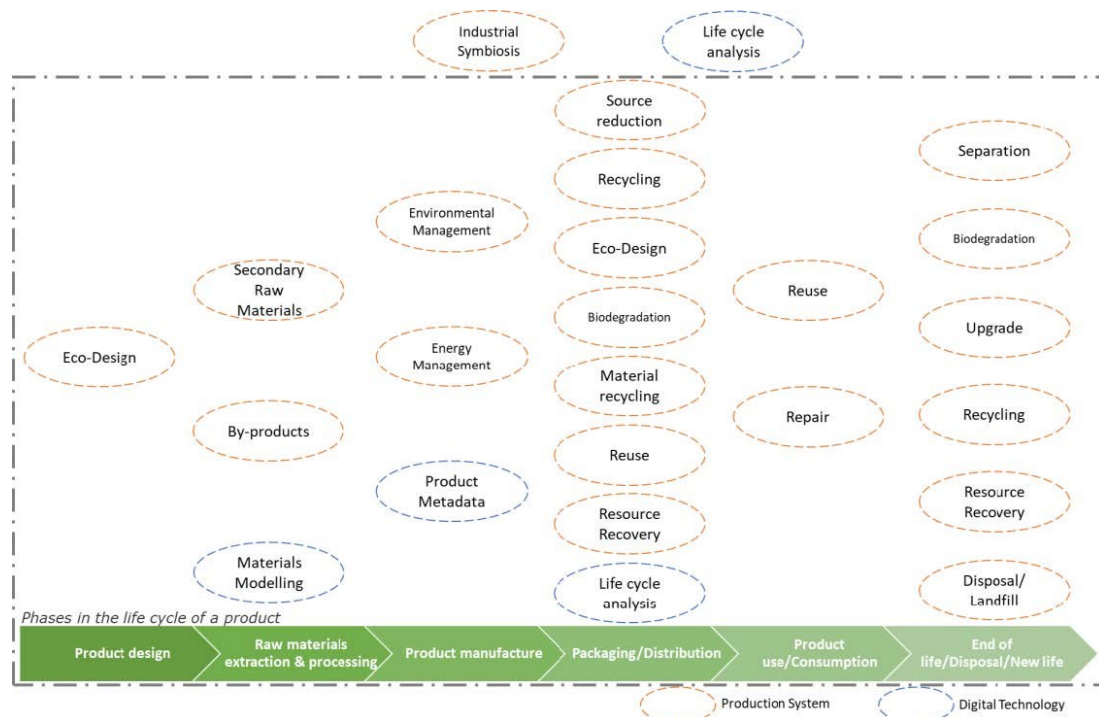


Figura 13 - Mappatura degli standard UE legati alla simbiosi industriale

Il CEN (Comitato Europeo per la Normazione) WORKSHOP AGREEMENT 17354, "Industrial Symbiosis: Core Elements and Implementation Approaches", è stato proposto da 4 progetti europei (SHAREBOX, EPOS, SPIRE e SYMBI) che hanno lavorato per promuovere la diffusione della simbiosi industriale in Europa e nel mondo.

Il contributo alle attività di normazione è stato specificato come una delle modalità per la diffusione dei progetti. La definizione di SI contenuta nel CWA 17354 è la seguente:

“Industrial symbiosis is the use by one company or sector of underutilised resources broadly defined (including waste, by products, residues, energy, water, logistics, capacity, expertise, equipment and materials) from another, with the result of keeping resources in productive use for longer. It presents a systems approach to a more sustainable and integrated industrial economy that identifies business opportunities to improve resource utilisation and productivity.”

Source: CEN (European Committee for Standardization) Workshop Agreement: CWA 17354: December 2018 . Industrial Symbiosis: Core Elements and Implementation Approaches , p. 7, (CEN, 2018)

Un’ulteriore (e molto recente) proposta di standardizzazione della SI giunge nel luglio 2020 nell’ambito del citato progetto SCALER (SCALing European Resources with industrial symbiosis). È contenuta nel Deliverable 4.5 “Report on industrial symbiosis standardisation needs” WP4 - Action Plan for Industrial Symbiosis in Europe - T4.4 - Policy Advice & Standardisation (Natalia Alandete Lara, 2020).

Quest’ultimo lavoro, a differenza del primo, rappresenta più uno stato dell’arte degli standard che circondano il tema della SI piuttosto che una vera e propria nuova proposta che abbia rappresentato un progresso rispetto agli sforzi fatti fino ad allora.

Considerazioni conclusive sulla SI

Per quanto senza un’indicazione che ne indichi l’importanza, come nel caso dei concetti alla base della EC, nel caso della SI, i concetti fondamentali sono i seguenti (Tabella 4):

Istanze tangibili	Istanze intangibili
Geographical proximity	Cooperative and collaborative management of the resource flows
Traditionally separated industries and economically independent industries	Actors have different influences on each other’s actions and outcomes
Physically exchanging the materials, water, energy, by-products, infrastructure and services	Creating and sharing knowledge and expertise
Reduce and Reuse waste and by-products (i.e., working at the high end of the waste hierarchy)	Exchange of non-material resources (knowledge, expertise and technology)
Keep resources in productive use, and maintain or increase their value	Willingness of industries to collaborate based on past events and commitments
Provides resource and energy-saving alternatives to traditional management or recycling options	
	Adopting ecoinnovative and cultural belongings
	Create a complete industrial ecosystem
	Systems approach

Tabella 4 - Concetti core specifici della SI classificati in “istanze tangibili” e “istanze intangibili”

(Mallawaarachchi et al., 2020); (Commission et al., 2018)

Al termine di questo excursus sull’evoluzione del dibattito sulla SI sia in ambito accademico che professionale/consulenziale, emerge un quadro definitorio complessivo che, come evincibile dalla letteratura citata, sembra possedere le seguenti caratteristiche:

- Non esiste una definizione unica e condivisa di cosa sia la SI;
- La sintesi proposta da (Mallawaarachchi et al., 2020) riporta un quadro articolato di concetti complessi;
- Gli aspetti evidenziati nella sintesi utilizzano parole che spesso hanno un significato molto ampio tanto da risultare vaghe e imprecise nel loro significato riferito alla SI;
- Non si rilevano modalità esplicite per l'implementazione della SI.

Anche (van Berkel, 2006), come riportato in (Commission et al., 2018), ribadisce lo stesso concetto: *“There is some confusion generated by the diversity of terminology surrounding IS due to the lack of a standardised and internationally accepted methodology for industrial symbiosis”*.

A valle della disamina effettuata, sembra di poter dire che oltre ad emergere una mancanza di chiarezza e precisione di cosa sia la SI, sembra mancare anche una concreta e precisa prospettiva operativa sul come porre in essere le istanze elencate, in particolar modo quelle “intangibili”.

Inoltre, non appare evidente un chiaro posizionamento della SI rispetto p. es. al modello delle 9R riportato nel paragrafo sulla EC. Sembra che le definizioni di SI siano vicine più all'idea del riuso che non a quella del riciclo ma non se ne può trarre una conclusione definitiva.

Sembra inoltre che la SI non sia ancora giunta ad uno stadio di maturità di pieno sviluppo tanto da poter essere considerata “industrializzata” o “industrializzabile” e pertanto necessita di interventi di tipo “sartoriale” come quelli che possono essere garantiti dall'intervento dei facilitatori. Il dibattito sulla esportabilità e sulla replicabilità delle esperienze di SI è ancora molto aperto.

I tentativi di standardizzazione sono in una fase del tutto embrionale pur esistendo una serie di standard che possono supportare la SI nella sua implementazione.

Anche per la normativa succede qualcosa di analogo nel senso che ad oggi non esistono normative prescrittive specifiche che riguardino la SI ma una serie di normative (perlopiù afferenti all'ambito del waste management) che hanno normato alcuni ambiti specifici e quindi, non essendo calibrate sull'ambito della SI, hanno finito a volte con l'agevolare e altre con l'ostacolare il processo di implementazione della SI.

1.3. Waste Management (WM)

Il concetto di “rifiuto” è complesso e per certi versi contraddittorio. La Natura non produce rifiuti e presso alcuni popoli non esiste(va) neanche una parola per indicare il concetto di rifiuto. Infatti, se qualcosa continua a possedere un valore, perché non dovrebbe continuare ad essere utilizzata? Gettare via qualcosa di valore ha dell'assurdo! L'uomo ha da sempre avuto la capacità di saper riconoscere, in ciò che veniva scartato, il valore da mantenere in vita. Il cambiamento di paradigma, dalla prassi del continuo mantenimento del valore delle cose, al concetto di rifiuto nell'accezione di significato a noi più nota, appartiene al tempo dell'industrializzazione, della produzione di massa e del modello “take-make-use-dispose”. L'industrializzazione ha introdotto nuovi materiali e prodotti chimici, ha modificato radicalmente la tipologia e la composizione dei rifiuti e questo ha causato il fatto che la gestione dei rifiuti sia diventata una materia particolarmente complessa (Christensen, 2010).

È un fatto che le economie si sviluppano e, per farlo, producono rifiuti e la corsa all'incremento di crescita economica mette in secondo piano la preoccupazione per i temi ambientali. Tale fenomeno viene modellato dalla cosiddetta curva di Kuznets ambientale (Stern et al., 1996).

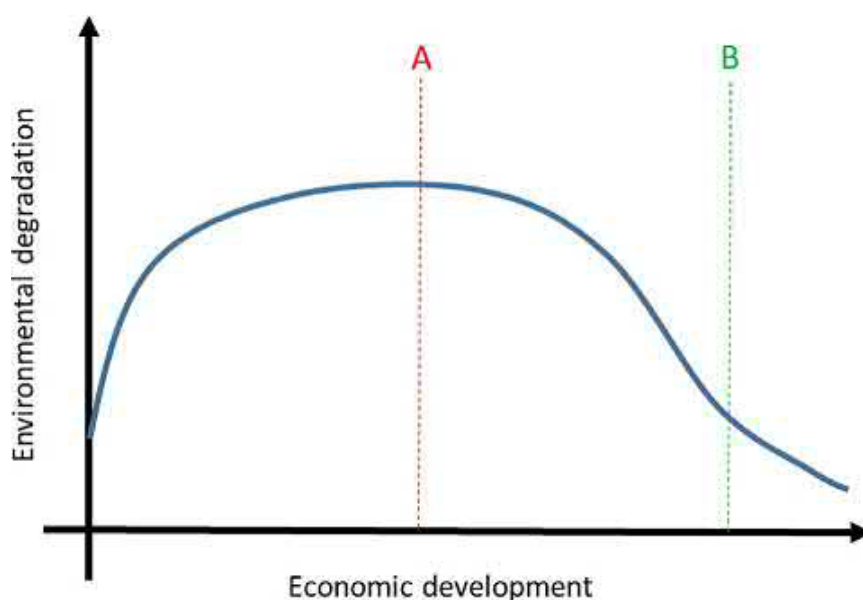


Figura 14 - La curva di Kuznet ambientale (Letcher & Vallero, 2019)

La curva di Kuznet ambientale (Figura 14) descrive la relazione generale tra lo sviluppo economico di un paese e il degrado ambientale. La linea A indica il punto in cui il danno ambientale diminuisce all'aumentare dello sviluppo economico. A un certo punto (Linea B), il paese vedrà sia meno danni ambientali che meno rifiuti generati, cioè i rifiuti sono riconosciuti come inefficienza economica e si riducono, cioè siamo nella fase sostenibile dello sviluppo economico (Letcher & Vallero, 2019).

Il tema della gestione dei rifiuti è molto complesso e, al livello internazionale, se ne occupano numerosi organismi. I principali sono la Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo (UNCED); la Conferenza delle Nazioni Unite sul commercio e lo sviluppo (UNCTAD) e, al suo interno, l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE); il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP); la Convenzione di Basilea, nell'ambito del programma UNEnvironment, si occupa specificamente del controllo dei movimenti transfrontalieri di rifiuti pericolosi e di altro tipo e del loro smaltimento, dai paesi OCSE ai paesi non OCSE. Inoltre, si occupa dell'identificazione di quei prodotti e materiali che potrebbero causare danni al paese o ai paesi riceventi (Letcher & Vallero, 2019).

Definizione di rifiuto

Una semplice definizione di rifiuto è: “Il rifiuto è un residuo, un prodotto ridondante o un materiale di valore nullo o marginale per il proprietario e che il proprietario desidera eliminare” (Christensen, 2010).

Un fatto importante è che la qualifica di “rifiuto” non è una proprietà intrinseca di un bene ma dipende dal contesto nel quale il bene viene a trovarsi e da come il proprietario valuta il bene stesso. Ciò suggerisce che ciò che è un rifiuto per una persona potrebbe non esserlo per un'altra, pertanto potrebbe esserci la convenienza a uno scambio se il costo per il trasferimento del bene non superasse il valore del bene stesso come percepito dal potenziale acquirente (Christensen, 2010).

In Tabella 5 riporto alcune definizioni di rifiuto, provenienti da fonti autorevoli di normazione.

FONTE normativa	Definizione	Riferimento
Direttiva quadro sui rifiuti (Waste)	Art. 3.	Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste.

Framework Directive, WFD) Unione europea	“Rifiuto: qualsiasi sostanza o oggetto di cui il detentore si disfi o intenda o abbia l'obbligo di disfarsi” “Waste: means any substance or object which the holder discards or intends or is required to discard”	Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098 (European Parliament and Council, 2008)
Basel Convention	Article 5: “ ‘Wastes’ are substances or objects which are disposed of or are intended to be disposed of or are required to be disposed of by the provisions of national law”	Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal (187 signatory countries as of February 2019). Available at: http://www.basel.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1275/Default.aspx
OECD	Wastes are substances or objects, other than radioactive materials covered by other international agreements, which: i) are disposed of or are being recovered; or ii) are intended to be disposed of or recovered; or iii) are required, by the provisions of national law, to be disposed of or recovered	Decision of the Council on the Control of Transboundary Movements of Wastes Destined for Recovery Operations, OECD/LEGAL/0266. Available at: https://legalinstruments.oecd.org/public/doc/221/221.en.pdf
Norma ISO 14021:2016	3.1.19 Waste: anything for which the generator or holder has no further use and which is discarded or is released to the environment	“Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)” (ISO, 2006)

Tabella 5 - Definizioni di rifiuto

Nel caso della definizione di rifiuto contenuta nella WFD, la definizione e l’approccio generale nel quadro giuridico dell’UE non fa distinzione se i rifiuti sono utilizzati per altri scopi (cioè, riuso, riciclo, recupero di energia, ecc.) o smaltiti. I rifiuti “pre-consumer” o “post-consumer” non sono definiti.

Nel seguito si presenteranno solo alcuni aspetti di particolare rilievo della gestione dei rifiuti e di interesse per i fini del presente lavoro. D’altro canto però tutta la Direttiva quadro sui rifiuti è un documento di grande rilievo che ha contribuito in modo decisivo a determinare gli esiti della gestione dei rifiuti in Europa e nei singoli stati membri.

In questo lavoro si adotta la definizione di rifiuto contenuta nella WFD che, in generale, è considerata un riferimento di fondamentale importanza per il tema della gestione dei rifiuti (C. Zhang et al., 2022).

Gerarchia dei rifiuti

All'art. 4 della WFD è descritta la “Gerarchia dei rifiuti” che è riportata nella Figura 15:

Waste hierarchy



Figura 15 - La "Gerarchia dei rifiuti" descritta all'art. 4 della WFD

Sin dai primi anni '80 nel mondo occidentale il concetto di "gerarchia dei rifiuti" (Waste Hierarchy, WH) è stato l'approccio principale alla gestione dei rifiuti. È utilizzata per stabilire un ordine di priorità nella gestione dei rifiuti che dovrebbe essere:

1. Prevenzione dei rifiuti e tecnologia più pulita
2. Riutilizzo
3. Riciclo dei materiali
4. Recupero in termini di utilizzo dei materiali e recupero energetico
5. Smaltimento compreso lo smaltimento in discarica e l'incenerimento di massa senza recupero.

La prevenzione dei rifiuti è l'opzione preferita e l'invio dei rifiuti in discarica dovrebbe essere l'ultima scelta.

La direttiva quadro sui rifiuti 2008/98/CE (WFD) è considerata una pietra miliare della moderna gestione dei rifiuti nell'UE. Un importante contributo della WFD è l'introduzione della gerarchia dei rifiuti (C. Zhang et al., 2022).

Sebbene utile per comprendere come supportare la circolarità, la gerarchia dei rifiuti non è esente da aspetti critici con particolare riferimento alla sua capacità di minimizzare gli impatti ambientali e l'uso delle risorse naturali.

La minimizzazione dei rifiuti e l'utilizzo di tecnologie più pulite sono questioni difficili da gestire. La prima perché riguarda un livello decisionale molto elevato e la seconda perché coinvolge investimenti di rilievo. In secondo luogo, gli obiettivi di decarbonizzazione potrebbero far preferire il recupero energetico al recupero dei materiali (Christensen, 2010). Nell'ambito della gestione dei rifiuti si stanno conducendo sforzi per chiarire questi aspetti e ottimizzarli per scopi specifici (C. Zhang et al., 2022).

Sottoprodotti

All'articolo 5 della WFD si descrivono i cd. "sottoprodotti" (by-products)

"Una sostanza od oggetto derivante da un processo di produzione il cui scopo primario non è la produzione di tale articolo può non essere considerato rifiuto ai sensi dell'articolo 3, punto 1, bensì sottoprodotto soltanto se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- a) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà ulteriormente utilizzata/o;

- b) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzata/o direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- c) la sostanza o l'oggetto è prodotta/o come parte integrante di un processo di produzione e
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana"

I sottoprodotti possono provenire da molti settori produttivi e avere impatti ambientali molto diversi.

Cessazione della qualifica di rifiuto (End-of-waste)

All'articolo 6 della WFD sono specificati i criteri (di "End-of-waste") per i quali una sostanza può cessare di avere la qualifica di rifiuto e può diventare un prodotto o una materia prima secondaria. In particolare:

"Taluni rifiuti specifici cessano di essere tali ai sensi dell'articolo 3, punto 1, quando siano sottoposti a un'operazione di recupero, incluso il riciclaggio, e soddisfino criteri specifici da elaborare conformemente alle seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzata/o per scopi specifici;
- b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;
- c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
- d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana

I criteri includono, se necessario, valori limite per le sostanze inquinanti e tengono conto di tutti i possibili effetti negativi sull'ambiente della sostanza o dell'oggetto".

Una metodologia per sviluppare i criteri End-of-waste è stata pubblicata dal Centro comune di ricerca (JRC). La Commissione sta preparando una serie di criteri per la cessazione della qualifica di rifiuto per alcuni flussi prioritari di rifiuti. Tali criteri sono stati fissati per:

- i rottami di ferro, acciaio e alluminio (cfr. regolamento (UE) n. 333/2011 del Consiglio)
- rottami di vetro (cfr. regolamento (UE) n. 1179/2012 della Commissione)
- rottami di rame (cfr. regolamento (UE) n. 715/2013 della Commissione)

Elenco dei rifiuti

All'articolo 7 della WFD si specifica cosa si debba intendere per "Elenco dei rifiuti". In particolare:

"Le misure intese a modificare elementi non essenziali della presente direttiva, relative all'aggiornamento dell'elenco dei rifiuti istituito dalla decisione 2000/532/CE, sono adottate secondo la procedura di regolamentazione con controllo di cui all'articolo 39, paragrafo 2. L'elenco dei rifiuti include i rifiuti pericolosi e tiene conto dell'origine e della composizione dei rifiuti e, ove necessario, dei valori limite di concentrazione delle sostanze pericolose. Esso è vincolante per quanto concerne la determinazione dei rifiuti da considerare pericolosi. L'inclusione di una sostanza o di un oggetto nell'elenco non significa che esso sia un rifiuto in tutti i casi. Una sostanza o un oggetto è considerato un rifiuto solo se rientra nella definizione di cui all'articolo 3, punto 1".

È importante la distinzione tra rifiuti non pericolosi e rifiuti pericolosi sia per la gestione tecnica così come per gli aspetti normativi. I rifiuti pericolosi sono ovviamente più pericolosi per l'ambiente e per chi li manipola e devono essere gestiti tecnicamente con controlli più severi rispetto ai rifiuti non pericolosi.

La pericolosità di un rifiuto è valutata rispetto al fatto di essere p.es. esplosivo, irritante, ossidante, infiammabile, in qualche modo dannoso, tossico (anche per la riproduzione o che rilasci gas tossici a contatto con aria, acqua o un acido o ecotossico per un qualunque distretto ambientale), cancerogenico, corrosivo, infettivo, mutageno o che in qualche modo interagisca in modi dannosi con l'essere umano, o con gli ecosistemi animale o vegetale.

La pericolosità dei rifiuti è normata in numerosi provvedimenti legislativi (ad es.: D.Lgs. 152/2006-T.U. ambiente, Dec. n. 2000/532/CE, Dec. n. 2014/955/UE, vedi par. 2.3) e anche in una altrettanto numerosa quantità di standard industriali (p.es. norme della famiglia ISO 140xx, ISO 22447:2019, ISO 7766:2003, ISO 24389, ecc).

Aspetti legati ai processi di trattamento dei rifiuti

Oltre a quanto appena descritto, un tema di rilievo nel Waste Management è quello relativo ai processi industriali destinati al trattamento dei rifiuti. In particolare, il WM si occupa di processi di:

- raccolta dei rifiuti;
- separazione alla fonte e raccolta dei rifiuti separati alla fonte,
- trasferimento e trasporto dei rifiuti;
- riciclo (come per esempio il riciclo di carta e cartone, vetro, plastica, metalli e rifiuti da costruzione e demolizione, ecc.);
- trattamento meccanico;
- trattamento termico (e relativi processi ausiliari di servizio);
- pirolisi e gasificazione;
- di trattamento biologico (di compostaggio, di digestione anaerobica, ecc.);
- di trattamento bio-meccanico;
- emergenti di biotecnologie come i biofuels e i biochemicals;
- per l'utilizzo del compost in agri-orticoltura;
- per l'utilizzo in agricoltura di rifiuti organici trattati biologicamente;
- per la corretta immissione in discarica dei rifiuti residui;

(Christensen, 2010).

Un riferimento per i processi del WM è costituito da: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste treatment Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) (Neuwahl et al., 2019).

Prospettive di ricerca in ambito Waste Management

(Khan et al., 2023), ritengono che la transizione verso un'economia circolare dipenda fortemente da una corretta gestione dei rifiuti. Utilizzando un'analisi bibliometrica del contenuto e il text mining, analizzano 1149 articoli scientifici censiti nel database Scopus degli ultimi due decenni in ambito WM per comprendere le prospettive future di ricerca con particolare riferimento ai temi legati alla EC.

Dalla loro analisi emerge che le future linee di ricerca sono orientate ad un WM vista nel contesto della EC. Ulteriori aspetti riguardano la minimizzazione della produzione di rifiuti con un approccio basato sulla valutazione del ciclo di vita e con particolare riferimento ai rifiuti solidi urbani (RSU) e la nuova frontiera del WM a base biologica.

Con un approccio basato sulla material flow analysis (MFA), (Maalouf & Agamuthu, n.d.) stimano l'ammontare dei rifiuti solidi urbani (RSU) in cinque decenni, da parte dei paesi in via di sviluppo. Tale quantità

è aumentata da 0,64 miliardi di tonnellate nel 1970 a 2 miliardi nel 2019. Questo dimostra l'importanza di trovare nuovi approcci, politiche e strategie al WM nei paesi in via di sviluppo se si vuole conseguire risultati nella direzione della EC.

Il tema non riguarda solo i paesi in via di sviluppo ma anche molti paesi occidentali. In Figura 16 è riportata una rappresentazione della situazione dei paesi europei per quanto riguarda il riciclo dei RSU e dei rifiuti da imballaggio (Fonte dati: Commissione Europea)¹⁰

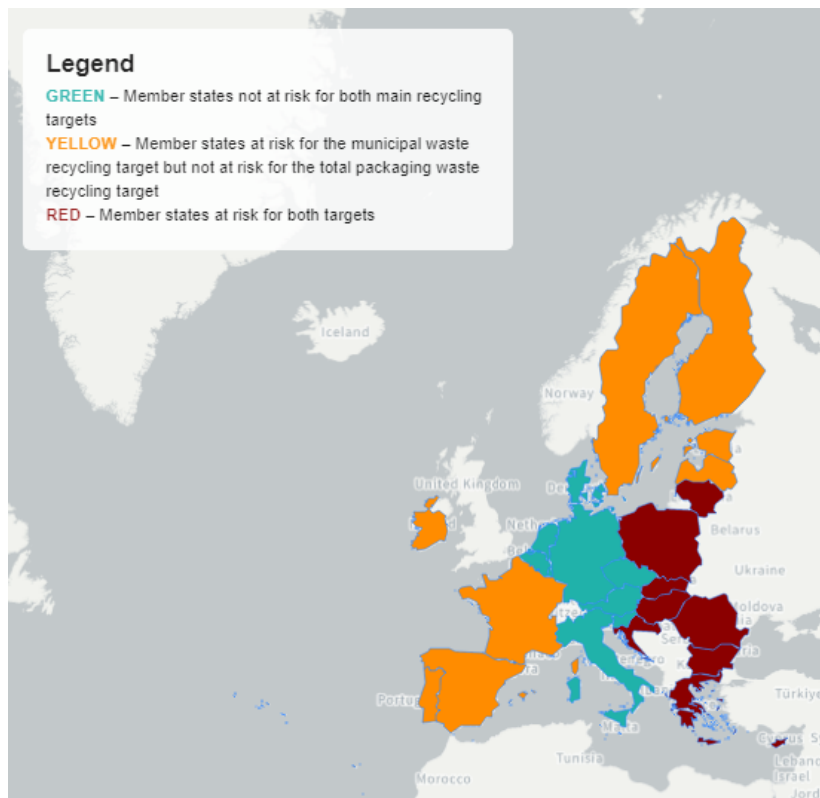


Figura 16 - Mappa degli stati membri rispetto ai target di riciclo

(C. Zhang et al., 2022) utilizzano il framework della gerarchia dei rifiuti per analizzare in Europa lo stato della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (CDW, uno dei principali settori responsabili del consumo di risorse e della produzione di rifiuti) per comprendere come incrementarne il livello di circolarità. Vengono studiati metodi di trattamento innovativi basati su tecnologie avanzate per poter riciclare quel tipo di rifiuto e proposti approcci operativi.

(Egüez, 2021) valuta se e in che misura il reddito e il rigore nell'applicazione della regolamentazione ambientale influenzino la conformità con la gerarchia dei rifiuti (WH) dell'UE nel trattamento dei rifiuti da parte degli Stati membri dell'UE. I dati del periodo 2010–2016 vengono utilizzati per creare un indice di conformità basato sulle alternative di trattamento dei rifiuti come previste dalla WH. Vengono esaminati i rifiuti (esclusi i principali rifiuti minerali) di 26 paesi dell'Unione europea. Si è riscontrato che il rigore e l'applicazione della regolamentazione ambientale hanno un effetto positivo sulla conformità con l'EWH, che è aumentata nel tempo.

Ancora nella prospettiva di comprendere meglio in che modo incrementare la circolarità in ambito WM, hanno operato (Salmenperä et al., 2021), che sostengono che l'attuale modo di gestire i rifiuti deve essere rivisto se si vuole aumentare la circolarità dei materiali. Lo studio di 25 progetti pilota che promuovono la prevenzione e il riciclo dei rifiuti in vari settori industriali mostra che è importante la condivisione dei vantaggi

¹⁰ https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/implementation-waste-framework-directive_en

economici della EC, dei dati relativi ai rifiuti e la cooperazione tra i principali attori. L'armonizzazione della normativa e della sua interpretazione gioca un ruolo altrettanto importante.

Infine (Mallick et al., 2023) cercano di comprendere meglio in che modo incrementare la Reverse Logistics (RL) dei prodotti a fine vita. A valle di una revisione della letteratura di 116 contributi tra il 2011 e il 2021, volto a identificare parametri relativi alla progettazione e implementazione dei sistemi di RL, costruiscono un framework concettuale che possa aiutare le aziende a valutare differenti approcci, strategie, sfide e opportunità per meglio realizzare i sistemi di RL e riuscire meglio nella transizione verso una EC.

Concettualizzazione e temi chiave del WM per il presente studio

La sintetica esposizione appena conclusa ci consente di poter redigere un elenco dei concetti alla base del WM. Con riferimento al framework delle 9R (Kirchherr et al., 2017), riportata nella Figura 17, il WM è senz'altro allocato sulle strategie dalla R3 alla R9 (Christensen, 2010; Letcher & Vallero, 2019).

Smarter product use and manufacture	R0	Refuse	Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different product
	R1	Rethink	Make product use more intensive (e.g. by sharing product)
	R2	Reduce	Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources and materials
Extend lifespan of product and its parts	R3	Reuse	Reuse by another consumer of discarded product which is still in good condition and fulfils its original function
	R4	Repair	Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function
	R5	Refurbish	Restore an old product and bring it up to date
	R6	Remanufacture	Use parts of discarded product in a new product with the same function
	R7	Repurpose	Use discarded product or its parts in a new product with a different function
Useful application of materials	R8	Recycle	Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) quality
	R9	Recover	Incineration of material with energy recovery

Figura 17 - The 9R Framework (Kirchherr et al., 2017)

Inoltre, il concetto della gerarchia dei rifiuti, esistente sin dai primi anni '80 in quest'ambito e adesso inquadrato all'interno della WFD, è senz'altro presente nell'assetto teorico e nella prassi del WM (C. Zhang et al., 2022) (Egüez, 2021).

La prospettiva di sistema è presente nel WM sia al livello di WM-engineering che di prospettiva di ricerca per meglio orientare la transizione verso la EC (Khan et al., 2023) (Salmenperä et al., 2021).

A differenza della SI, la gestione dei rifiuti è realizzata in modo molto più industrializzato, aderente alla normativa esistente e agli standard industriali di settore e basata su attori che operano sul mercato.

1.4. Analisi comparata della letteratura su EC, SI e WM

Griglia di confronto tra EC, SI e WM

In questo paragrafo propongo un confronto tra SI e WM sulla base delle considerazioni svolte nei tre paragrafi precedenti e rispetto al termine di confronto che è rappresentato dai “Core principles” della EC.

Limito il confronto ai principi fondamentali perché rappresentano gli aspetti che vengono tradotti in concrete azioni orientate all’attuazione. Inoltre, per quanto riguarda gli “Aims” possiamo affermare che sono in larga parte sovrapponibili, mentre gli “Enablers” non sono oggetto di confronto in questo lavoro.

La tabella di confronto risultante è riportata in Tabella 6:

	Circular Economy	Industrial Symbiosis	Waste Management
Core principles	4R framework		X (eccetto Reduce)
	3R		X (eccetto Reduce)
	Reduce	X	
	Reuse	X	X
	Recycle		X
	Recover		X
	Waste hierarchy	X	X
	Supply/value chains	X	X
	System perspective	X	X
	Micro systems perspective	?	?
	Meso-systems perspective	?	?
	Macro- systems perspective	X	X
	System change / paradigm shift	X	X
	Restorative/regenerative	X	
	Renewable resources	X	
Technical/biological cycles		X	

“Principi core” specifici (Mallawaarachchi et al., 2020) (R. Lombardi, 2017):

	Circular Economy	Industrial Symbiosis	Waste Management
		Geographical proximity	

		Traditionally separated industries and economically independent industries	
		Physically exchanging the materials, water, energy, by-products, infrastructure and services	
		Cooperative and collaborative management of the resource flows	
		Actors have different influences on each other's actions and outcomes	
		Creating and sharing knowledge and expertise	
		Exchange of non-material resources (knowledge, expertise and technology)	
		Willingness of industries to collaborate based on past events and commitments	
		Adopting ecoinnovative and cultural belongings	
		Create a complete industrial ecosystem	

Tabella 6 - Griglia di confronto tra le definizioni di EC, SI e WM presenti in letteratura

Dal confronto risulta che, rispetto ai principi core della EC così come evidenziati in (Kirchherr et al., 2023), sembra esistere una sostanziale sovrapposizione tra la EC e il WM fatta eccezione per i seguenti aspetti che marcano una differenza tra SI e WM:

- Per quanto riguarda la SI
 - o Sembra essere allocata sul Riduzione/Riuso e non sul Riciclo (sebbene di ciò non si possa essere sicuri a causa di una certa ambiguità nella sua definizione)
 - o Possiede una serie di principi core specifici che sostanzialmente attengono all'insieme delle barriere non-tecniche e che non si ritrovano nell'ambito del WM
 - o L'approccio pone enfasi nel creare un dialogo tra le imprese potenzialmente partecipanti ad un network all'interno del quale realizzare le sinergie simbiotiche
- Per quanto riguarda il WM
 - o È allocato molto più sul Riciclo ma meno sulla Riduzione perché la riduzione appartiene alle fasi iniziali del ciclo di vita laddove l'esigenza di gestione del rifiuto, ove si manifesti, lo fa di rado.
 - o L'approccio pone enfasi sullo studiare il modo migliore per gestire il rifiuto. Questo significa mettere a punto metodologia, tecniche e strumenti per la migliore gestione del rifiuto in vari contesti.

Citation networks

A completamento dell'analisi comparativa delle tre letterature esaminate, per quanto si tratti di una valutazione qualitativa, sono presentati di seguito i *citation networks* relativi ai lavori scientifici di maggiore rilievo che ho utilizzato nei tre paragrafi precedenti.

La presentazione riguarda le reti di citazione riguardanti innanzitutto distintamente le tre discipline e poi rispettivamente le tre coppie EC-SI, EC-WM e SI-WM.

Questa rappresentazione ovviamente non ha la pretesa di voler significare alcunchè di definitivo rispetto alla interazione delle tre letterature. È però anche vero che i lavori coinvolti sono o review particolarmente estese e recenti o riferimenti di particolare importanza nella letteratura relativa a quel tema. Questo potrebbe far pensare che la rete di citazioni che è stata ricavata possa essere in qualche modo rappresentativa della reale interazione tra le letterature considerate.

Tutti i grafici sono stati realizzati con lo strumento open **"Citation Graph"** (<https://citationgraph.org/>) realizzato presso la NYU (credits: nicolas.loizeau@nyu.edu).

Nota relativa alla lettura di tutti i grafici presenti in Tabella 7:

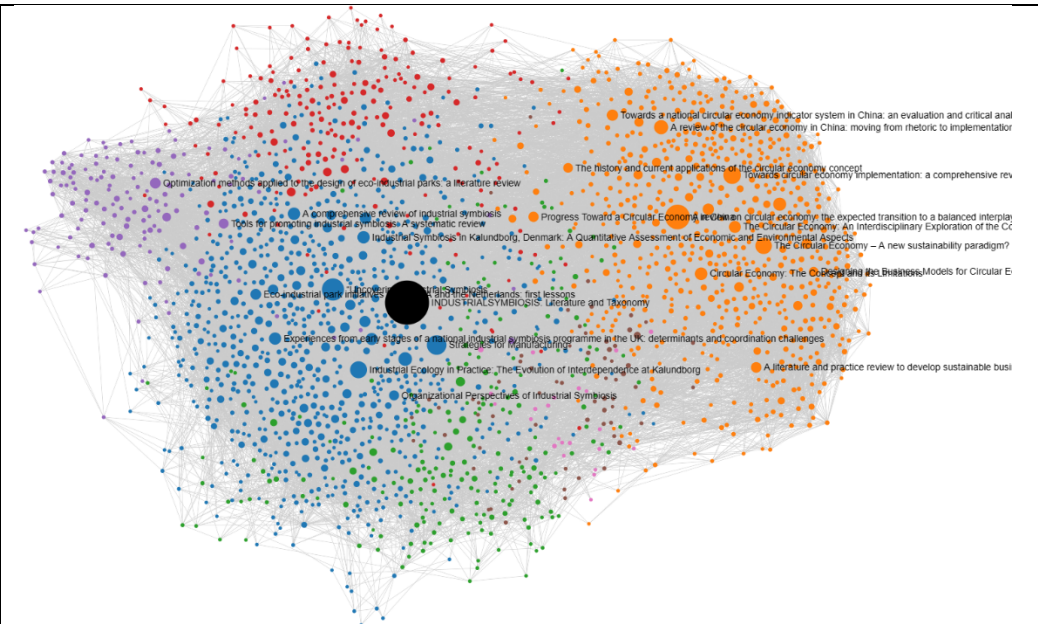
- il cerchio nero rappresenta il lavoro rispetto al quale è stata elaborata la rete delle citazioni
- la grandezza del cerchio è rappresentativa del numero di citazioni di quel lavoro
- i colori sono rappresentativi di cluster citazionali

Fonti	Citation network
<p>EC</p> <p>(Kirchherr et al., 2023)</p> <p>https://citationgraph.org/graph/310e58155b2b3b9d</p>	

SI

(M. Chertow,
2000)

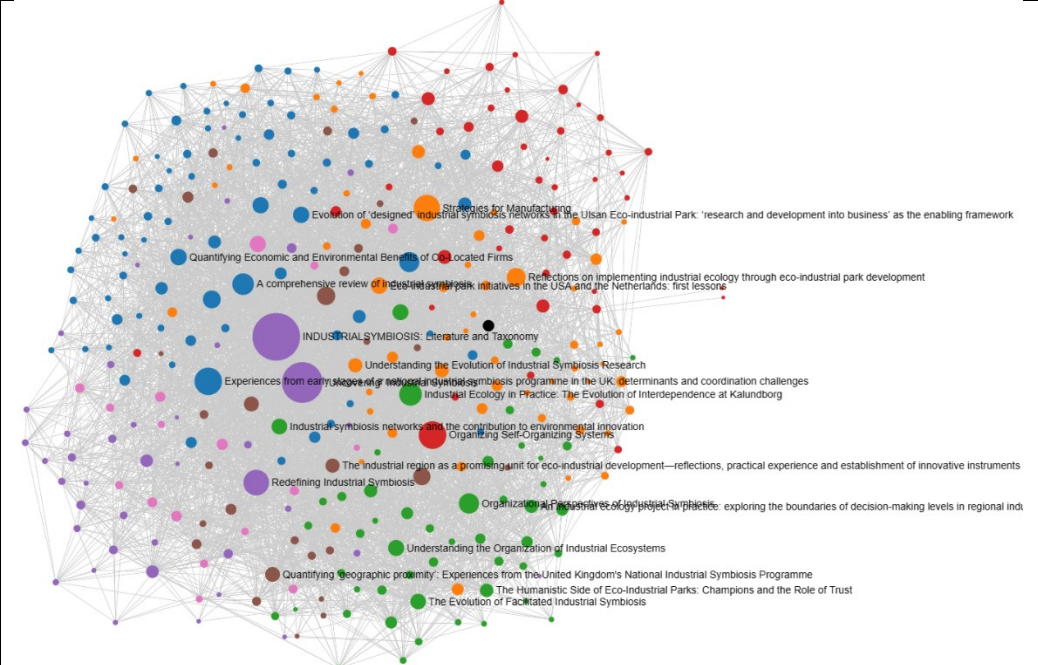
<https://citationgraph.org/graph/c85ed913e454a9f1>



SI

(Mallawaarachchi
et al., 2020)

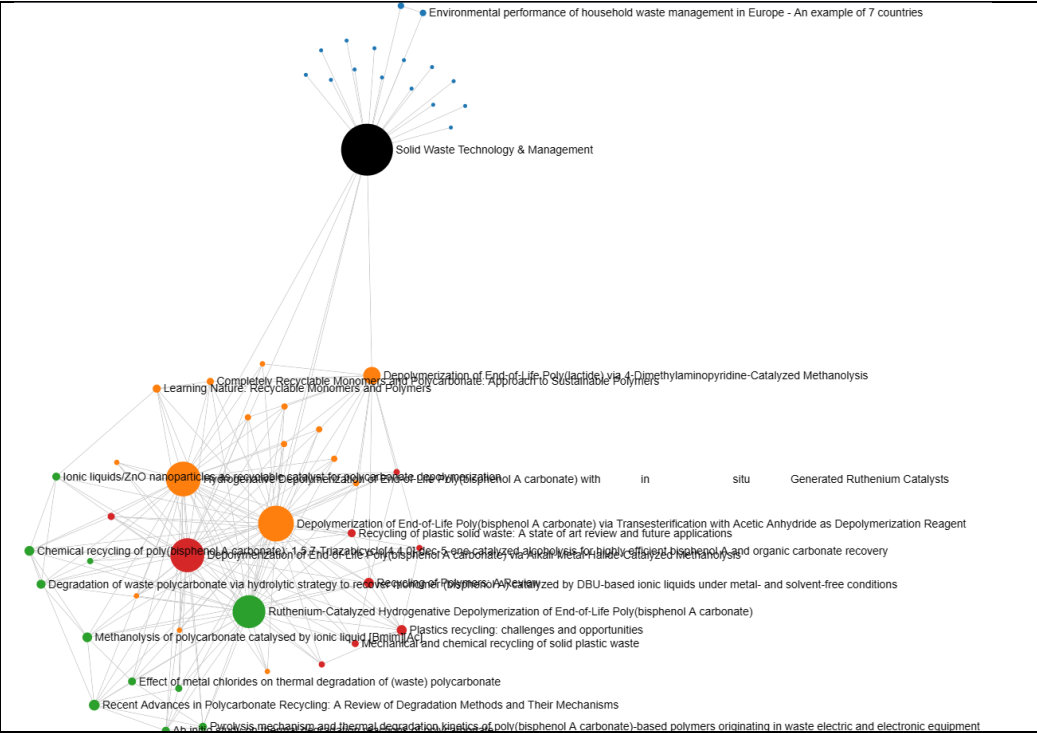
<https://citationgraph.org/graph/457564313131334e>



WM

(Christensen,
2010)

<https://citationgraph.org/graph/69df76c7c653997c>



WM

(Khan et al.,
2023)

<https://citationgraph.org/graph/4f71a581668c010e>

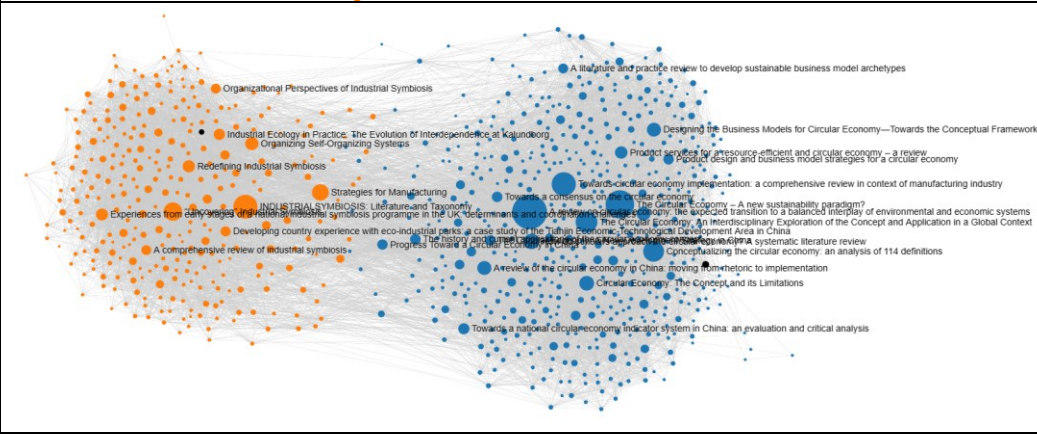


EC-SI

(Kirchherr et al.,
2023)

(Mallawaarachchi
et al., 2020)

<https://citationgraph.org/graph/db4656f1fa2cfece>

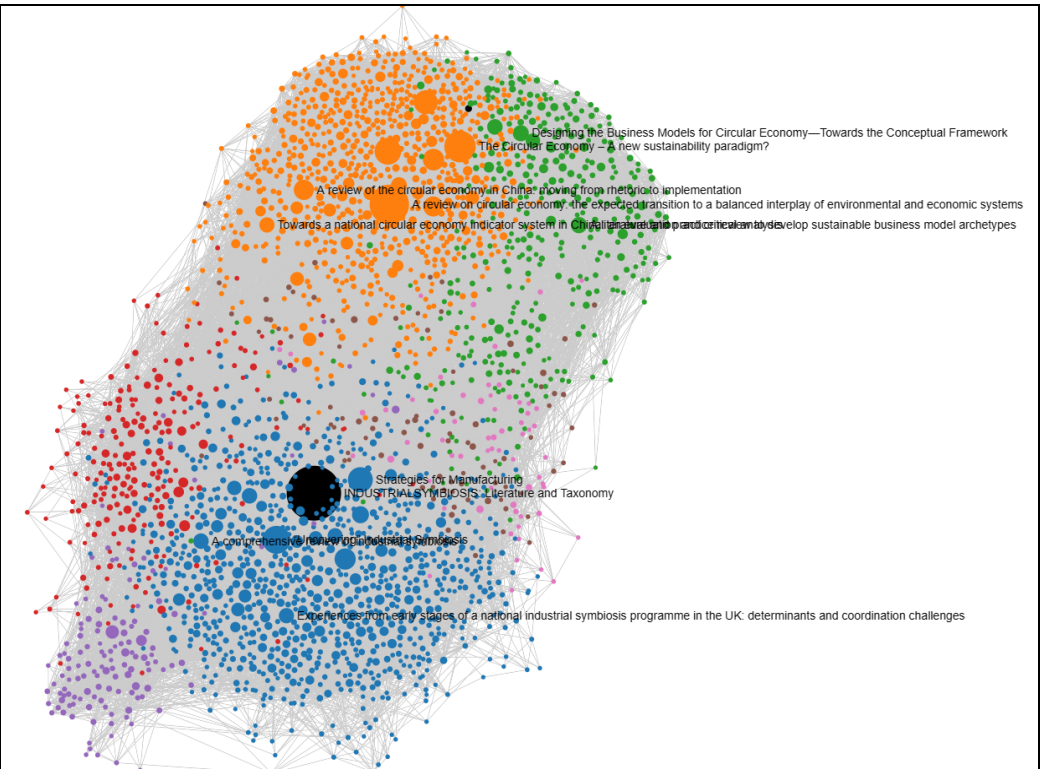


EC-SI

(Kirchherr et al., 2023)

(M. Chertow, 2000)

<https://citationgraph.org/graph/eeb89cae63cb47c4>

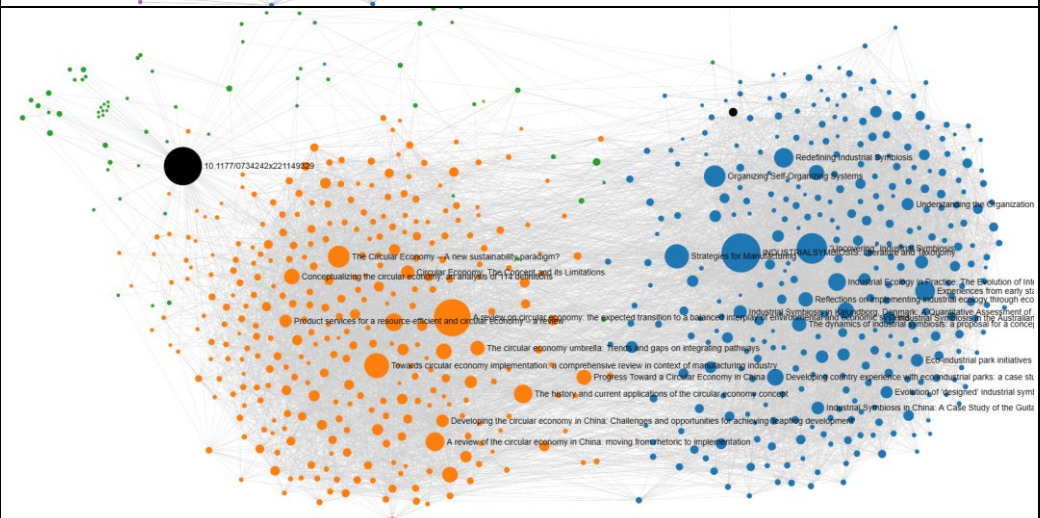


SI-WM

(Khan et al., 2023)

(Mallawaarachchi et al., 2020)

<https://citationgraph.org/graph/90d70d3bebbb1d01>



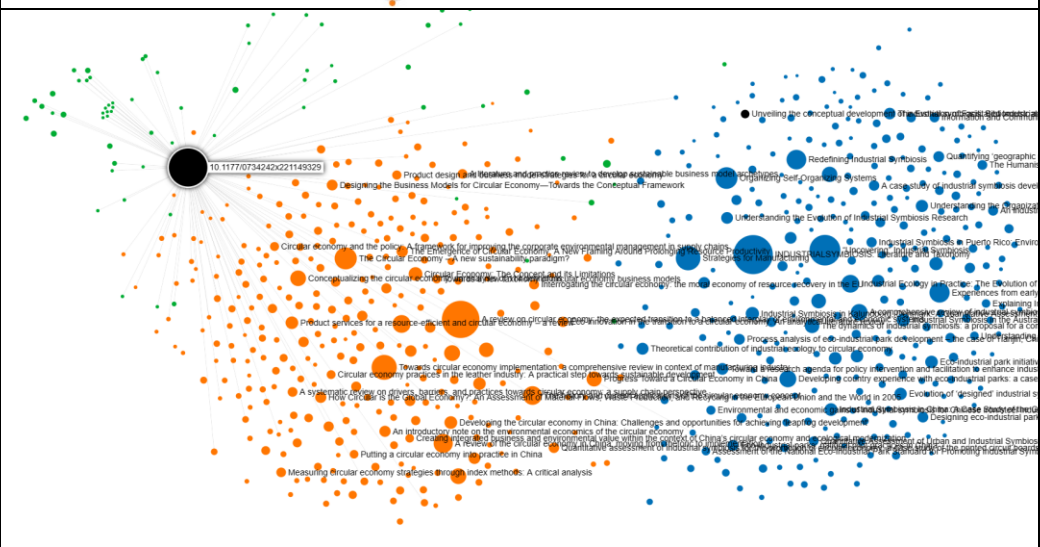
SI-WM

(Khan et al., 2023)

(Mallawaarachchi et al., 2020)

Highlight/Spot-on

<https://citationgraph.org/graph/90d70d3bebbb1d01>



<p>EC-WM</p> <p>(Kirchherr et al., 2023)</p> <p>(Christensen, 2010)</p> <p>https://citationgraph.org/graph/0662f35f948d2f2e</p>	
<p>EC-WM</p> <p>(Kirchherr et al., 2023)</p> <p>(Khan et al., 2023)</p> <p>https://citationgraph.org/graph/1ef830c4e2a41795</p>	

Tabella 7 - Citation networks di EC-SI e WM

Da un punto di vista qualitativo si osserva che:

- Relazione EC – SI: rete di citazioni molto evidente
- Relazione EC – WM: rete di citazioni molto evidente
- Relazione SI – WM: rete di citazioni pressoché inesistente

Ciò che risalta è l'apparente discrasia tra un sostanziale allineamento di SI e WM rispetto ai principi core della EC e il fatto che invece le due letterature sembra che sostanzialmente non abbiano legami citazionali.

Si può pertanto dedurre che SI e WM siano due strade parallele per conseguire gli obiettivi della EC ma che lo facciano seguendo due approcci sostanzialmente differenti, benché a partire da un insieme di principi comuni, che sono quelli della EC.

1.5. Criticità emerse dalla letteratura

La EC, ad oggi, sembra essere il paradigma verso cui indirizzare gli sforzi per far fronte ad una situazione insostenibile e, per certi versi, emergenziale. Nell'ambito della EC, si può ritenere che la SI e il WM siano due modalità di conseguimento degli obiettivi della EC.

Uno degli obiettivi fondamentali della EC è la chiusura dei cicli che, a sua volta, dovrebbe avere come obiettivi, al tempo stesso, quelli di:

- Massimizzare:
 - o la durata del ciclo di vita di un materiale/prodotto
 - o l'estrazione di valore economico da un materiale/prodotto
- Minimizzare:
 - o l'estrazione di materie prime vergini
 - o il consumo di energia (e il suo impatto ambientale >> transizione a fonti rinnovabili)
 - o la produzione di rifiuti e, in particolare:
 - la quantità di rifiuti in recupero energetico
 - la quantità di rifiuti in discarica
 - o l'impatto ambientale complessivo rispetto al ciclo di vita
 - o l'impatto sociale complessivo rispetto al ciclo di vita

Espongo di seguito alcune considerazioni relative al quadro che è stato finora delineato con l'obiettivo di fare emergere una situazione problematica che riguarda le modalità con cui viene realizzata la circolarità mediante differenti approcci e segnatamente la SI e il WM.

Maturità degli approcci SI e WM alla EC

Per quanto riguarda la SI:

- è un approccio relativamente giovane, non del tutto maturo teoricamente nel senso che vi sono numerose definizioni, ma non sembra esserne una su cui converga la comunità scientifica
- pone enfasi sul far dialogare le imprese con l'obiettivo di realizzare le sinergie
- la letteratura relativa pare non porre adeguata attenzione alla identificazione di linee guida per l'attuazione
- non è del tutto chiaro il posizionamento della SI rispetto alla definizione della EC e della WH

- non sembra vi sia adeguata attenzione della SI verso gli aspetti normativi (in materia di rifiuti), circostanza che si ritiene possa determinare ostacoli rispetto a ipotetici modus-operandi tipici della SI
- non ha realizzato i risultati che ci si attendeva (R. Lombardi, 2017), (Domenech et al., 2019). In particolare, questo risulta evidente da tre punti di vista differenti: entità dei risultati economico/ambientali conseguiti; diffusione a livello geografico delle pratiche di SI rispetto anche al numero di aziende coinvolte; lentezza e complessità con cui i risultati vengono conseguiti
- si individua in una reclamata mancanza di chiarezza della normativa la causa di risultati limitati della SI (R. Lombardi, 2017)

Per quanto riguarda il WM:

- è un approccio consolidato rispetto al quale si rileva un'ampia convergenza dalla comunità scientifica su definizioni, metodi, tecniche e strumenti
- opera in un contesto fortemente normato ove la soluzione tecnica non viene ritenuta essere dissociata o dissociabile (o stand-alone) rispetto a una norma tecnica (p.es. standard) e/o legislativa
- pone enfasi sul rifiuto e su modalità e tecnologie per il suo trattamento
- viene realizzato generalmente da imprese terze (rispetto ai soggetti che producono e utilizzano il rifiuto), che operano nel mercato all'interno di un contesto normato
- costituisce un aspetto importante l'attenzione alle tecnologie anche avanzate (p.es. biotecnologie) e ai affinché i processi di trattamento siano svolti nelle modalità più efficienti ed efficaci
- non sembra il tema della realizzazione della circolarità costituisca un punto di attenzione centrale o quantomeno esplicito

Ambiguità definitoria della SI

La stessa letteratura sulla SI rileva un certo grado di confusione nella definizione della SI (Commission et al., 2018). Se la SI si colloca sulla parte alta della WH e cioè perlopiù sulle strategie RIDUZIONE/RIUSO, allora la SI esclude dal suo campo di azione (nel senso che sceglie, decide di non gestire) tutti quei rifiuti che richiedono un trattamento intermedio. D'altro canto, se, viceversa, la SI pretende di gestire qualunque tipo di rifiuto industriale, allora non esclude nessuna delle R e, in particolare, il RICICLO.

Questo "dilemma" ha delle conseguenze sul posizionamento della definizione di SI rispetto alla definizione di EC e anche rispetto alla definizione di WH.

Inoltre, si può porre il problema di quale sia il migliore approccio per la realizzazione della circolarità e cioè se in modo diretto, come perlopiù accadrebbe nella SI, o in modo indiretto (p.es. con un operatore specializzato presente sul mercato), come perlopiù accadrebbe nell'approccio di tipo WM.

Infine, la SI, nel definirsi, non dovrebbe sacrificare la generalità dell'approccio alla risoluzione del problema della realizzazione della circolarità. Ad esempio, dovrebbe inglobare le istanze di diffusione (scale-up) e di rapidità di emersione che, ad oggi, non sembrano contemplate. Da questo punto di vista, sovrapporre (e quindi confondere) la SI con la SI facilitata sembra essere molto riduttivo.

Barriere normative

La SI e il WM di fatto condividono la stessa materia prima su cui lavorare e cioè i rifiuti. Questo significa che ciò che, con riferimento ai rifiuti, vale in un contesto (WM), non può evidentemente smettere di essere valido nell'altro (SI).

Il tema della definizione non ambigua della SI si intreccia con il tema delle cd. “barriere normative” con delle conseguenze non trascurabili:

- la SI non si preoccupa in modo particolare della normativa di contorno e, per poter realizzare le sinergie, sembra chiedere un regime di quasi libero scambio di rifiuti tra le imprese: questo non è in linea con la normativa esistente e ciò potrebbe essere una delle cause del suo stentare nell’ottenere risultati di rilievo
- la SI non si premura di dare/dedurre chiare indicazioni per i policy makers affinché re-indirizzino la normativa esistente o definiscano una nuova normativa che incontri le sue esigenze senza costituirne un ostacolo

Pertanto, il tema delle cd. “barriere normative” potrebbe essere interpretato più come un sintomo di un problema irrisolto più profondo piuttosto che come un vero problema a sé stante da risolvere.

La ricerca, nel definire la SI, si è perlopiù concentrata sulle modalità, viste come aspetto prioritario, con cui rendere possibile un dialogo tra le imprese finalizzato alla realizzazione delle sinergie. Da questo punto di vista, probabilmente ha sottovalutato l’opportunità di derivare a vantaggio dei policy makers indicazioni che potessero supportarli nell’opportuno adeguamento del quadro normativo sulla base di specifiche esigenze.

Ad esempio, in (R. Lombardi, 2017) si muove una critica alla convenzione di Basilea sul controllo dei movimenti extra-frontalieri di rifiuti. A giudicare dal numero di reati ambientali commessi e che hanno ad oggetto i rifiuti, il controllo sui loro movimenti è il minimo che i governi (occidentali) possano fare per gestire un tema così pericoloso. Il chiaro orientamento politico dell’UE è quello di applicare un controllo rigido sul traffico dei rifiuti e questo è un dato da cui non si può prescindere.

Il tema dei rifiuti è delicato perché, in ogni epoca ed ad ogni latitudine, su questo tema si sono sempre innestati interessi a vario titolo legati alla perpetrazione di varie forme di crimini ambientali.

È per questo motivo che la normativa ha consentito la gestione dei rifiuti solo in condizioni di chiarezza su materiali e processi (vedi p.es. il caso delle filiere del riciclo dei materiali da imballaggio).

Una qualunque forma di scambio deregolamentato dei rifiuti appare irrealistica perché presenterebbe una rischiosità molto elevata che vengano commessi crimini ambientali (Almer & Goeschl, 2015; Andreatta et al., 2022; Andreatta & Favarin, 2020; Baird et al., 2014; Buczma, 2020; Dell’Anno et al., 2020; Di Pillo et al., 2023; Morganti et al., 2020; Sahramäki & Kankaanranta, 2021).

Questo è tanto più vero se si parla di scambi di rifiuti industriali, perlopiù pericolosi e che pertanto necessitano di un trattamento noto, tracciato e controllabile, come in effetti avviene.

Per questo motivo è indispensabile definire con precisione i materiali, i processi e le filiere (anche per la SI) perché si possa chiedere che una opportuna regolamentazione intervenga a creare il contesto all’interno del quale le imprese possano agire con logiche di mercato.

Nel caso della SI, al momento, questo sembra non verificarsi e, pertanto, è importante che, nella definizione di SI si possa tenere in conto anche questa esigenza.

Il vantaggio di partire dal rifiuto

D’altro canto, effettuare questa valutazione a partire dal tentativo di dialogo tra le imprese per la costruzione di un network significa che, a seconda dell’area geografica che si considera, il numero delle possibili combinazioni da vagliare comporta un calcolo probabilistico che dipende dal numero delle imprese che ricadono nell’area considerata.

Il Rapporto 3.5 “Quantified potential of industrial symbiosis in Europe” (J.B. QUINTANA R. CHAMKHI, 2020), del progetto SCALER, dice testualmente (p. 5):

*“The industrial sectors covered in this study are: agro-industry, fertilisers, cement, lime, ceramics, combustion plants, glass, inorganic and organic chemicals, livestock farming, non-ferrous metals, paper, pharmaceuticals, refineries, slaughterhouses, steel, textiles, waste incineration, wastewater treatment plants. The EU counts **6 656** industrial facilities. The total number of combinations among these sites is around **43 million**. The average and median distances between all couples of facilities are 1 000 and 1 050 km.”*

Secondo l’approccio adottato dal WM invece, è il rifiuto il punto di partenza (la variabile indipendente) da cui conseguono le decisioni/azioni necessarie per poter risolvere il problema della trasformazione in materia prima seconda riutilizzabile in altro contesto. Pertanto, tale problema viene affrontato e risolto una sola volta in modo perlopiù indipendente dallo specifico contesto dal quale si preleva il rifiuto e verso il quale di destina la MPS. Questo significa gestire un problema caratterizzato da una numerosità avente ordini di grandezza intorno alle migliaia e non milioni come sopra riportato per il caso dell’approccio SI.

Solo a titolo esemplificativo, la Decisione 2000/532/CE (Direttiva sulla European List of Waste (LoW))¹¹, contiene un elenco di meno di mille elementi.

A ciò si aggiunga che, mentre seguendo l’approccio WM si è chiamati a risolvere un problema eminentemente di tipo tecnico-economico, con l’approccio di tipo SI (molto più numeroso), oltre al problema tecnico-economico, non ci si può esimere dal risolvere anche un problema di tipo “non-tecnico” che è specifico e caratterizza la particolare relazione in esame.

Bozza di un nuovo Regolamento sull’uso degli imballaggi

Probabilmente per andare incontro ad un settore pur presente ma finora non particolarmente attenzionato dalle normative in tema di gestione dei rifiuti, solo in tempi recenti (30/11/2022) è stata messa a punto una bozza di nuovo Regolamento della Commissione Europea sugli imballaggi e i rifiuti d’imballaggio che rivolge la sua attenzione al tema del riuso e, in particolare, alle filiere del recupero con deposito cauzionale.

La scelta da parte della Commissione dello strumento del Regolamento comunitario, in luogo della direttiva, tende a riaffermare l’obbligatorietà delle disposizioni in esso contenute e la loro diretta applicabilità da parte degli Stati membri (Fonte: logisticians.it).

La proposta della Commissione è molto ampia e riguarda la riduzione dei rifiuti d’imballaggio, la minimizzazione degli imballaggi, la riciclabilità degli imballaggi, il loro riciclo in quantità e qualità elevate, l’aumento dell’impiego dei materiali provenienti dal riciclo, l’aumento del riutilizzo degli imballaggi riutilizzabili (Fonte: FSS, Il Riciclo in Italia, presentazione di E. Ronchi).

Agli osservatori in Italia che operano nel settore del riciclo, questa bozza di nuovo Regolamento, appare sbilanciata verso un modello basato sul deposito cauzionale per la gestione degli imballaggi (Fonte: FSS, Il Riciclo in Italia, presentazione di E. Ronchi).

Tali filiere hanno però il limite di lavorare perlopiù su (Kulshreshtha & Sarangi, 2001):

- rifiuti urbani e non industriali o pericolosi
- nell’ambito dei rifiuti urbani, i rifiuti da imballaggio (sulle cui filiere lavorano già molto bene le filiere del riciclo)

La Tabella 8 riassume la situazione del sistema del Deposit Return Systems (DRSs) in EU.

¹¹ Decisione 2000/532/CE (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%3A32000D0532>)

Country (Population)	Containers Covered	Refund Value	Unredeemed Deposits	Redemption System	Clearing System	Return Rate – Total	Return Rate - Plastic	Return Rate - Metal	Return Rate - Glass
Croatia (4.1m)	Plastic, metal, glass	Fixed: 0.50 HRK	System operator	Return-to-retail	Centralised	91% (2020)	88%	81%	93%
Denmark (5.8m)	Plastic, metal, glass	Variable: Metal, glass <1L: 1 DKK Plastic <1L: 1.5 DKK Metal, glass, plastic 1-20L: 3 DKK	System operator	Return-to-retail	Centralised	93% (2021)	95%	92%	93%
Estonia (1.3m)	Plastic, metal, glass	Fixed: €0.10	System operator	Return-to-retail	Centralised	89% (2020)	91%	94%	87%
Finland (5.5m)	Plastic, metal, glass	Variable: Plastic ≤ 350ml: €0.10 Plastic 351ml-999ml: €0.20 Plastic ≥ 1L: €0.40 Metal: €0.15 Glass: €0.10	System operator	Return-to-retail	Centralised	96% (2021)	90%	97%	98%
Germany (83.2m)	Plastic, metal, glass	Fixed: €0.25	Producers and retailers (in the case of private labels)	Return-to-retail	Decentralised	98% (2021) (estimate)	N/A	N/A	N/A
Iceland (0.4m)	Plastic, metal, glass	Fixed: 18 ISK	System operator	Return-to-depot	Centralised	91% (2021)	92%	93%	83%
Latvia (1.9m)	Plastic, metal, glass	Fixed: €0.10	System operator	Return-to-retail	Centralised		N/A		
Lithuania (2.8m)	Plastic, metal, glass	Fixed: €0.10	System operator	Return-to-retail	Centralised	90% (2021)	90%	92%	84%
Malta (0.5m)	Plastic, metal, glass	Fixed: €0.10	System operator	Return-to-retail	Centralised		N/A		
The Netherlands (17.5)	Plastic (expansion to cans 31/12/2022)	Fixed: €0.25	Producers/Distributors/Importers	Return-to-retail	Centralised	70% (2021)	Plastic <1L: 57% Plastic 1-3L: 90%	Not applicable	Not applicable
Norway (5.4m)	Plastic, metal	Variable: Plastic, metal <0.5L: 2 NOK Plastic, metal ≥0.5L: 3 NOK	System operator	Return-to-retail	Centralised	92% (2021)	93%	92%	Not applicable
Slovakia (5.5m)	Plastic, metal	Fixed: €0.15	System operator	Return-to-retail	Centralised		N/A		

Country (Population)	Containers Covered	Refund Value	Unredeemed Deposits	Redemption System	Clearing System	Return Rate – Total	Return Rate - Plastic	Return Rate - Metal	Return Rate - Glass
Sweden (10.4m)	Plastic, metal	Variable: Metal: 1 SEK (VAT incl.) Plastic ≤ 1L: 1 SEK (VAT incl.) Plastic >1L: 2 SEK (VAT incl.)	System operator	Return-to-retail	Centralised	88% (2021)	86%	89%	Not applicable

Tabella 8 Deposit Return Systems (DRSs) for Single-use Drinks Containers in Europe: Comparison of Key Features

Il tentativo è senz'altro importante perchè è fondamentale condurre azioni volte a coprire tutta la gerarchia dei rifiuti.

1.6. Contributi del presente lavoro

Per quanto ho finora evidenziato, ritengo sia di cruciale importanza la costruzione di un framework unico che, rispetto alla WH, collochi, con maggiore precisione rispetto a quanto fatto finora, i due approcci SI e WM all'interno della prospettiva comune della realizzazione della circolarità.

Inoltre, negli anni '80, ad opera di (Kraljic, 1983) è stata proposta una riflessione di carattere strategico sulla gestione degli approvvigionamenti, in particolare introducendo il concetto di politiche differenziate per gestire le relazioni con i fornitori. La proposta di Kraljic consisteva nel gestire gli acquisti come approvvigionamenti, ossia valutarli, invece che ponendo attenzione esclusiva o prevalente sul prezzo, in funzione di due variabili strategiche e cioè l'importanza dell'oggetto approvvigionato e la complessità del mercato di fornitura. Forse ancor più che nel caso lineare, anche nel caso del modello produttivo circolare, gli approvvigionamenti hanno una valenza strategica che può senz'altro determinare il successo o l'insuccesso di un progetto di implementazione di sinergie.

Ad esempio, con riferimento al tema della criticità della stabilità delle reti di simbiosi, il tema della ridondanza nelle supply chain (indagate p.es. in (Wu et al., 2017) e in (Fraccascia et al., 2020)) coglie un particolare aspetto del più generale tema degli approvvigionamenti circolari.

Questa motivazione lascerebbe pensare che la difficoltà nello scalare di dimensioni e di estensione geografica, potrebbe avere anche quella appena esposta almeno come una delle concause.

Per questi motivi, sembra interessante effettuare un approfondimento che indaghi le politiche differenziate di approvvigionamento e che cerchi di estendere al caso della produzione circolare l'approccio che Kraljic ha adottato nel caso della produzione lineare e quindi propongo di definire un modello "portfolio per gli approvvigionamenti circolari".

Questa proposta presenterebbe tratti di originalità, giacché una indagine volta ad accertare l'esistenza in letteratura di analoghe riflessioni non ha restituito esiti. In particolare, sono state effettuate le seguenti ricerche sul database Scopus (aggiornati alla data dell'ultima settimana di giugno 2023) con gli esiti indicati in Tabella 9 in termini di numero di lavori prodotti. L'esame puntuale dei lavori identificati ha appunto rivelato che alla data non sono stati sviluppati studi o proposte di modelli portfolio specifici per l'ambito dell'economia circolare.

Stringa di ricerca	Numero di risultati
"procurement portfolio"	34
"procurement portfolio" AND "circular economy"	0
"procurement portfolio" AND "industrial symbiosis"	0
"procurement portfolio" AND "waste management"	0
"suppl* portfolio"	285
"suppl* portfolio" AND "circular economy"	0
"suppl* portfolio" AND "industrial symbiosis"	0
"suppl* portfolio" AND "waste management"	0
"purchasing portfolio"	98
"purchasing portfolio" AND "circular economy"	0
"purchasing portfolio" AND "industrial symbiosis"	0
"purchasing portfolio" AND "waste management"	0

Tabella 9 - Esiti indagine su Scopus relativa al tema del procurement portfolio circolare

Pertanto, con questo lavoro, intendo dare i seguenti contributi:

1. *Framework generale di confronto tra SI e WM.* Il confronto di dettaglio dei due approcci in prospettiva EC, ha l'obiettivo di motivare, sulla base del successo ottenuto dall'approccio WM, la necessità di estendere anche alla SI il modello dell'attore specializzato operante sul mercato e capace di chiudere il ciclo a partire dalla gestione ottimale del rifiuto finalizzata all'ottenimento di materia prima seconda
2. *Proposta di definizione della SI* che sia funzionale al suo posizionamento all'interno di un framework unico insieme al WM e rispetto sia alla EC che alla WH
3. *Modello per l'integrazione di SI, WM e WH:* modello per l'integrazione degli approcci SI e WM sia rispetto alla EC che alla WH.
4. *Portfolio per gli approvvigionamenti circolari* che supporti le politiche differenziate di approvvigionamento ed estenda l'approccio che Kraljic ha adottato nel caso della produzione lineare al caso della produzione circolare (è questo uno dei temi di maggiore rilievo che emerge quando si osservano gli approcci SI e WM dalla prospettiva olistica della realizzazione della circolarità)

Unità di analisi

Con riferimento ai primi tre punti, il confronto tra differenti approcci è possibile a partire da un comune termine di paragone. L'unità di analisi adottata nel presente lavoro è la sinergia o il flusso simbiotico o la circolarità realizzata. Questa unità di analisi, già diffusamente utilizzata in altri lavori (R. Lombardi, 2017) (D. R. Lombardi & Laybourn, 2012) (Commission et al., 2018) (Domenech et al., 2019). In definitiva, fissata una sinergia da realizzare (cioè una chiusura di ciclo), la comparazione è svolta analizzando ciò che tale chiusura di ciclo comporti in funzione dei vari approcci.

1.7. Teorie e metodologia

Approcci teorici

Per la valutazione, mediante un opportuno framework di comparazione, di SI e WM, quali approcci differenti alla realizzazione della circolarità, ho ritenuto opportuno adottare la prospettiva offerta dalla teoria dei costi di transazione (Coase, 1937) (Williamson, 1987).

Questo perché, come risulterà più evidente dalle argomentazioni che saranno esposte nel seguito, per le particolarità che li contraddistinguono, ho ritenuto di poter analizzare i due differenti approcci (SI e WM) comparandoli rispetto all'onere, valutato mediante i costi di transazione, di realizzare le relazioni tra le organizzazioni in modo coordinato dal mercato ovvero dalla gerarchia.

L'aspetto della chiusura del ciclo è stato invece centrato su una nuova decisione strategica che riguarda gli approvvigionamenti e che emerge in particolare nei contesti circolari e cioè la scelta tra materia prima vergine o materia prima seconda. Per questo motivo, il riferimento teorico individuato è quello definito dal contributo di (Kraljic, 1983) con l'analisi strategica degli approvvigionamenti.

Metodologia di ricerca

Per condurre le analisi svolte sui dati (framework di comparazione tra SI e WM) e definire il modello portfolio proposto (per gli approvvigionamenti in contesti di circolarità), ho adottato il metodo dello studio di casi multipli che è particolarmente utilizzato in quegli ambiti di ricerca dove il supporto teorico esistente sembra non essere del tutto adeguato e, anche con evidenza empirica, si desidera far emergere dai casi un quadro di riferimento per una possibile generalizzazione (Eisenhardt, 1989) (Eisenhardt & Graebner, 2007).

Tale metodologia (adottata in molte aree di ricerca come le scienze sociali, la gestione della conoscenza e la gestione dell'innovazione) consiste nel selezionare un certo numero di casi differenti che, in questo studio, consistono in alcuni esempi di concrete esperienze di sinergie di circolarità realizzate.

Ogni caso, considerato come un esperimento, viene analizzato con l'obiettivo di identificare un possibile schema di riferimento, valido per tutti i casi, che rappresenti una forma di generalizzazione dei risultati (Davis & Eisenhardt, 2011).

Quanto più è elevato il numero dei casi che si adattano allo schema individuato, tanto più robusti sono i risultati della ricerca e maggiore è il rigore con cui viene validato lo schema ipotizzato.

2. Evidenze empiriche per l'integrazione di SI e WM

In questo capitolo si fornisce il quadro generale e di dettaglio dei dati ricercati, raccolti, analizzati ed elaborati relativi al tema della realizzazione della circolarità in generale e quindi con specifico riferimento agli approcci SI e WM.

I dati desunti in questione fanno capo a tre grandi famiglie di pubblicazioni:

- scientifiche
- di enti governativi
- report di centri di ricerca legati all'ambito dello sviluppo sostenibile

La difficoltà di maggiore rilievo che ho incontrato, è stata relativa all'analisi comparativa che si è cercato di effettuare tra i differenti set di dati. I dataset individuati hanno fonti differenti, sono stati costruiti per differenti motivazioni e per descrivere oggetti di studio tra loro diversi.

Ciononostante, l'entità dei fenomeni, descritta dalle fonti considerate, è tale da lasciare poco spazio per interpretazioni sugli esiti dell'indagine condotta.

2.1. Economia Circolare

La situazione della circolarità globale non è per nulla esaltante. In particolare, nel report 2023 relativo al circularity gap, calcolato complessivamente per tutte le economie del globo, si legge che l'economia globale è circolare solo per il 7.2% (Circle Economy, 2023)¹². In particolare si legge che:

"The global situation is getting worse year on year—driven by rising material extraction and use. Rising material extraction has shrunk global circularity: from 9.1% in 2018, to 8.6% 2020, and now 7.2% in 2023. This leaves a huge Circularity Gap: the globe almost exclusively relies on new (virgin) materials. This means that more than 90% of materials are either wasted, lost or remain unavailable for reuse for years as they are locked into long-lasting stock such as buildings and machinery. Materials that are cycled back into the global economy after the end of their useful life, otherwise known as secondary materials, account for 7.2% of all material inputs into the economy—this is the Circularity Metric." (Circle Economy, 2023)

Corrispondentemente anche il 5° Rapporto 2023 sull'Economia Circolare in Italia (CEN-FSS-ENEA, 2023) riporta dati analoghi. Inoltre, il consumo dell'economia globale è 100 miliardi di tonnellate di materiali all'anno. Quantità destinate, secondo le stime, a crescere fino a raddoppiare entro il 2050 rispetto ai livelli del 2015.

Nel contesto dell'uso più efficiente delle risorse, tipico dell'economia circolare, è importante valutare il disaccoppiamento tra crescita economica e crescita delle importazioni (che sono considerate una proxy degli approvvigionamenti di materie prime vergini). Analizzando l'andamento del PIL e delle importazioni nette in Italia negli ultimi sei anni (2017-2022, che includono sia periodo pandemico che la crisi Ucraina), emerge il risultato riportato nella Figura 18:

¹² [Methodology \(circularity-gap.world\)](https://www.circularity-gap.world/)

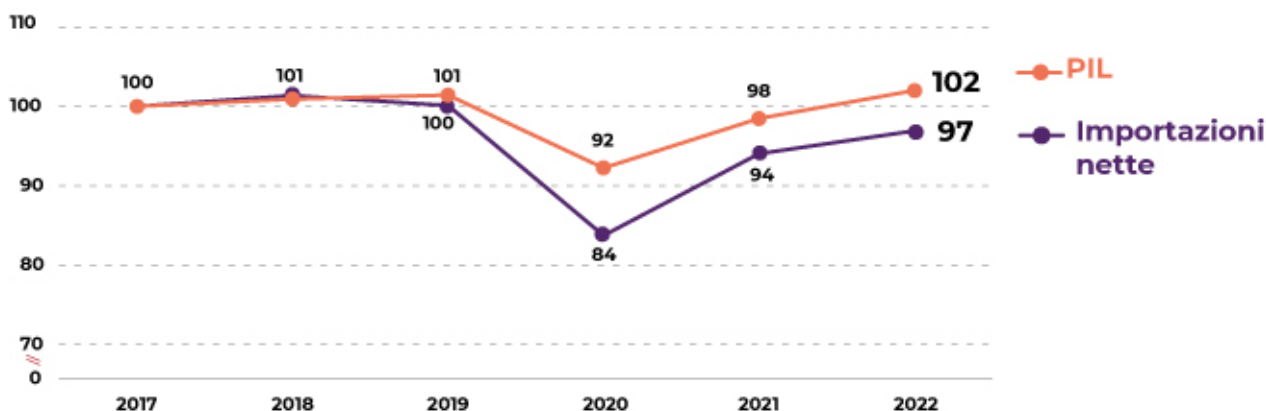


Figura 18 - Andamento delle importazioni nette di materiali rispetto al PIL, 2017-2022 (2017=100), (CEN-FSS-ENEA, 2023)

Negli anni osservati, non si registra un significativo disaccoppiamento tra i due parametri e tale risultato si spiega con il fatto che l'Italia, paese povero di materie prime, dipende perlopiù dall'estero per soddisfare il proprio fabbisogno.

La classifica della circolarità delle cinque principali economie dell'Unione europea (Francia, Germania, Italia, Polonia, Spagna) è basata su sette indicatori: tasso di riciclo dei rifiuti; tasso di utilizzo di materia proveniente dal riciclo; produttività delle risorse; rapporto fra la produzione dei rifiuti e il consumo di materiali; quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo totale lordo di energia; riparazione; consumo di suolo. In questa classifica troviamo l'Italia con 20 punti, la Spagna con 19, la Francia con 17, la Germania con 12 e la Polonia con 9 (CEN-FSS-ENEA, 2023).

Ad esempio, con riferimento al tasso di utilizzo di materia proveniente dal riciclo, l'Italia è a un 18,4%, dietro la Francia al 19,8 ma ben oltre la Germania che è al 12,7% (Figura 19).

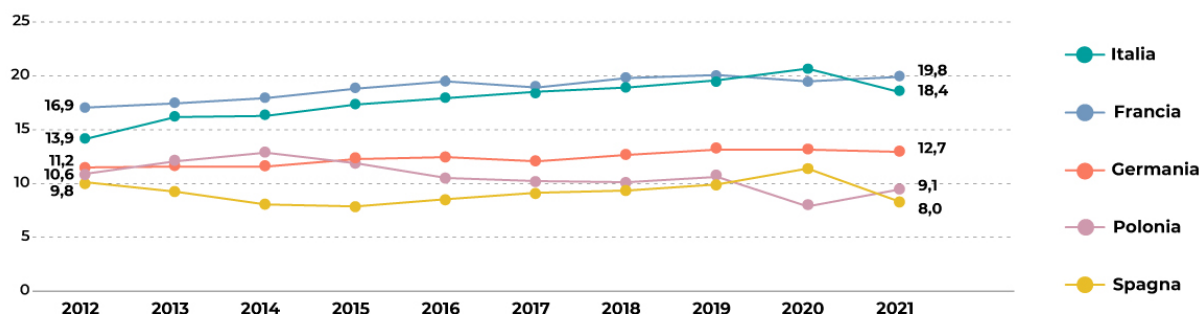


Figura 19 - Tasso di utilizzo di materia proveniente dal riciclo nei cinque principali paesi europei, 2012-2021 (%), Fonte: Eurostat, (CEN-FSS-ENEA, 2023)

Come esito di questo e di altri risultati rinvenibili dagli indicatori rilevati in (CEN-FSS-ENEA, 2023), la percentuale di riciclo dei rifiuti nel 2020 è stata del 53% in Europa e del 72% in Italia, ciò che fa registrare uno dei tassi di riciclo più elevati nell'UE. Rispetto alle altre principali quattro economie europee, l'Italia nel 2020 ha consolidato il suo primato, superando di circa 17 punti percentuali la Germania, seconda in classifica. Ma l'aspetto più interessante è il tasso di crescita in questi dieci anni: invariato per l'UE, è salito di +8% in Italia e +3% in Spagna. Prestazioni negative, invece, per Polonia e Francia (CEN-FSS-ENEA, 2023).

L'Italia è prima anche per quanto riguarda i valori pro capite: 969 kg/ab*anno avviati a riciclo. Seguono: Germania con 921 kg/ab*anno, Polonia con 726, Francia con 625 e in coda la Spagna con 472 (CEN-FSS-ENEA, 2023).

Infine, tra le (dieci) proposte del Circular Economy Network per l'attuazione della strategia nazionale per l'economia circolare troviamo (CEN-FSS-ENEA, 2023):

- **“Dare piena attuazione al Programma nazionale di gestione dei rifiuti** Implementare le azioni previste dal PNRR e aggiornare entro la fine del 2023, laddove necessario, i Piani regionali per raggiungere gli obiettivi di riciclo e di riduzione dello smaltimento in discarica previsti dalle direttive europee.
- **Accelerare e semplificare le normative sull'End of Waste** Garantire il riconoscimento della cessazione della qualifica di rifiuti per materiali il cui riutilizzo può contribuire a sviluppare l'economia circolare, in un contesto in cui la rapida evoluzione delle tecnologie e delle possibilità di riciclo richiede una altrettanto rapida e costante evoluzione normativa. Particolarmente urgente è il provvedimento sui rifiuti da costruzione e demolizione, nonché quelli su plastiche miste, tessili, pile e accumulatori, terre da spazzamento stradale.
- **Sviluppare la simbiosi industriale** Promuovere la simbiosi industriale attraverso reti di impresa con finalità circolari, rigenerazione di “brown areas” in distretti circolari, piattaforme digitali per favorire l'incontro di domanda e offerta di materie prime seconde, procedure semplificate per il riconoscimento della qualifica di sottoprodotto.
- **Promuovere la prevenzione e la riduzione dei rifiuti** Adottare entro il 2023 il nuovo Programma nazionale di prevenzione e riduzione dei rifiuti”

Come evidente, si punta alla semplificazione per quanto concerne gli aspetti normativi e, per quanto riguarda la SI, si punta a quanto possa agevolare l'individuazione e la realizzazione della circolarità (p.es. End of Waste). Altro aspetto di rilievo riguarda il fatto che le proposte formulate, al tempo stesso, pongono un focus da un lato su quanto riguarda direttamente la gestione dei rifiuti e dall'altro su ciò che attiene la individuazione e la realizzazione delle possibili circolarità.

2.2. Simbiosi Industriale

Stima del grado di sviluppo della SI in EU rispetto alla sua potenzialità

Per quanto a me noto, con riferimento alla SI non esistono dati ufficiali e certificati p.es. da fonte governativa. Da più parti (perlopiù accademiche o professionali) sono stati effettuati tentativi censire le esperienze finora realizzate e i risultati raggiunti sono da considerare di rilievo anche se non possono essere considerati risultati definitivi perché nessuna di queste indagini è stata condotta sotto l'impulso di una obbligatorietà normativa e quindi si può pensare che molte esperienze possano essere sfuggite alla rilevazione.

In questo paragrafo si fa il tentativo di stimare la SI in modo diretto a partire dalle fonti bibliografiche di maggiore rilievo e riconducibili alle tre grandi famiglie di pubblicazioni: scientifiche; report di enti governativi; report di centri di ricerca legati all'ambito dello sviluppo sostenibile.

Questo tentativo, come si vedrà nel seguito, conduce ad esiti incerti e sicuramente non definitivi.

Tra i più importanti stati membri dell'UE, sin dal 2009 ci sono state molte iniziative, la maggior parte delle quali finanziate, per promuovere pratiche di SI. Ciononostante, il diffondersi di tali iniziative è stato davvero molto contenuto (meno dello 0,1% del numero di imprese europee coinvolte) (R. Lombardi, 2017).

Inoltre, degli oltre 130 milioni di euro investiti in Europa dal 2006 in progetti di ricerca per sviluppare metodologie, strumenti ICT, software, piattaforme o reti che facilitassero l'adozione della SI da parte di diversi attori economici, molte piattaforme non sono sopravvissute alla fine del progetto che le finanziava e

altre sono ormai inattive. Di oltre 20 piattaforme finanziate per la SI, solo una è in “aggiornamento operativo e continuo” (Maqbool et al., 2019).

Nel seguito si riportano una serie di dati che sono stati ricercati e assestati con riferimento a risultati di realizzazione della SI perlopiù in Italia e in Europa. Il dato sulla SI realizzato nell’ambito dei progetti del National Industrial Symbiosis Program (NISP) e da questo derivati, riveste una connotazione più globale.

Secondo quanto dichiarato da International Synergies¹³, il loro progetto NISP® “è stato il primo programma di simbiosi industriale nazionale facilitato al mondo e ha ricevuto riconoscimenti per i suoi risultati da organismi tra cui le Nazioni Unite, la Commissione europea e il WWF”.

L’obiettivo di questo paragrafo è quello di valutare una stima del grado di sviluppo della SI (perlopiù) in EU rispetto alla sua potenzialità.

Con riferimento a ciascuna delle fonti considerate, gli elementi che mi hanno interessato sono due:

- Statistica sulla modalità di emersione
- Risultati in termini di alcune variabili chiave (Rifiuti evitati da discarica; CO2 non emessa; Materie prime vergini salvaguardate; Riduzione uso acqua) espresse in ton/anno

Report sulla SI a livello EU

Gli studi si concentrano sull’analisi di 70 casi in ambito europeo documentato in (Commission et al., 2018) e in (Domenech et al., 2019).

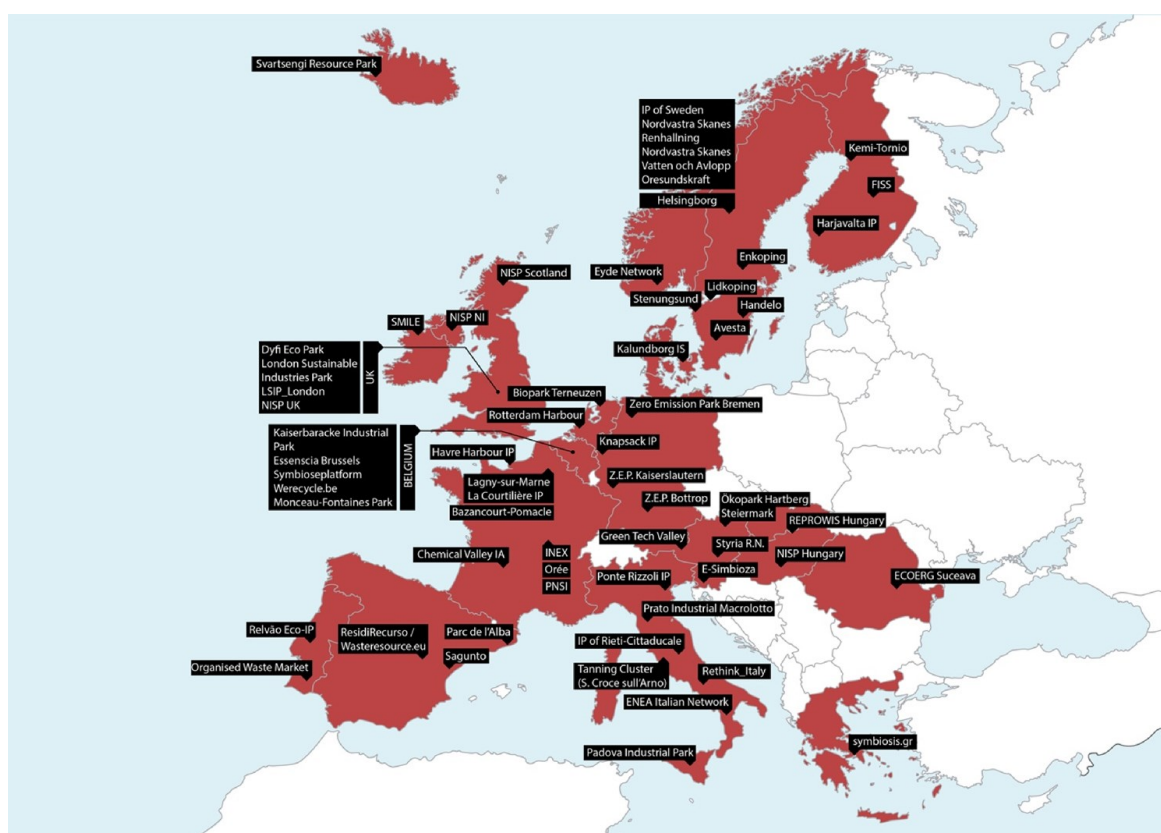


Figura 20 - Mappatura delle reti di SI in Europa (Domenech et al., 2019)

¹³ [NISP : National Industrial Symbiosis Program \(nispnetwork.com\)](http://nispnetwork.com)

La mappatura rivela la presenza di esempi di SI in diverse regioni in tutto il territorio europeo (Figura 20). In Europa settentrionale e centrale si concentra la maggior parte degli esempi di SI auto-organizzata. In ogni caso, l'analisi dimostra che esempi di SI gestita sono comuni nei distretti manifatturieri in tutta Europa, in molti casi legati a norme più rigorose circa la regolamentazione e gli incentivi per evitare di conferire i rifiuti in discarica. I tentativi di replicare modelli di SI attraverso reti facilitate si sono sviluppati in tutta Europa. Le iniziative pianificate, generalmente su scala locale, hanno assunto nella maggior parte dei casi la forma di parchi eco industriali e zone ecologicamente attrezzate.

Per quanto riguarda la diffusione delle reti a livello geografico, si osservano sviluppi differenti a seconda del tipo di rete. Le reti auto-organizzate tendono ad avere uno sviluppo di tipo locale. La maggior parte dei principali membri generalmente coinvolge società limitrofe, anche se, in alcuni casi, le transazioni possono avvenire oltre i confini della rete, in funzione della tipologia di rifiuto o sottoprodotto, delle spese di trasporto e del valore di mercato dei materiali secondari. Anche le reti pianificate sono prevalentemente locali, includono generalmente la condivisione di infrastrutture e servizi.

Le reti facilitate hanno dimostrato di funzionare su diverse scale con programmi nazionali, come l'ex National Industrial Symbiosis Program (NISP) nel Regno Unito e programmi in Ungheria, Finlandia, Francia e Danimarca che hanno cercato di promuovere le sinergie di SI a livello nazionale, in molti casi integrati da iniziative o programmi regionali.

Come illustrato precedentemente, la possibilità che si concretizzi una sinergia simbiotica è fortemente dipendente dal superamento di una serie di barriere "non-tecniche". Ebbene, l'analisi condotta ha dimostrato che la scala delle reti di SI dipende dalla reale comprensione delle opportunità derivanti dagli scambi simbiotici, dalla condivisione di informazioni relative alle tipologie di rifiuti/sottoprodotti e dal know-how che abilita l'implementazione delle sinergie.

Questi elementi richiedono un importante grado di collaborazione tra le imprese per favorire la comunicazione e la disponibilità a trovare soluzioni utili per tutti i partecipanti al network.

È probabile che questi elementi emergano spontaneamente tra società che sono localizzate in aree geografiche limitate ma è meno probabile che si verifichino quando le attività non sono co-localizzate, a meno che non vi sia una terza parte che funga da coordinatore e centralizzi le informazioni per identificare le opportunità.

Un altro fattore chiave che influenza la scala geografica delle reti è rappresentato dai costi relativi agli scambi, che comprendono non solo i costi di trasporto ma anche quelli di intermediazione e di negoziazione. Questo è molto rilevante nel caso di quei tipi di SI dove il valore marginale dei rifiuti tende ad essere basso o addirittura nullo, o negativo in alcuni casi come nel caso dei rifiuti da C&D.

Altro aspetto di rilievo riguarda la tipologia dei rifiuti scambiati. Questo determina la composizione della rete dal punto di vista dei settori industriali coinvolti. Le principali risorse rilevate nell'indagine, comuni alla maggior parte delle reti, includono le sostanze chimiche (ad es. prodotti chimici di base), la biomassa e i sottoprodotti dell'agricoltura, il legno e i pellet di legno, la plastica, i materiali da costruzione riutilizzabili, attrezzature, rifiuti inerti e poi acqua (diverse qualità, tra cui acqua industriale), calore residuo e vapore.

Evidentemente esiste una stretta relazione tra la dimensione geografica e il tipo di risorsa scambiata con differenti risorse (con le relative caratteristiche fisiche e chimiche) che hanno un differente raggio di possibile scambio all'interno di una sinergia.

Generalmente i rifiuti ingombranti di basso valore, come i rifiuti da costruzioni e demolizioni (C&D), sono tendenzialmente limitati a scambi circoscritti al territorio (città/area metropolitana), mentre le risorse di alto valore a basso volume, come il cobalto, possono avere un mercato internazionale.

Gli scambi di vapore e di calore di scarto sono necessariamente ristretti al livello locale, in quanto non possono essere trasportati su lunghe distanze. I metalli comuni come l'acciaio e l'alluminio sono generalmente scambiati al livello dei mercati locali/regionali, mentre i metalli preziosi e i minerali rari possono accedere a mercati di dimensioni molto più importanti.

Dal diagramma nella Figura 21 è possibile osservare come quasi 8 casi su 10 appartengano alla categoria "gestita", considerando che i casi incerti possono cadere nella fetta "TopDown" oppure in quella "facilitata", mentre la tipologia di rete "BottomUp", capitanata dal caso Kalundborg, risulta evidente nell'ordine di 2 casi su 10.

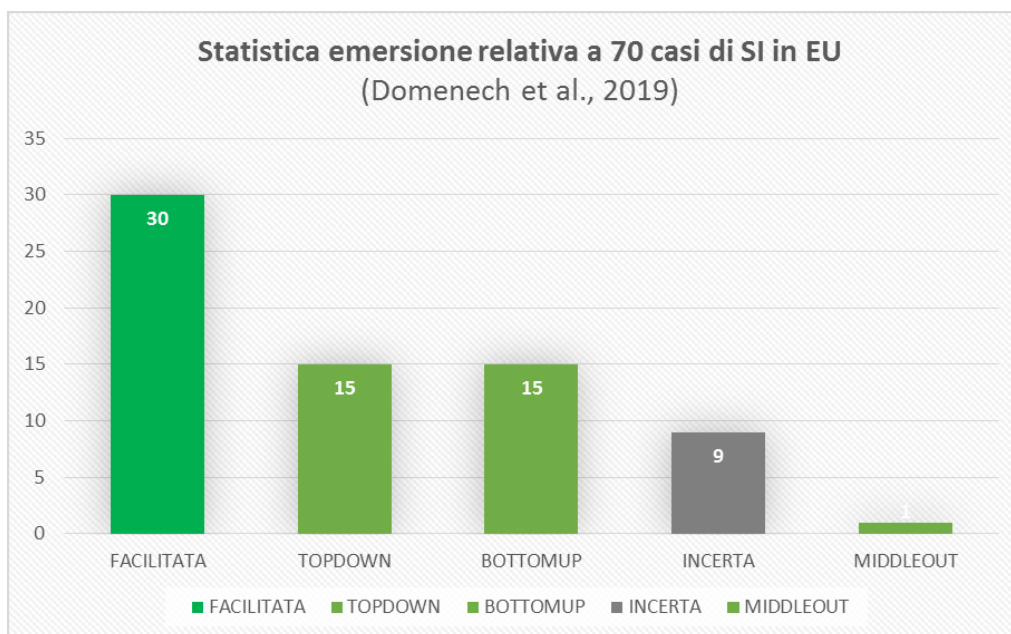


Figura 21 - Statistica della emersione dei 70 casi di SI in EU studiati da (Domenech et al., 2019)

I benefici ambientali prodotti dai 70 casi oggetto di studio sono mostrati nella Tabella 10:

DATI ANNUI	QUANTITÀ	UdM
Rifiuti evitati da discarica	2.402.725	[ton/anno]
CO₂ non emessa	2.693.759	[ton/anno]
Materie prime vergini salvaguardate	241.238	[ton/anno]
Riduzione uso acqua	1.001	[ton/anno]

Tabella 10 - Benefici ambientali dei 70 casi di SI in EU studiati da (Domenech et al., 2019)

Progetto MAESTRI

La fonte principale da cui sono stati estrapolati i dati è stata il database MAESTRI (MAESTRI-Project, 2019). Si tratta di un progetto di ricerca finanziato dall'Unione Europea che ha coinvolto l'associazione europea A.SPIRE¹⁴.

A.SPIRE (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) è l'Associazione Europea che si impegna a gestire e implementare la Partnership co-programmata Processes4Planet. Rappresenta le

¹⁴ [A.SPIRE | Processes4Planet Research Association \(aspire2050.eu\)](http://aspire2050.eu)

industrie di processo innovative, il 20% del totale del settore manifatturiero europeo in termini di occupazione e fatturato e più di 180 soggetti interessati ai processi industriali e di ricerca provenienti da oltre 20 paesi sparsi in tutta Europa.

A.SPIRE riunisce i settori del cemento, della ceramica, della chimica, dell'ingegneria, dei minerali, dei metalli non ferrosi, della cellulosa e della carta, della raffinazione, dell'acciaio e dell'acqua, molti dei quali sono settori leader a livello mondiale che operano dall'Europa.

La missione di A.SPIRE è garantire lo sviluppo di tecnologie abilitanti e buone pratiche lungo tutte le fasi delle produzioni esistenti su larga scala della catena del valore che contribuiranno a un'industria di processo efficiente in termini di risorse.

Il progetto MAESTRI¹⁵ è stato un progetto di ricerca finanziato dal programma Horizon 2020¹⁶. Si è occupato dello sviluppo di una libreria (database) composta da 46 casi di studio di successo di simbiosi industriale realizzati in tutto il mondo e di un database dei materiali scambiati, collegati tra loro con lo scopo di fornire potenziali idee di miglioramento della simbiosi industriale e opportunità per nuovi scambi simbiotici. È una fonte di informazioni sulle implementazioni di simbiosi industriale esistenti in tutto il mondo, costruita utilizzando documenti pubblici (pubblicazioni scientifiche, ecc.).

Ogni caso di studio è organizzato in due differenti tabelle: la Library of Case Studies, come mostrato parzialmente nella Figura 22:

CASE IDENTIFICATION		SOURCE IDENTIFICATION				CASE GENERAL INFORMATION				Case title	
Case Identifier	Source Identifier	Typology	Authors	Year of publication	Title	Link	Country	Benefits quantification Types of benefits quantified	Tool / methodology used for		Level of completion
1	12	Paper	Nolamicola et al.	2016	Industrial symbiosis in the Taranto industrial district: current level, constraints and potential new synergies	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616300333X	Italy	economic, environmental	ND	TBC	An Industrial Symbiosis-based restructuring proposal to overcome the environmental crisis affecting the steelwork-centred industrial district in Taranto, Italy
2	16	Paper	Pakarinen et al.	2010	Sustainability and industrial symbiosis - The evolution of a Finnish forest industry complex	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344910001036	Finland	ND	NA	C	The evolution of the pulp and paper mill on the river Kymijoki in Kuusankoski, Finland: a company driving Industrial Symbiosis in its district to follow market variability.

Figura 22 - Library of Case Studies (MAESTRI-Project, 2019)

e l'Exchanges Database, come mostrato parzialmente nella Figura 23.

EXCHANGE IDENTIFICATION		INVOLVED COMPANIES						EXCHANGE DESCRIPTION							
Exchange Identifier ("Case Identifier, source identifier, Progressive number")	Company name	Donor Main business	Sector (NACE)	Company name	Receiver Main business	Sector (NACE)	Waste description	EWC code	Exchange Input CPA code	CAS code	EWC Indicated as hazardous?	Owner of the treatment (donor/receiver/3rd party)	Brief description of the treatment	Treatment (if needed) Company (if owner is a third-party)	Business (if owner is a third-party)
1.12.1	Enipower power station	Power plant	3511	ENI refinery	Refinery	1920	Vapour and demineralised water		360012		No	NA	NA	NA	NA
1.12.2	Enipower power station	Power plant	3511	ENI refinery	Refinery	1920	Electricity		351110		No	NA	NA	NA	NA
1.12.3	Enipower power station	Power plant	3511	ENI refinery	Refinery	1920	water, condensing vapour		360012		No	NA	NA	NA	NA
1.12.4	ENI refinery	Refinery	1920	Enipower power station	Power plant	3511	Fuel gas		192026		No	NA	NA	NA	NA
1.12.5	ENI refinery	Refinery	1920	Enipower power station	Power plant	3511	Fuel oil		192028		No	NA	NA	NA	NA
1.12.6	ILVA	Steelworks	2410	Enipower power station	Power plant	3511	Demineralised water		360012		No	NA	NA	NA	NA
1.12.7	ILVA	Steelworks	2410	Edison power station	Power plant	3511	Exhaust gas	100299			No	NA	NA	NA	NA
1.12.8	Edison power station	Power plant	3511	ILVA	Steelworks	2410	Electricity		351110		No	NA	NA	NA	NA
1.12.9	Edison power station	Power plant	3511	ILVA	Steelworks	2410	Steam		353011		No	NA	NA	NA	NA
1.12.10	ILVA	Steelworks	2410	CEMENTIR	Cement production	2351	Mill scales	100210	201219	1309371	No	NA	NA	NA	NA
1.12.11	ILVA	Steelworks	2410	CEMENTIR	Construction materials production	2351	BF slag	100202	081213		No	NA	NA	NA	NA
1.12.12	CEMENTIR	Cement production	2351	ND	Construction materials production	2361	Coal fly ash	100102	244530		No	NA	NA	NA	NA

Figura 23 - Exchanges Database (MAESTRI-Project, 2019)

¹⁵ MAESTRI – Energy and resource management systems for improved efficiency in the process industries – A H2020-Project under the SPIRE-PPP Initiative (maestri-spire.eu)

¹⁶ Energy and resource management systems for improved efficiency in the process industries. | MAESTRI | Project | Fact sheet | H2020 | CORDIS | European Commission (europa.eu)

A differenza degli archivi e degli strumenti di matchmaking esistenti, in cui l'utente registrato può identificare potenziali partner vicini per scambi specifici, il prototipo "Library of Case Studies" e l'"Exchanges Database" sono stati progettati come uno strumento ad accesso aperto. Non richiedono registrazione e forniscono supporto nell'identificazione di nuove idee per il riutilizzo alternativo dei rifiuti e il processo per implementarle (MAESTRI-Project, 2019).

Descrivo di seguito le informazioni riportate nelle due tabelle.

/* Library of Case Studies

Questo elenco si riferisce alla tabella raffigurata in Figura 20, in cui il "caso di studio" rappresenta una situazione documentata in cui ci sono più industrie tra loro collegate che partecipano ad un processo di SI.

- Case identification: qui si riportano il numero identificativo del caso;
- Source identification: qui si riportano il numero di fonti identificative, la tipologia del documento (articolo, estratto di una conferenza, articolo di una conferenza, sito web, presentazione industriale, carta bianca), gli autori, l'anno di pubblicazione, titolo, link;
- Case general information: qui si riportano lo stato in cui si è sviluppato il caso di studio, tipologia di benefits quantificati, strumenti e metodologie per la quantificazione, livello di completamento;
- Case description: titolo del caso, descrizione del caso, sfida principale affrontata, barriere principali affrontate, approccio per superare le barriere, processo di scoperta, condizioni preliminari.

/* Exchanges Database

Il seguente elenco fa riferimento alla tabella rappresentata in Figura 23, in cui con il termine "scambio" si fa riferimento ai flussi di materiali scambiati tra le industrie coinvolte per ogni caso di studio riportato.

- Exchange identification: qui viene riportato il codice identificativo dello scambio (identificativo del caso, numero di fonti identificative e numero progressivo per numerare gli scambi);
- Involved companies: qui viene riportato il nome della compagnia, il business principale e il codice NACE (classificazione statistica delle attività economiche nelle comunità europee) sia per l'azienda donatrice che per l'azienda ricevente;
- Exchange input description: qui viene riportato la descrizione della materia prima seconda, codice EWC (European Waste Catalogue), codice CPA (classificazione dei prodotti associati alle attività), codice CAS (Chemical Abstract Service), la pericolosità tramite EWC;
- Treatment description (se richiesto): qui viene riportato il proprietario del trattamento della materia prima seconda (donatore, ricevente, terzi), breve descrizione del trattamento, il nome della compagnia (se il trattamento è fatto da terzi), business della compagnia (se il trattamento è fatto da terzi), codice NACE (se il trattamento è fatto da terzi);
- Exchange details description: uso finale della materia prima seconda da parte dell'azienda ricevente, la disponibilità dei materiali scambiati nella fonte, la richiesta di una transazione economica per lo scambio e da parte di quale parte;
- Level of completion of the exchange: può essere implementato, pianificato o in corso di studio di fattibilità.

Quasi tutti i casi presentati nella libreria sono accompagnati da un supporto descrittivo rigoroso costituito da una pubblicazione scientifica. Con riferimento alle variabili di nostro interesse, dallo studio dei casi, è stato possibile estrapolare i seguenti dati (Figura 24):

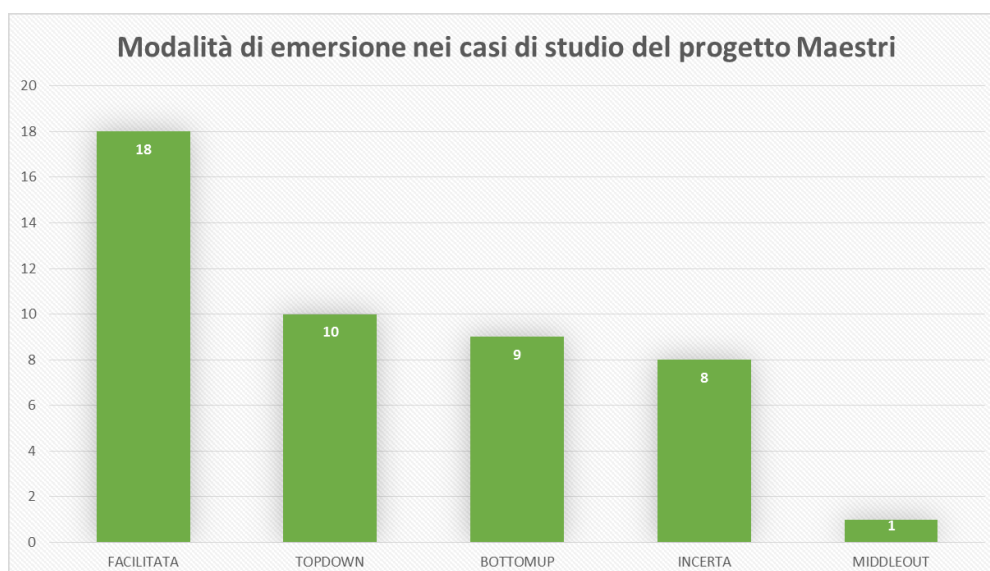


Figura 24 - Statistica della emersione dei casi di SI del progetto Maestri

I dati rinvenibili nel database del progetto Maestri, prendono in considerazione modelli di rete sviluppati in tutto il mondo. Con riferimento alla modalità di emersione, le relazioni sono simili alla statistica emersa a livello europeo con lo studio (Commission et al., 2018). In questo caso però i modelli sviluppati in Cina hanno spinto leggermente la leva del “TopDown” a svantaggio della fetta di “BottomUp”.

I risultati cumulativi conseguiti dai casi descritti nell’ambito del progetto Maestri sono riportati nella seguente Tabella 11:

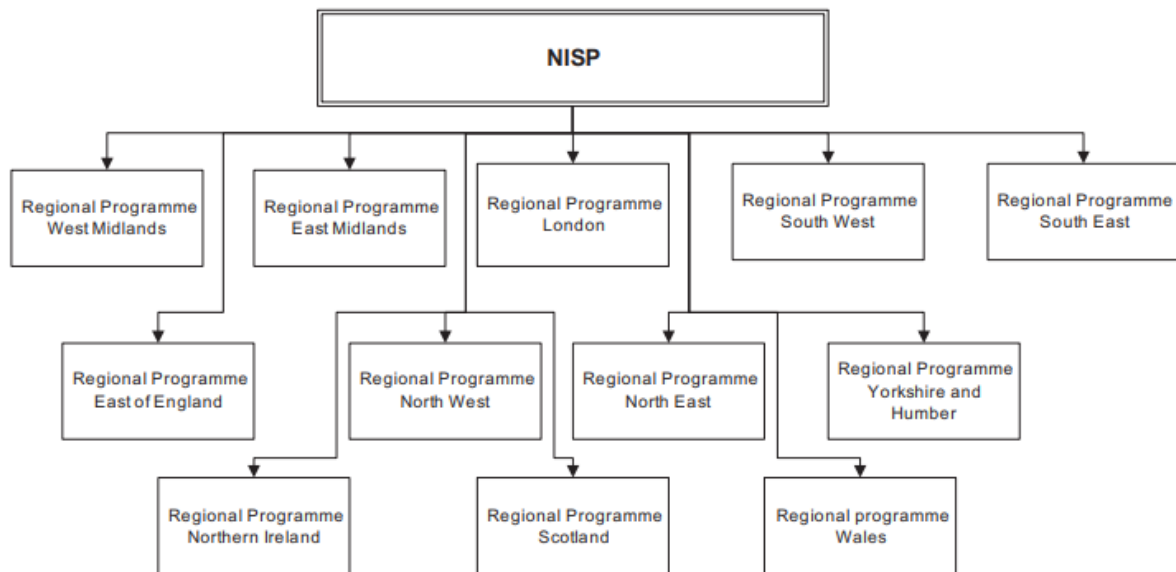
DATI ANNUI	QUANTITÀ	UdM
Rifiuti evitati da discarica	3.608.248	[ton/anno]
CO2 non emessa	1.327.341	[ton/anno]
Materie prime vergini salvaguardate	499.170	[ton/anno]
Riduzione uso acqua	867,69	[ton/anno]

Tabella 11 - Benefici ambientali dei casi di SI del progetto Maestri

Casi NISP

NISP è il progetto più riconosciuto di International Synergies ed è stato il primo programma di simbiosi industriale nazionale al mondo. Il modello è stato finora replicato in 20 paesi del mondo a livello nazionale o regionale. Il NISP è nato come tre programmi pilota in Scozia, West Midlands e Yorkshire & Humberside nel 2003. Il suo successo ha fornito una chiara base di prove al Department for Environment and Rural Affairs (Defra), che nel 2005 ha assegnato a International Synergies 27 milioni di sterline in tre anni per implementare il programma in tutte e nove le regioni inglesi. Programmi simili sono stati avviati anche in Galles, Irlanda del Nord e Scozia (SISP)¹⁷.

¹⁷ [NISP® | International Synergies \(international-synergies.com\)](http://NISP® | International Synergies (international-synergies.com))



Il NISP ha avuto successo anche per il modo in cui è stato gestito e realizzato. Il programma operava con un focus operativo coordinato a livello nazionale sostenuto da una struttura locale di realizzazione. Le conoscenze dei team NISP delle realtà locali, con specifico riferimento ai temi economici e ambientali, hanno consentito al programma di avere un impatto positivo in tutto il Regno Unito.

La definizione di SI proposta in ambito NISP è la seguente: “Industrial symbiosis is a systems approach to a more sustainable and integrated industrial economy that identifies business opportunities to improve resource utilisation” (materials, energy, water, capacity, expertise, assets etc)” e di rifà al lavoro di (D. R. Lombardi & Laybourn, 2012).

Obiettivo del NISP è stato quello di sfruttare la sua rete per identificare le transazioni reciprocamente vantaggiose tra le aziende in modo che le risorse sottoutilizzate o da eliminare (tra cui energia, rifiuti, acqua e logistica) potessero essere utilizzate in modo produttivo. Ad esempio, si è stati in grado di identificare i flussi energetici sottoutilizzati e reindirizzarli creando una fonte di input per un nuovo processo industriale.

I partecipanti al NISP includevano micro, piccole e medie imprese (PMI) e multinazionali/aziende di ogni settore industriale. I workshop NISP possono essere progettati per trovare soluzioni a problemi specifici riunendo produttori, utenti e fornitori di soluzioni.

Le aziende che partecipano ai workshop interattivi NISP identificano i loro "haves" e "wants". I 'practitioners' sono quindi in grado di individuare le connessioni costruendo una mappa delle potenziali sinergie. Con tipicamente 50 - 60 organizzazioni in una stanza, si possono generare oltre 300 potenziali sinergie da una sessione facilitata di mezza giornata.

Il programma NISP, dal punto di vista della metodologia di emersione, rientra nella tipologia di simbiosi facilitata (100% emersione di tipo facilitata).

Il NISP ha introdotto un processo di verifica esterna per tutti i suoi risultati fin dall'inizio, per garantire una solida base di dati e per quantificarne l'impatto preciso.

Oltre ai benefici effettivi generati dal NISP annualmente, viene applicato un elemento di persistenza agli output per dimostrare i veri impatti a lungo termine, a volte chiamati benefici a vita del lavoro del NISP. La persistenza è definita come un livello di output che una sinergia (un progetto facilitato dal NISP) dovrebbe fornire negli anni successivi una volta che la sinergia è iniziata. Non tutte le sinergie maturano gli stessi benefici anno dopo anno. In alcuni casi i processi o i mercati possono cambiare e le produzioni diminuiscono

nel tempo. In altri casi, la produzione aumenta e i benefici aumentano nel tempo (Laybourn&Morrissey, 2009).

Ad esempio, i risultati certificati da terze parti nel periodo Aprile 2005-Settembre 2009, con periodo di persistenza dei risultati fino a Marzo 2010, sono riportati nella Tabella 12 (Laybourn&Morrissey, 2009):

DATI ANNUI	QUANTITÀ	UdM
Rifiuti evitati da discarica	7.022.384	[ton]
CO2 non emessa	6.038.059	[ton]
Materie prime vergini salvaguardate	9.704.711	[ton]
Riduzione uso acqua	9.569.738	[ton]
Rifiuti pericolosi evitati	363.626	[ton]

Tabella 12 - Risultati ambientali certificati dei progetti NISP tra Aprile 2005 e Settembre 2009 (Laybourn&Morrissey, 2009)

Dal punto di vista dell’impatto, la International Synergies Limited (ISL) dichiara¹⁸ che il suo programma NISP ha consentito alla sua attività in Inghilterra di ottenere i seguenti risultati:

- Evitare 47 milioni di tonnellate di rifiuti industriali dalla discarica
- Ridurre le emissioni di carbonio di 42 milioni di tonnellate
- Riutilizzare 1,8 milioni di tonnellate di rifiuti pericolosi
- Risparmiare 60 milioni di tonnellate di materia prima vergine
- Risparmiare 73 milioni di tonnellate di acqua industriale
- Generare £ 1 miliardo di nuove vendite
- Creare e mantenere oltre 10.000 posti di lavoro
- Tagliare i costi di 1 miliardo di sterline riducendo i costi di smaltimento, stoccaggio, trasporto e acquisto

Tutte le cifre sono verificate in modo indipendente e si riferiscono ai risultati del programma in Inghilterra tra aprile 2005 e marzo 2013 con benefici a vita.

La scalabilità (potenzialmente molto promettente) dell’esperienza del NISP è basata sul modello di crescita riportato in Figura 25 (Laybourn&Morrissey, 2009).

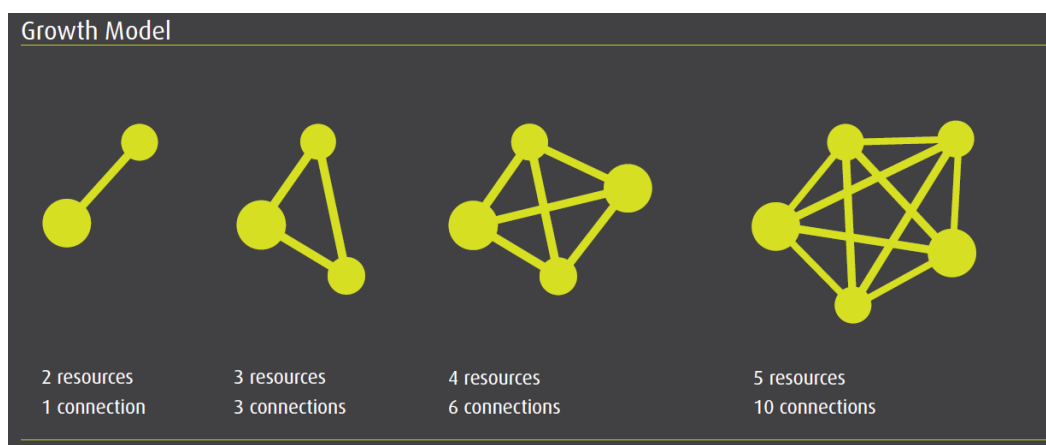


Figura 25 - Modello di crescita per la scalabilità dell’esperienza del NISP (Laybourn&Morrissey, 2009)

Per sua stessa ammissione, “NISP achieves 90% of its benefits at the top two levels of the waste hierarchy” e, in particolare (Petti, 2013):

¹⁸ [NISP® | International Synergies \(international-synergies.com\)](http://NISP® | International Synergies (international-synergies.com))

- Prevention: 13%
- Reuse: 77%
- Recycle: 5%
- Recovery: 5%
- Disposal: 0%

E questo rappresenta una importante testimonianza, da parte della più importante iniziativa di SI al mondo, di come operi concretamente la SI con riferimento alla gerarchia dei rifiuti.

Casi ENEA in Italia

Con riferimento all'attività di ENEA nel campo della SI, non è stato possibile ritrovare dati quantitativi confrontabili con i dati presentati nei paragrafi precedenti. I dati che presento di seguito sono riconducibili a quanto reso disponibile sul sito dell'Ente, e ad una presentazione effettuata in occasione di Ecomondo 2022.

Il sito [Industrial Symbiosis - Home](#) è nato nell'occasione di un progetto svolto in Sicilia (ENEA 2011-2015, Progetto "Supporto allo sviluppo produttivo nel Sud: interventi pilota per la sostenibilità e competitività del turismo e delle aree industriali").

Da allora, si legge sul sito che sono stati raggiunti i seguenti risultati:

- 284 aziende
- 2672 risorse
- 1946 simbiosi

A maggio 2018, Francesca Cappellaro (ENEA, SSPT-USER-RISE), nell'ambito del Convegno "Economie circolari fra produzione e marketing. Modelli ed esperienze a confronto", Economia circolare e modelli di business collaborativi, presenta i Progetti ENEA per la simbiosi industriale:

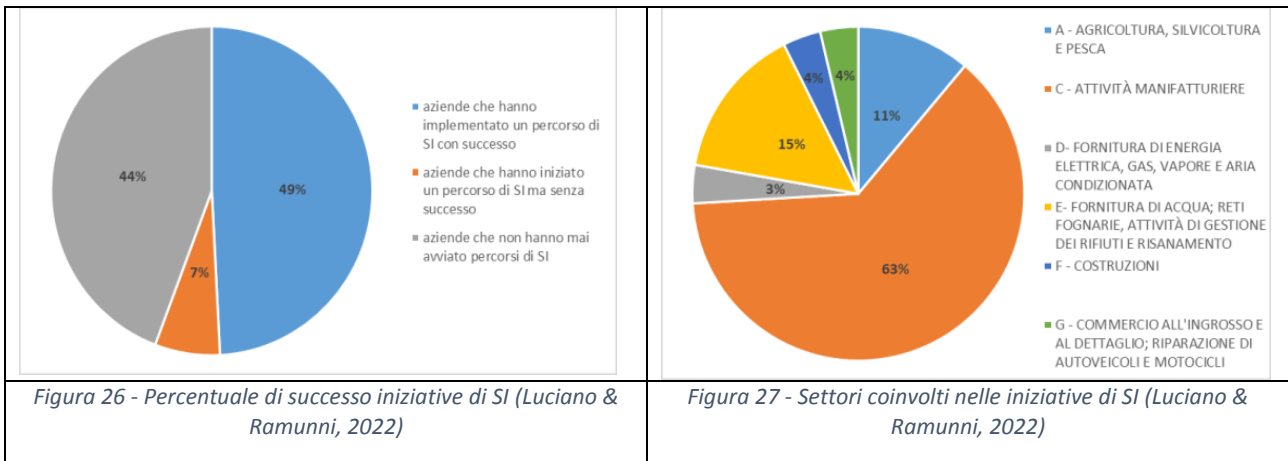
- Sicilia – (Camera di commercio, Univ. of Catania, Confindustria). 90 imprese partecipanti georeferenziate - circa 400 I/O - 600 sinergie potenziali
- Lazio – Area industriale di Rieti (ASI Rieti Cittàducale). 27 imprese partecipanti georeferenziate - circa 140 I/O - 110 sinergie potenziali
- Emilia-Romagna – ASTER e camera commercio Bologna. 10 imprese partecipanti georeferenziate - circa 100 I/O - 90 sinergie potenziali
- Emilia-Romagna – Progetto FOODCROSSING. Progetto in corso finanziato dalla Regione ER nel settore agroalimentare
- Umbria – Sviluppumbria - Progetto in corso finanziato dalla Regione Umbria, svolto in collaborazione con Sviluppumbria
- STORM "Industrial Symbiosis for the Sustainable Management of Raw Materials"
- ERMAT "Efficient use of Residual Materials".

Riporto di seguito gli esiti relativi a casi di SI realizzati in Italia a cura di ENEA e riportati nell'indagine SUN Gruppo di lavoro 1: "A survey on the industrial symbiosis in Italy – preliminary results" (Luciano & Ramunni, 2022).

"Ad oggi hanno partecipato all'indagine 61 imprese italiane, la maggior parte operanti in Sicilia (41%) seguite da imprese operanti in Lombardia (16%), Toscana (13%), Emilia Romagna (7%), Marche (5%), Lazio, Veneto e Campania (3%), Valle d'Aosta e Friuli Venezia Giulia (2%).

Dall'indagine è emerso che più della metà delle aziende (56%) ha avviato un percorso di simbiosi industriale, dichiarando un tasso di successo del 49% in termini di conclusione positiva del processo (Figura 26).

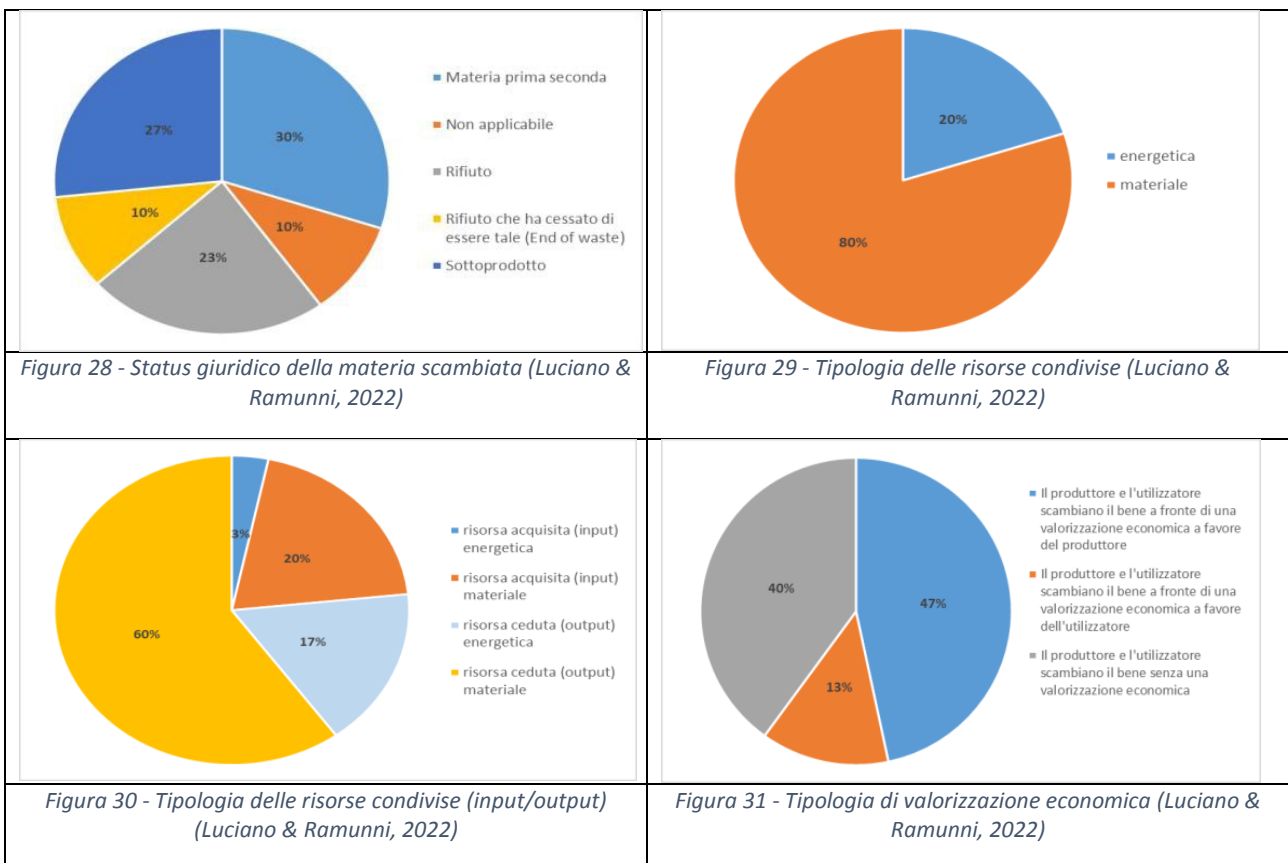
Il principale settore di attività è quello manifatturiero (63%), seguito dai servizi di approvvigionamento idrico, gestione delle reti fognarie e gestione dei rifiuti (15%), dal settore agricoltura, silvicoltura e pesca (11%), edilizia (4%), commercio all'ingrosso (4%) e fornitura di energia elettrica (3%) (Figura 27).



L'analisi delle risorse condivise ha rivelato che solo nel 27% dei casi di successo lo status giuridico della materia scambiata è sottoprodotto, mentre nel 40% dei casi la risorsa trasferita è classificata come "end of waste" o materia prima seconda e nel 23% dei casi è costituito invece da rifiuti (Figura 28).

Pertanto, si deve presumere che i casi effettivi di simbiosi industriale rappresentino una quota di quelli dichiarati, portando al 13% la percentuale di aziende che hanno effettivamente attuato percorsi di simbiosi industriale.

Le risorse condivise sono state materiali per l'80% ed energia per il restante 20% dell'energia (Figura 29 e Figura 30).



Il trasferimento delle risorse avviene principalmente attraverso una valorizzazione economica a favore del produttore (47%), che beneficia quindi dei vantaggi economici derivanti dalla simbiosi industriale. Nel 40% dei casi, invece, il trasferimento delle risorse avviene senza alcuna valorizzazione economica e quindi i vantaggi derivano principalmente dalla riduzione dei costi per la gestione dei residui e per l'approvvigionamento delle materie prime (Figura 31).

Anche se il campione di questa indagine è limitato e la rappresentatività non può essere considerata sufficiente per tracciare un quadro completo, i risultati preliminari mostrano chiaramente che permangono ostacoli rilevanti alla simbiosi industriale in Italia.

I risultati di questa indagine mostrano che solo la metà dei soggetti partecipanti al sondaggio ha dichiarato di ottenere un risultato positivo. I principali ostacoli possono essere individuati nella mancanza di incentivi, in particolare per quelle attività che possono competere con economie lineari consolidate, e nell'incertezza normativa che colpisce in particolare la legislazione sui sottoprodotti e sui rifiuti.

Migliorare la conoscenza delle best practices può quindi aiutare gli attori della simbiosi industriale ad ottenere un più alto livello di riconoscimento da parte del mercato, dei consumatori finali e del legislatore.

La maggior parte delle buone pratiche identificate prevede uno scambio di materiali nei settori industriali. Lo scambio di energia è meno rilevante, probabilmente per i maggiori vincoli dovuti al trasporto e allo stoccaggio, mentre lo scambio di servizi e/o competenze probabilmente non è ancora percepito come un'azione di simbiosi.

Rilevante notare che il ruolo dei sottoprodotti è limitato, con un ruolo rilevante svolto dai rifiuti e dai materiali di scarto. Questo elemento può essere direttamente collegato all'incertezza normativa e al fatto che la legislazione sui sottoprodotti non è ancora pienamente riconosciuta dagli operatori industriali e dalle autorità locali. L'esperienza condotta dal gruppo di lavoro 1 mostra anche che il questionario era ben bilanciato e mirato, ma la copertura deve essere migliorata per aumentare la rappresentatività dei risultati." (Luciano & Ramunni, 2022)

Sintesi dei dati sulla SI

In questo paragrafo sono stati mappati i principali esiti risultanti dalle esperienze di SI che sono state sviluppate perlopiù al livello italiano ed europeo.

La raccolta dei dati effettuata a partire dagli studi considerati, consente di dedurre una statistica complessiva relativa a uno degli aspetti di maggiore rilievo riguardante tutte le sinergie considerate e cioè la modalità di emersione. La statistica di emersione complessiva risultante dagli studi analizzati, risulta essere la seguente:

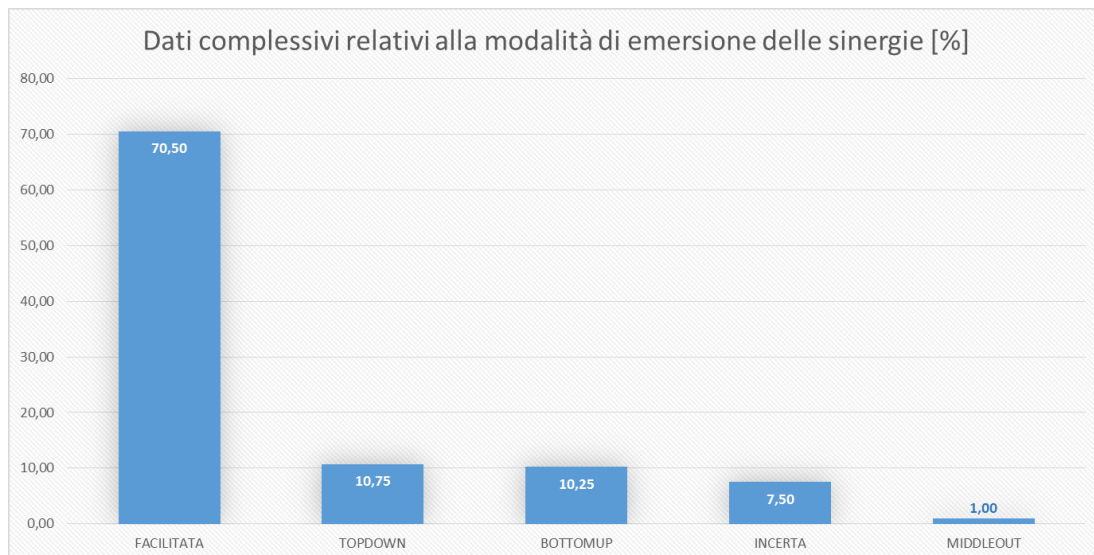


Figura 32 - Dati complessivi relativi alla modalità di emersione delle sinergie [%]

La maggioranza dei network realizzati riguarda casi di sinergie gestite di tipo 'Facilitata' per un ammontare complessivo pari a più del 70%. Se consideriamo il totale delle reti emerse in modalità gestita da un intervento esterno al network (e quindi non emerse in modo spontaneo) e cioè la somma di emersione 'Facilitata' e 'Topdown', superiamo un totale dell'81%. Se inoltre consideriamo che anche i casi classificati come emersione 'Incerta' ricadono nell'emersione di tipo gestita, possiamo concludere che quasi solo un caso su dieci riguarda sinergie partite dal basso e affermatesi in maniera spontanea (Figura 32).

Questo risultato è di particolare importanza perché evidenzia che, ad oggi, per fare emergere una sinergia simbiotica, è di fatto necessario forzarla. Una forma di spontaneità che consenta un libero incontro tra domanda e offerta, sembra relegato a casi molto rari.

Inoltre, la forzatura della relazione simbiotica, come visto, incontra un insieme di barriere "non tecniche" che ne rallentano in modo determinante la rapidità di emersione. Infatti, la dimensione temporale è emersa come di rilievo tra le difficoltà percepite da aziende e facilitatori nelle due variabili "Lack of time to implement solutions" e "Long timeframe for implementation of solutions".

Gli aspetti quantitativi sui volumi trattati, relativi ai dati che è stato possibile trovare, sono così sintetizzati (Tabella 13):

DATI QUANTITATIVI [TONNELLATE/ANNO]					
	MAESTRI	NISP	ENEA	EU (Domenech)	Totale
Rifiuti evitati da discarica	3.608.248	5.875.000	9.200	2.402.725	11.895.173
CO2 non emessa	1.327.341	5.250.000		2.693.759	9.271.100
Materie prime vergini salvaguardate	499.170	7.500.000		241.238	8.240.408
Riduzione uso acqua	868	9.125.000		1.001	9.126.869
Rifiuti pericolosi evitati		225.000			225.000

Tabella 13 - Dati di sintesi relativi ai volumi trattati nell'ambito di relazioni di simbiosi industriale

2.3. Waste Management

Evoluzione della normativa in EU ed IT in materia di rifiuti

Propongo di seguito un sintetico excursus della normativa europea ed italiana in materia di rifiuti soffermandomi su quegli aspetti che hanno determinato un progresso in questo settore sia dal punto di vista economico che ambientale.

Il primo intervento europeo relativo alla gestione dei rifiuti risale all'anno 1975, attraverso l'emanazione della Direttiva CEE n. 75/442 relativa al "Programma di Azione Ambientale Comunitario". Direttiva Consiglio CE 75/442/CEE. Ai sensi della direttiva, per la prima volta si definiscono i concetti di Rifiuto, Produttore, Detentore, Gestione, Smaltimento, Recupero, Raccolta.

Tale normativa è stata recepita come un buon punto di inizio, ritenuta innovativa per l'epoca e, fino ai nostri giorni, ha subito diverse modifiche e generato numerosi sviluppi. Ad esempio, il tema del riciclo nella normativa viene appena accennato come un tentativo di recupero, molte operazioni di smaltimento allora consentite oggi sono vietate, ma allo stesso tempo, troviamo tentativi virtuosi come il trattamento biologico, il trattamento fisico-chimico, lo scambio di rifiuti (che abbiamo definito propriamente con il concetto di simbiosi nel capitolo precedente).

L'ordinamento giuridico italiano ha accolto tale direttiva con il DPR del 10/09/1982, n. 915 che ha fatto chiarezza sul problema dei rifiuti e ha posto le basi per affrontarlo in modo adeguato con il grande merito di fissare i principi generali della materia relativi alla tutela della salute dei singoli e alla tutela dell'ambiente nei suoi vari distretti. Il decreto afferma i principi promulgati dalla Commissione Europea e, per la prima volta, si parla anche di prevenzione della produzione dei rifiuti (fonte Gazzetta Ufficiale).

Nei primi anni Novanta la Commissione Europea emana nuove direttive che sostituiscono e integrano la Direttiva CEE n. 75/442, rispondendo alla necessità delle nuove strategie di sviluppo sostenibile e di allineamento maggiore tra i Paesi dell'Unione Europea. In particolare, viene introdotta la Direttiva 94/62/CEE riguardante gli imballaggi: prima d'ora non era mai stato trattato il tema degli imballaggi come un tipo di rifiuto da considerare in maniera indipendente. Nella Direttiva Rifiuti 91/156/CEE si parla per la prima volta di materie prime seconde (MPS), prevedendo il recupero dei rifiuti mediante riciclo, reimpiego, riutilizzo o ogni altra azione intesa a ottenere MPS.

Nel 1996, la Commissione Europea, con lungimiranza, aveva adottato la Strategia di gestione dei rifiuti che già poneva come priorità assoluta la prevenzione e la minimizzazione dei rifiuti, seguita da attività di riutilizzo, recupero (di materia e di energia) e, infine, dallo smaltimento sicuro. Secondo la Strategia, la gestione dei rifiuti doveva avere come obiettivo principale l'uso razionale e sostenibile delle risorse ed essere impostata seguendo un rigoroso ordine gerarchico di priorità:

- riduzione della produzione e soprattutto della pericolosità dei rifiuti;
- sostituzione delle sostanze pericolose per l'ambiente contenute nei prodotti con altre meno pericolose;
- riutilizzo e valorizzazione dei rifiuti sotto forma di materia, anche attraverso l'incremento della raccolta differenziata;
- valorizzazione energetica del rifiuto residuo dotato di buon potere calorifico;
- smaltimento in condizioni di sicurezza dei soli rifiuti che non hanno altra possibilità di recupero o trattamento.

Nell'ambito della gestione integrata dei rifiuti, la discarica, non avendo alcuna funzione di valorizzazione delle risorse, e comportando un rischio per l'ambiente, rappresentava secondo la Strategia, l'opzione per i rifiuti ultimi non più suscettibili di essere riusati o trattati nelle condizioni tecniche ed economiche del momento.

Il punto di svolta in Italia viene segnato dal Decreto Legislativo 22/97, chiamato anche “Decreto Ronchi”, il cui testo attua una riforma organica, recependo in modo coordinato le tre direttive europee sui rifiuti, sui rifiuti pericolosi e sugli imballaggi, rispondendo alla necessità di produrre un testo unico ambientale in materia di gestione dei rifiuti.

La priorità del riciclo fu un cardine del disegno riformatore del D.Lgs 22 del 1997, che richiedeva il raggiungimento di livelli elevati di raccolta differenziata. Quando fu avviata la riforma, la raccolta differenziata dei rifiuti urbani era marginale. La gran parte finiva in discarica: nel 1997 su 26,6 Mton di rifiuti urbani prodotti in Italia solo 2,5 Mton erano raccolti in maniera differenziata, pari al 9,4%, e ben 21,3 Mton, l'80%, finivano in discarica (dati Ispra). Lo smaltimento in discarica era la modalità di gestione dei rifiuti ampiamente diffusa perché appariva il sistema più semplice e, sottovalutando i costi ambientali, anche il meno oneroso.

Come principale alternativa alla discarica riscuoteva, allora, un notevole consenso fra i decisori politici l'incenerimento massiccio dei rifiuti basata su una forma di industrializzazione del ciclo dei rifiuti affidata a pochi grandi impianti, visti come soluzione del problema. Tale “soluzione” derivava anche dalla sottovalutazione delle possibilità e dei vantaggi del riciclo dei rifiuti e dal fatto che la raccolta differenziata era ritenuta difficile da realizzare con percentuali elevate.

La Direttiva sulla gerarchia dei rifiuti che avrebbe dato priorità al riciclo sarebbe arrivata molto dopo (con la Direttiva 98 del 2008); il dibattito a livello europeo era stato appena aperto con la Strategia, presentata nel 1996 dalla Commissione Europea, sulla gestione dei rifiuti che dava grande peso al riciclo e cominciarono ad essere disponibili analisi tecniche che dimostravano la convenienza non solo ambientale, ma anche economica e occupazionale del riciclo dei rifiuti. La scelta di anticipare gli indirizzi europei sulla gerarchia nella gestione dei rifiuti, assegnando una chiara e netta priorità al riciclo, attribuendo un ruolo esplicitamente secondario al recupero energetico e residuale allo smaltimento in discarica, anche se poteva contare su riferimenti e basi robuste, non fu né semplice né scontata nel contesto di quegli anni.

Riguardo alla prevenzione, posta all'apice della piramide gerarchica, il Decreto Ronchi introduce principi e individua strumenti per la riduzione della quantità, volume e pericolosità dei rifiuti attraverso un approccio che prende in considerazione tutto il ciclo di vita dei prodotti: progettazione, fabbricazione, distribuzione, commercializzazione, consumo e post-consumo, lo sviluppo di tecnologie pulite, la promozione di strumenti economici, eco-bilanci, sistemi di eco-audit, analisi del ciclo di vita dei prodotti, azioni di informazione e di sensibilizzazione dei consumatori, coinvolgendo tutti soggetti interessati. Il decreto individua ulteriori strumenti che tendono a premiare i sistemi di certificazione e le etichette ecologiche riconoscendone un ruolo fondamentale nell'attuazione di uno sviluppo sostenibile nonché azioni quali l'informazione e la formazione del cittadino necessarie a modificare i modelli di consumo. Viene confermato il principio secondo cui chi più inquina, più deve pagare.

Il D.Lgs 22 stabilì che la raccolta differenziata doveva servire a “raccolgere i rifiuti urbani in frazioni merceologiche omogenee, compresa la frazione umida, destinate al riutilizzo, al riciclaggio ed al recupero di materia prima”. Anticipando la gerarchia nella gestione dei rifiuti introdotta successivamente a livello europeo, stabilì che “il riutilizzo, il riciclo, e il recupero di materia prima debbono essere considerati preferibili rispetto alle altre forme di recupero” e che occorreva favorire “la riduzione dello smaltimento finale”. Ampio dibattito suscitò anche l'introduzione di obiettivi quantitativi minimi di raccolta differenziata da raggiungere in tutti gli ambiti ottimali (15%, 25% e poi almeno al 35% a partire dal sesto anno) (Bianchi et al).

Tale riforma ha prodotto negli anni a venire grandi benefici in termini di raccolta differenziata e riduzione drastica degli impatti in discarica, i cui numeri saranno presentati nel seguito.

Un altro importante passo in Italia viene segnato nel 2006, attraverso il Decreto Legislativo 152/2006 intitolato “Norme in materia Ambientale”, che introduce la normativa sulla valutazione di impatto

ambientale, difesa del suolo e tutela delle acque, rifiuti e bonifica dei siti inquinanti, tutela dell'aria e risarcimento del danno ambientale.

L'approccio normativo non si basa più sullo smaltimento dei rifiuti, bensì sulla loro gestione e il provvedimento regolamenta e disciplina proprio la complessità di questi processi.

I principi di riferimento sono quelli di precauzione, prevenzione, sostenibilità, proporzionalità, responsabilizzazione, cooperazione tra i soggetti coinvolti nella filiera gestionale dei rifiuti e del principio "chi inquina paga"; a tal fine la gestione è effettuata secondo criteri di efficacia, efficienza, economicità, trasparenza, fattibilità tecnica ed economica, nonché nel rispetto delle norme in materia di partecipazione e di accesso alle informazioni ambientali.

Viene introdotta la "Responsabilità estesa del Produttore", che prevede che i costi della gestione di alcuni determinati flussi di rifiuti siano parzialmente o totalmente sostenuti dai produttori dei prodotti, anche in collaborazione con i distributori di tali prodotti. Viene ampliata la gerarchia d'azione, che con riguardo alla finalità, si prefigge di proteggere l'ambiente e la salute umana, prevenendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell'uso delle risorse e migliorandone l'efficacia. Lo smaltimento viene confermato come un'attività "residuale" e viene confermata l'introduzione del sistema gestionale dei rifiuti, dove trovano sempre più spazio la prevenzione e le attività di riciclo e recupero. (Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152)

I rifiuti vengono classificati in base all'origine e alla pericolosità. In base all'origine possiamo avere due diverse categorie: Rifiuti Urbani e Rifiuti Speciali. Inoltre, allegati al decreto, sono elencati i rifiuti classificati in base alla loro pericolosità.

Oltre ad essere definito il concetto di rifiuto, vengono date altre importanti definizioni, aggiornate ed implementate rispetto al passato. In particolare si aggiornano o si definiscono ex-novo i concetti di gestione dei rifiuti, raccolta differenziata, recupero, riciclo.

Viene inoltre confermato il Catasto dei rifiuti. Questo strumento, articolato in una sezione nazionale (con sede a Roma presso l'ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e in sezioni regionali o provinciali, ha il compito di assicurare un quadro conoscitivo completo e costantemente aggiornato, anche ai fini della pianificazione e delle connesse attività di gestione. Chiunque effettua a titolo professionale attività di raccolta e trasporto rifiuti o svolge le operazioni di recupero e smaltimento è tenuto a comunicare annualmente le quantità e le caratteristiche qualitative dei rifiuti oggetto delle già menzionate attività.

L'Unione Europea ha emanato nel 2008 il cosiddetto "pacchetto rifiuti", una serie di normative sulla gestione dei rifiuti volte ad accompagnare gli Stati membri verso un'economia circolare attraverso un periodo di transizione.

In particolare, all'interno della "Direttiva quadro sui rifiuti" (Direttiva 2008/98/CE), viene a stabilirsi la già citata gerarchia dei rifiuti, che sancisce diverse misure per proteggere l'ambiente e la salute dei cittadini prevedendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti.

Con questo provvedimento viene così introdotta un'importante distinzione tra le diverse soluzioni adottabili nella gestione dei rifiuti, secondo il seguente criterio di priorità di azioni che vanno dalla produzione fino allo smaltimento:

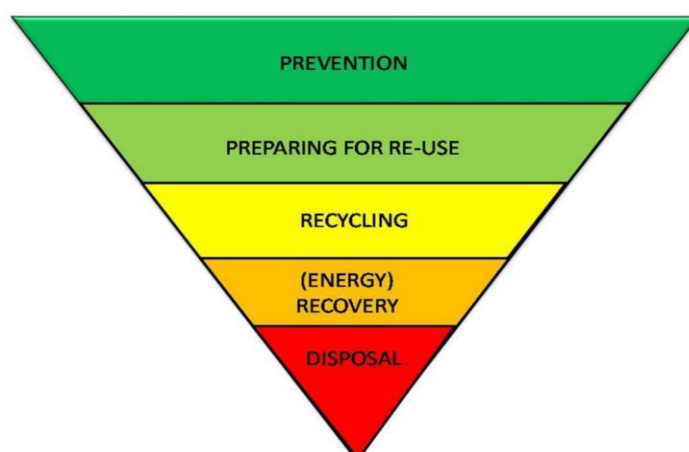
- prevenzione;
- riutilizzo;
- riciclo;
- recupero di altro tipo (per esempio il recupero di energia);
- smaltimento in discarica.

Questa gerarchia altro non è che una “piramide” che indica un ordine di preferenza delle azioni da attuare per ottenere il massimo beneficio dai prodotti e generare la minima quantità di scarti.

Gli Stati membri sono quindi incoraggiati a mettere in pratica la normativa e la politica in materia di rifiuti in modo trasparente attraverso una corretta applicazione della gerarchia dei rifiuti che può e deve portare a diversi benefici collettivi, tra cui la riduzione delle emissioni di gas serra, il risparmio energetico, una maggiore conservazione delle risorse e lo sviluppo di tecnologie cosiddette “green”.

La più recente Direttiva 2018/851/UE, che modifica la precedente 2008/98/CE, fissa altri nuovi obiettivi, sia temporali che percentuali in peso, per il riutilizzo e il riciclo dei rifiuti urbani pari al 55% entro il 2025, 60% entro il 2030 e il 65% entro il 2035. Inoltre, vengono rafforzate le norme in materia di prevenzione dei rifiuti.

Con il nuovo pacchetto di misure, infatti, i paesi dell’Unione devono impegnarsi a sostenere modelli di produzione e consumo sostenibili, incoraggiando non solo la progettazione, la produzione e l’uso di prodotti che siano efficienti nell’utilizzo delle risorse, durevoli, riparabili, riutilizzabili e che possano essere aggiornati, ma anche, ad esempio, la riduzione della produzione di rifiuti alimentari come importante contributo all’obiettivo di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite di ridurre del 50% lo spreco alimentare globale pro capite entro il 2030.



La gerarchia dei rifiuti diventa a tutti gli effetti uno schema utile e pratico al fine di gestire al meglio i rifiuti a seconda del loro impatto sull’ambiente e sulla salute umana. Deve diventare pratica quotidiana e non limitarsi solo ad azioni singole per garantire minori produzioni di rifiuti in favore di una migliore sostenibilità ambientale.

Le pratiche sul waste management suggeriscono il trattamento secondo la piramide di priorità:

- **Prevenzione:** In cima alla piramide c’è il concetto di “prevenzione”, ovvero il tentativo di evitare di produrre rifiuti alla fonte o quanto meno di diminuirne la quantità. Ciò comprende tutte quelle azioni che possono essere compiute a monte della catena di produzione e distribuzione al fine di ottimizzare e migliorare il processo produttivo attraverso la limitazione degli imballaggi, il contenimento nell’utilizzo di sostanze nocive o la diffusione di prodotti green. I cittadini, in tal senso, devono anch’essi essere sensibilizzati per contribuire in prima persona alla diffusione di buone pratiche e prediligere comportamenti di acquisto più coscienti, modificando le loro abitudini quotidiane consapevolmente.
- **Preparazione per il riutilizzo:** attraverso attività di controllo, pulizia, o riparazione/manutenzione, è possibile dare seconda vita ad un prodotto o materiale una volta esaurita la sua funzione principale senza subire ulteriori trattamenti. È il caso di vestiti, mobili, apparecchiature elettroniche che possono essere riparate e rigenerate per essere reimmesse sul mercato. Negli ultimi anni, abbiamo

assistito ad una vera e propria esplosione anche di App, siti e tutorial volti a promuovere il concetto di dare nuova vita agli oggetti usati.

- **Riciclo:** quando la produzione di un rifiuto non può essere evitata è necessaria un'operazione di riciclo, ossia di azioni che puntano a recuperare i materiali utili presenti nei rifiuti per riutilizzarli. È il caso, ad esempio, di materiali e sostanze quali plastica, vetro, carta e metalli che, grazie alla raccolta differenziata operata dai cittadini, vengono processati e sottoposti a trattamenti specifici per poi essere riutilizzati almeno in parte nella produzione di altri beni, materiali o sostanze.
- **Recupero di energia:** Il recupero di altro tipo di rifiuti riguarda la possibilità di ricavare energia elettrica o calore da quei rifiuti non riciclabili che finirebbero altrimenti in discarica. È ciò che avviene all'interno di un termovalorizzatore, in cui i rifiuti vengono bruciati ad alte temperature al fine di recuperare dall'incenerimento il calore necessario per produrre teleriscaldamento o generare energia elettrica.
- **Smaltimento in discarica:** All'ultimo gradino della scala gerarchica per priorità di azioni che riducono e trattano i rifiuti si trova lo smaltimento in discarica, ultima spiaggia per tutti quei rifiuti per cui è stato impossibile effettuare una delle operazioni finora descritte. Quando, infatti, non vi è possibilità di riciclare o riutilizzare in altro modo materiali e sostanze, questi finiscono in discarica. Si tratta di una soluzione che per decenni è stata considerata come una delle poche alternative valide per la gestione dei rifiuti, ma che oggi rappresenta a tutti gli effetti un'opzione da scongiurare e che dovrà subire in futuro forti riduzioni per limitarne l'impatto ambientale.

Nel 2018 la Commissione Europea emana le direttive 849, 850, 851, 852, rientranti nel pacchetto definito "Circular Economy", che implementano e modificano quelle passate in materia di veicoli fuori uso, RAEE, pile e accumulatori, discariche, gestione rifiuti e gestione degli imballaggi, in cui si definiscono modalità di incentivi per la gestione dei rifiuti secondo la gerarchia precedentemente mostrata nel paragrafo (fonte "LE MODIFICHE ALLE DIRETTIVE RIFIUTI-CIRCULAR ECONOMY").

Tali direttive vengono quindi successivamente recepite dalla legislazione italiana nel 2020 attraverso i decreti 116, 118, 119, 121, i cui obiettivi generali del recepimento riguardano la semplificazione, il decentramento, la chiarezza e certezza normativa, l'accorpamento delle discipline, la riduzione del ricorso alla decretazione attuativa e la responsabilità della gestione. (Recepimento "Direttive Rifiuti" | Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (mase.gov.it)) (Figura 33).



Figura 33 - Schema del recepimento delle direttive EU/2018 nella legislazione italiana

Tra le principali novità introdotte dal d.lgs. 116/2020 si segnala l'introduzione dei requisiti minimi in materia di responsabilità estesa del produttore, la semplificazione delle procedure per l'istituzione di nuovi sistemi EPR per la concorrenza tra i diversi operatori, inoltre i produttori sono chiamati a corrispondere un contributo finanziario che consenta di coprire i costi della raccolta differenziata. Infine, vengono fissati obiettivi di riutilizzo e riciclo come di seguito menzionati:

- entro il 2020, la preparazione per il riutilizzo e il riciclo di rifiuti quali carta, metalli, plastica e vetro provenienti dai nuclei domestici e possibilmente di altra origine, nella misura in cui tali flussi di rifiuti sono simili a quelli domestici, sarà aumentata complessivamente almeno al 50 per cento in termini di peso;
- entro il 2020 la preparazione per il riutilizzo, il riciclo e altri tipi di recupero di materiale, incluse operazioni di riempimento che utilizzano i rifiuti in sostituzione di altri materiali, di rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi, sarà aumentata almeno al 70 % in termini di peso;
- entro il 2025, la preparazione per il riutilizzo e il riciclo dei rifiuti urbani saranno aumentati almeno al 55 % in peso;
- entro il 2030, la preparazione per il riutilizzo e il riciclo dei rifiuti urbani saranno aumentati almeno al 60 % in peso;
- entro il 2035, la preparazione per il riutilizzo e il riciclo dei rifiuti urbani saranno aumentati almeno al 65 % in peso.

A partire dal 2019 la commissione Europea ha avviato il percorso del “Green Deal”, un grande piano di investimenti per 1.800 miliardi di euro che punta a rendere il continente europeo climaticamente neutro entro il 2050, puntando in modo deciso sui principi di energie rinnovabili, industria sostenibile, ristrutturazione edilizia, mobilità sostenibile, biodiversità ed eliminazione dell’inquinamento. Seguendo la falsariga tracciata dalle normative emesse sul tema del waste management, l’UE punta ad azzerare completamente l’impatto dei rifiuti su suolo, aria e acqua entro il 2050. (Realizzare il Green Deal europeo (europa.eu))

Un sinottico dell’evoluzione della normativa al livello europeo (Programma d’Azione per l’Ambiente (PAA)) e, corrispondentemente, al livello italiano, è riportato nella seguente Tabella 14.

Fase	Periodo	Anno	Normativa europea	Normativa italiana	NOTE	LINK
I PAA	1974-1975				Introduzione del «principio di precauzione»	
		1974				
		1975	Direttiva 75/442/CE		Direttiva Rifiuti: fa chiarezza sul problema dei rifiuti; pone le basi per affrontarlo in modo adeguato; ha grande merito di fissare i principi generali della materia	Direttiva Consiglio Ce 75/442/Cee > ReteAmbiente
		1976				
II PAA	1977-1981				Cinque principi guida: a) continuità della politica ambientale; b) creazione di meccanismi per un'azione preventiva nei settori dell'inquinamento, della pianificazione territoriale e della gestione dei rifiuti; c) difesa e utilizzo razionale dell'habitat naturale; d) priorità alle misure per la difesa delle acque interne e dei mari, per la lotta all'inquinamento atmosferico e al rumore; e) considerazione degli aspetti ambientali nella collaborazione fra la Comunità europea e i paesi in via di sviluppo.	
		1977				
		1978				
		1979				

Fase	Periodo	Anno	Normativa europea	Normativa italiana	NOTE	LINK
		1980				
		1981				
III PAA	1982-1986				Introduce il concetto di uso sostenibile delle risorse naturali come obiettivo della politica europea in campo ambientale	
		1982		DPR n. 915/1982	DPR sullo Smaltimento dei rifiuti del 10/09/1982; Recepisce la Direttiva 75/442/CEE	Gazzetta Ufficiale
		1983				
		1984				
		1985				
		1986				
IV PAA	1987-1992				Coincide con l'Anno europeo dell'ambiente (1987). Il dibattito sull'ambiente era allora molto intenso e, alla fine del periodo di validità del quarto PAA, si svolgeva la conferenza di Rio sulla sostenibilità globale	
		1987			Viene pubblicato il Rapporto Brundtland sullo sviluppo sostenibile	https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html
		1988				
		1989				
		1990				
		1991	Direttiva 91/156/CE		Direttiva rifiuti: modifica la precedente 75/442	EUR-Lex - 31991L0156 - IT (europa.eu)
			Direttiva 91/157/CE		Direttiva pile e accumulatori	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0157&from=IT
			Direttiva 91/689/CE		Direttiva sui rifiuti pericolosi	EUR-Lex - 31991L0689 - IT (europa.eu)
		1992				
V PAA	1993-2000				In linea con le discussioni svoltesi allora durante la Conferenza di Rio, veniva formulato l'obiettivo di modificare il modello di crescita della Comunità in modo da imboccare la strada di uno sviluppo sostenibile; promuove modelli partecipativi di produzione e di consumo, coinvolgendo cittadini e imprese, in relazione alla trasversalità della tematica ambientale in ogni attività umana. È il precursore politico-strategico della strategia per la sostenibilità approvata dai capi di Stato e di governo a Göteborg nel 2001	

Fase	Periodo	Anno	Normativa europea	Normativa italiana	NOTE	LINK
		1993				
		1994	Direttiva 94/62/CE		Direttiva sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio	Imballaggi e rifiuti d'imballaggio (europa.eu)
			Decisione 94/3/CE		Decisione sullo European Waste Catalogue (EWC): prima nomenclatura standardizzata a fini statistici	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A31994D0003
		1995				
		1996				
		1997		D.Lgs. 22/1997	"Decreto Ronchi" del 5/2/1997: Creazione dei consorzi di filiera per la gestione corretta dei rifiuti da imballaggi	20 anni di Decreto Ronchi: cos'è cambiato nella gestione dei rifiuti? (miltek.it)
		1998				
		1999	Direttiva 1999/31/CE		Direttiva Discariche	Discariche di rifiuti (europa.eu)
		2000	Direttiva 2000/53/CE		Direttiva veicoli fuori uso	resource.html (europa.eu)
			Decisione 2000/532/CE		Direttiva sullo European List of Waste (LoW): aggiornamento da EWC a LoW	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%3A32000D0532
		2001		D.Lgs. 231/01	Responsabilità giuridica	Dlgs 8 giugno 2001, n. 231 > ReteAmbiente
VI PAA	2002-2012				Quattro priorità tematiche per la politica europea dell'ambiente: 1) lotta ai cambiamenti climatici 2) tutela della natura e della biodiversità 3) ambiente, salute e qualità della vita, 4) uso e gestione sostenibili delle risorse naturali e dei rifiuti.	
		2002				
		2003		D.Lgs. 36/2003	Smaltimento degli PFU in discarica	DECRETO LEGISLATIVO 13 gennaio 2003, n. 36 - Normattiva
				D.Lgs. 209/2003	Veicoli fuori uso	DECRETO LEGISLATIVO 24 giugno 2003, n. 209 - Normattiva
		2004				
		2005				
		2006		D.Lgs. 152/2006	Testo Unico sull'ambiente del 3/4/2006 - Approccio non più basato sullo smaltimento dei rifiuti ma sulla loro gestione - VAS, VIA, IPPC - Gerarchia dei rifiuti - Responsabilità estesa del Produttore (principio "chi inquina paga") - Definizione di rifiuto "qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi"	DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 - Normattiva

Fase	Periodo	Anno	Normativa europea	Normativa italiana	NOTE	LINK
			Direttiva 2006/12/CE		Aggiornamento direttiva rifiuti del 5/4/2006	
			Direttiva 2006/66/CE		Direttiva pile e accumulatori	L_26620060926it00010014.pdf (europa.eu)
		2007				
		2008	Direttiva 2008/98/CE		Direttiva Quadro sui Rifiuti - "Waste Framework Directive" (WFD) Aggiornamento delle normative precedenti in un quadro normativo più esteso e organico	L_2008312IT.01000301.xml (europa.eu)
				D.Lgs. 188/2008	Pile e accumulatori	DECRETO LEGISLATIVO 20 novembre 2008, n. 188 - Normattiva
		2009				
		2010				
		2011				
		2012	Direttiva 2012/19/CE		Direttiva RAEE	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019
VII PAA	2013-2020				Europa 2020 «Un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse». Fissa un'agenda strategica per le politiche ambientali e individua nove obiettivi prioritari da realizzare entro il 2020. Contribuisce a diffondere una comprensione comune delle principali sfide ambientali e delle misure da adottare per affrontarle in maniera efficace. Nove priorità: 1. Tutelare, salvaguardare e valorizzare il capitale naturale dell'UE; 2. Creare un'economia UE basata su un uso efficiente delle risorse e a basse emissioni di anidride carbonica; 3. Proteggere i cittadini dell'UE dai rischi ambientali che ne minacciano la salute; 4. Garantire la corretta applicazione della normativa UE in materia di ambiente; 5. Migliorare la base di conoscenze per la politica ambientale; 6. Promuovere gli investimenti nella politica per l'ambiente e il clima, e stabilire prezzi giusti; 7. Integrare i fattori ambientali in tutti i settori politici e rafforzare la coerenza delle politiche stesse; 8. Contribuire a fare in modo che le città europee siano più sostenibili; 9. Rafforzare l'efficacia dell'UE nell'affrontare le sfide ambientali regionali e globali.	
		2013				

Fase	Periodo	Anno	Normativa europea	Normativa italiana	NOTE	LINK
		2014		D.Lgs. 49/2014	Recepimento Direttiva RAEE	DECRETO LEGISLATIVO 14 marzo 2014, n. 49 - Normattiva
		2015				
		2016				
		2017				
		2018	Direttiva 2018/849/CE		PACCHETTO "ECONOMIA CIRCOLARE" EoW e CE Aggiorna le direttive relative ai veicoli fuori uso, a pile e accumulatori e ai RAEE	Direttiva (UE) 2018/ del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica le direttive 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso, 2006/66/CE relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori e 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (europa.eu)
			Direttiva 2018/850/CE		Aggiorna la direttiva sulle discariche	Direttiva (UE) 2018/ del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti (europa.eu)
			Direttiva 2018/851/CE		Aggiorna la direttiva-quadro sui rifiuti	Direttiva (UE) 2018/ del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti (europa.eu)
			Direttiva 2018/852/CE		Aggiorna la direttiva sugli imballaggi	Direttiva (UE) 2018/ del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio (europa.eu)
		2019	Green Deal Europeo		Presentazione progetto	Presentazione del Green Deal europeo
		2020		DLgs 116/2020	Recepimento Direttiva 851/2018 e 852/2018	DECRETO LEGISLATIVO 3 settembre 2020, n. 116 - Normattiva
				DLgs 118/2020	Recepimento Direttiva 849/2018	Gazzetta Ufficiale

Fase	Periodo	Anno	Normativa europea	Normativa italiana	NOTE	LINK
				DLgs 119/2020	Recepimento Direttiva 849/2018	DECRETO LEGISLATIVO 3 settembre 2020, n. 119 - Normattiva
				DLgs 121/2020	Recepimento Direttiva 850/2018	DECRETO LEGISLATIVO 3 settembre 2020, n. 121 - Normattiva
VIII PAA	2021-2030				Accelerare la transizione verde in modo equo e inclusivo, con l'obiettivo a lungo termine per il 2050 di "vivere bene nei limiti del pianeta"Conseguire gli obiettivi di decarbonizzazione al 2030 con la prospettiva della decarbonizzazione al 2050.I sei obiettivi tematici prioritari dell'8ª PAA riguardano la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, l'adattamento ai cambiamenti climatici, un modello di crescita rigenerativo, l'ambizione di azzerare l'inquinamento, la protezione e il ripristino della biodiversità e la riduzione dei principali impatti ambientali e climatici connessi alla produzione e al consumo.	
		2021				
		2022	Green Deal Europeo		Aggiornamento	Proposte per rendere i prodotti sostenibili la norma nell'UE, promuovere modelli di business circolari e responsabilizzare i consumatori per la transizione verde
		2023				

Tabella 14 - Sinottico dell'evoluzione della normativa sui rifiuti sia al livello europeo che italiano

Dati sul riciclo in IT ed EU (ConSORZI et al.)

L'approvazione del Decreto Ronchi, 25 anni fa, ha dato avvio ad un moderno sistema industriale per la gestione dei rifiuti. Il mondo delle imprese e delle organizzazioni del riciclo dei rifiuti in Italia è ormai una realtà rilevante con un ruolo di leadership in Europa: protagonista di un settore portante dell'economia circolare e strategico per la transizione ecologica.

La quantità di rifiuti, di tutte le tipologie, recuperati in Italia negli ultimi venti anni è più che raddoppiata, passando da 30 milioni di tonnellate (Mt) nel 2000 a circa 65 Mt nel 2020, delle quali circa 54 Mt sono state riciclate (FSS, 2022).

Una così ingente quantità di rifiuti riciclati ha dato vita a un settore industriale consistente, composto nel 2020 da ben 4.800 imprese (operando tramite circa 5.400 unità locali), che per i tre quarti fanno del riciclo dei rifiuti la loro attività principale, generando un valore aggiunto ormai rilevante, pari a 10,5 miliardi di euro e impiegando ben 236.365 addetti (FSS, 2022).

Tasso di riciclo dei rifiuti in Europa

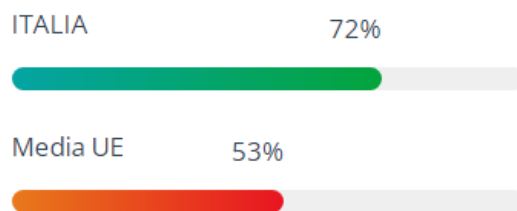


Figura 35 - Tasso di riciclo dei rifiuti in Europa: confronto Italia- Media UE

I numeri dell'industria del riciclo in Italia nel 2020

+ 41,5%

addetti dal 2010 al 2020

+ 31%

valore aggiunto dal 2010 al 2020

Figura 36 - Numeri principali dell'industria del riciclo in Italia

In 25 anni dall'emergenza rifiuti all'eccellenza nel riciclo

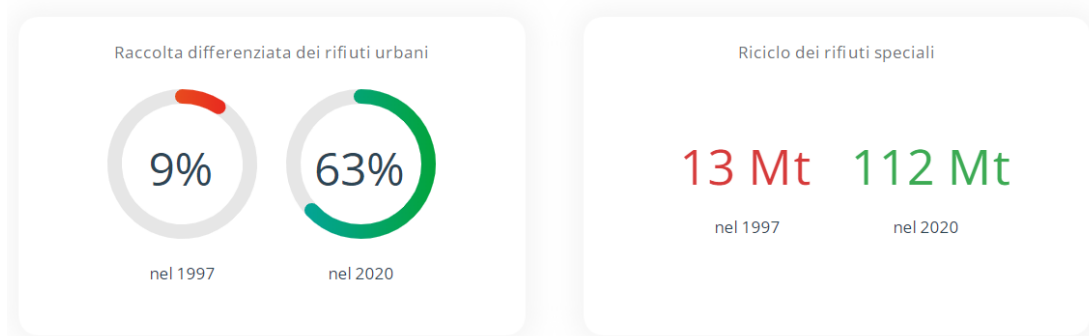


Figura 37 - Confronto 1997-2020 performance del riciclo in Italia

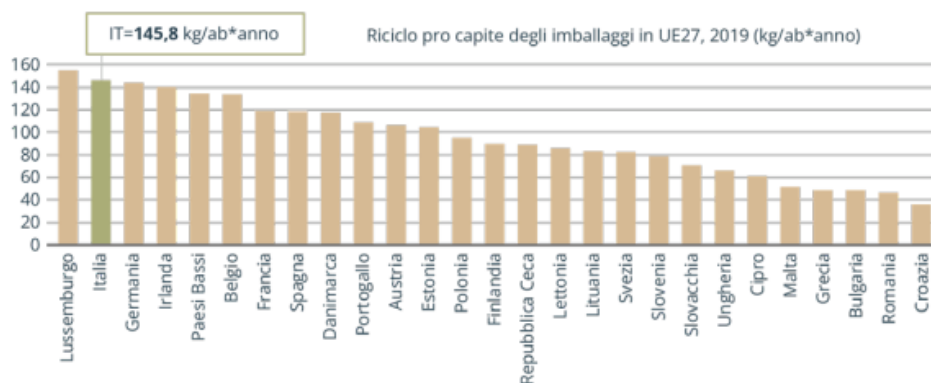


Figura 38 - Performance di riciclo dell'Italia rispetto all'Europa

Inoltre, di seguito riporto una serie di dati che possono aiutare a comprendere gli effetti positivi che si sono verificati in Europa e, in particolare, in Italia in conseguenza del funzionamento sinergico di un sistema industriale, un sistema normativo e un mercato in cui operano stabilmente le aziende del settore (FSS, 2022) (vedi da Figura 39 a Figura 47).

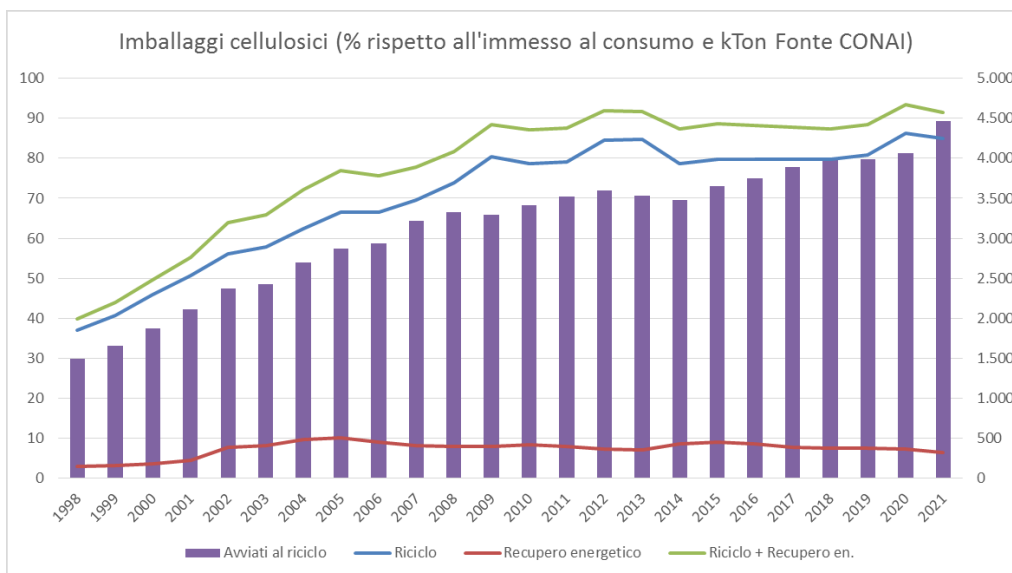


Figura 39 - Imballaggi cellulosici (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)

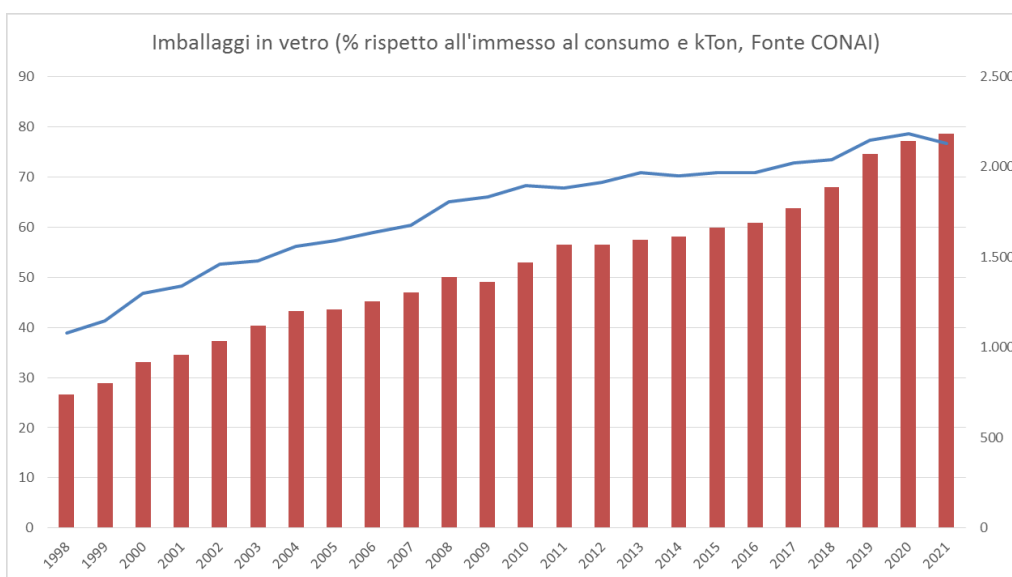


Figura 40 - Imballaggi in vetro (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)

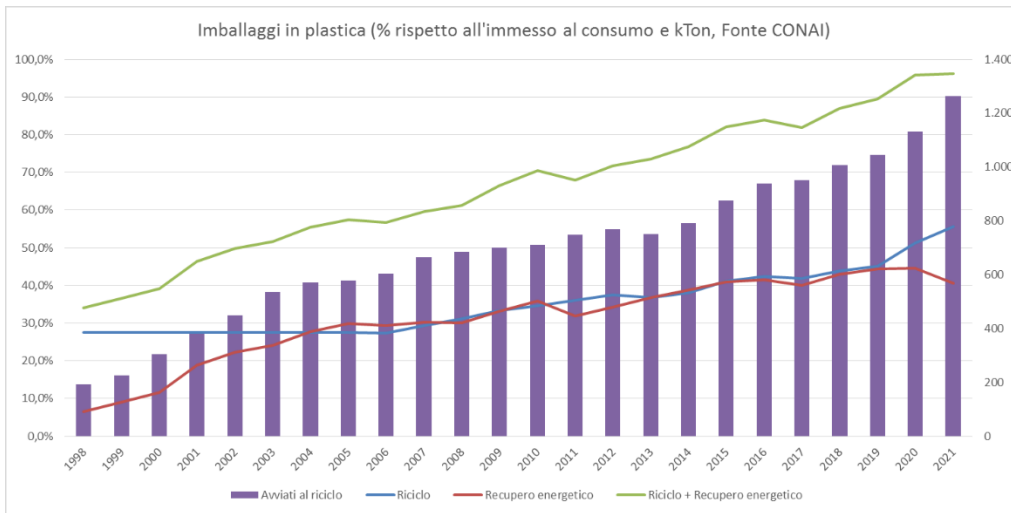


Figura 41 - Imballaggi in plastica (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)

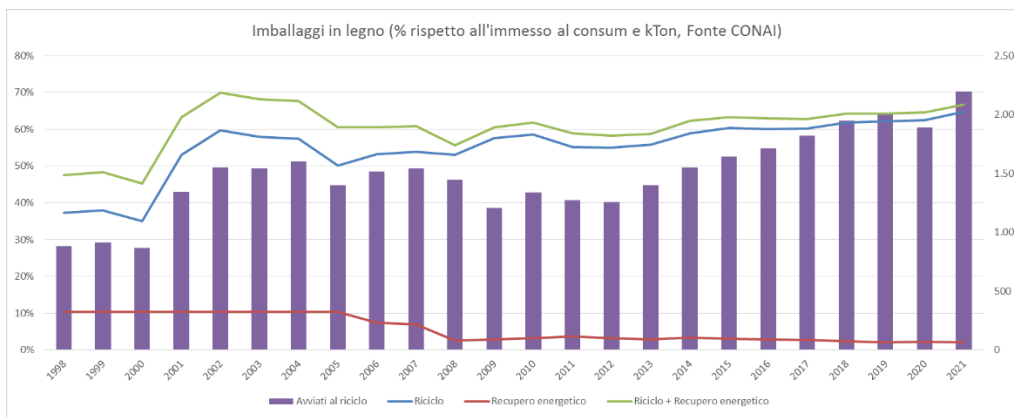


Figura 42 - Imballaggi in legno (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)

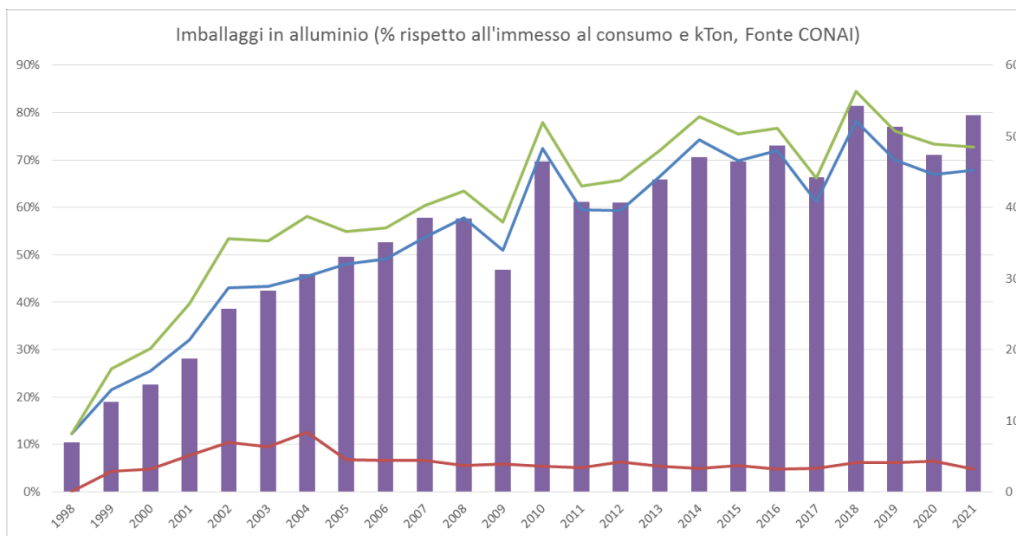


Figura 43 - Imballaggi in alluminio (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)

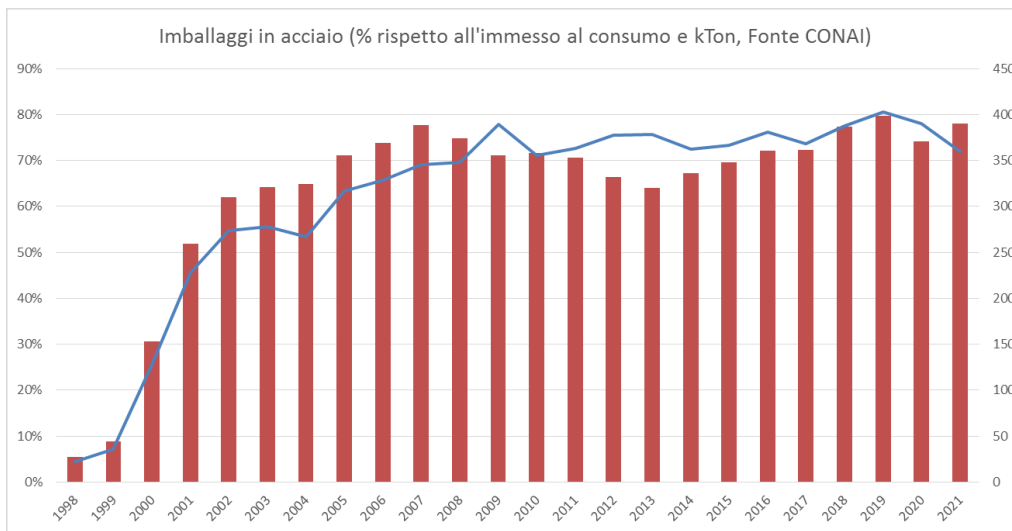


Figura 44 - Imballaggi in acciaio (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte CONAI)

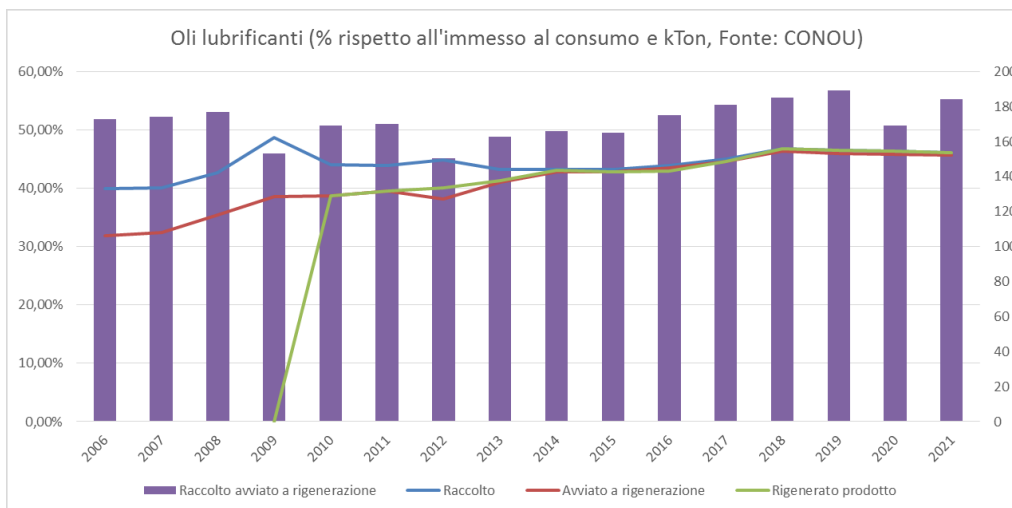


Figura 45 - Oli lubrificanti (% rispetto all'immesso al consumo e kTon, Fonte: CONOU)

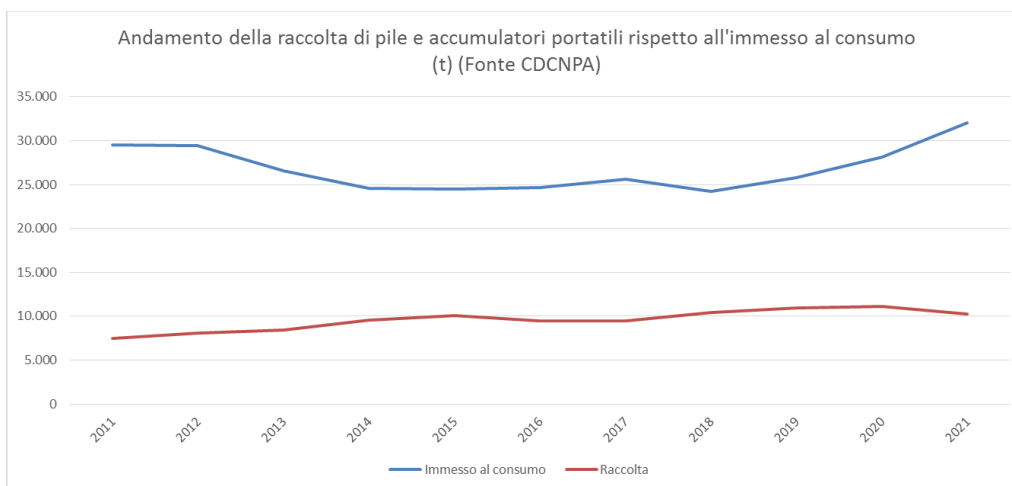


Figura 46 - Andamento della raccolta di pile e accumulatori portatili rispetto all'immesso al consumo (t) (Fonte CDCNPA)

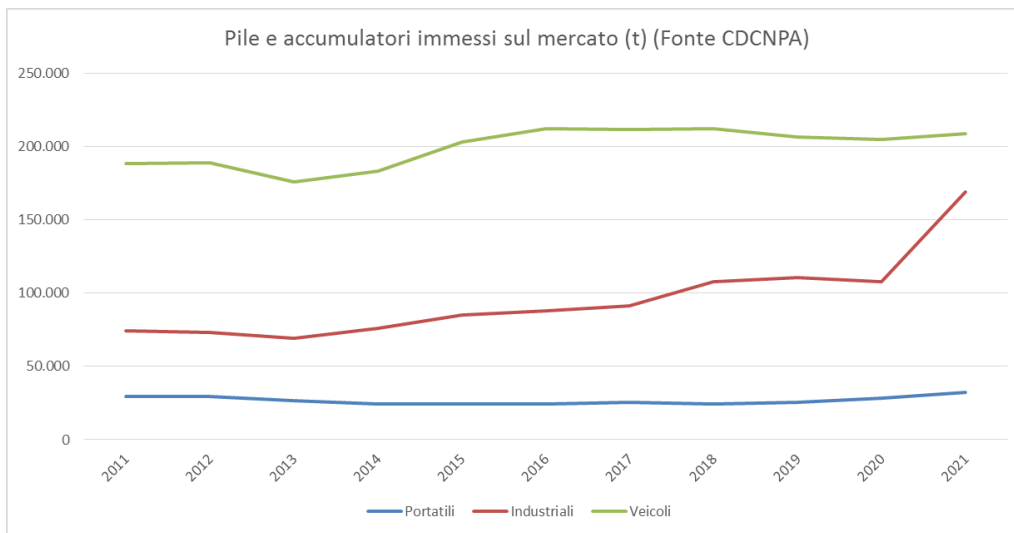


Figura 47 - Pile e accumulatori immessi sul mercato (t) (Fonte CDCNPA)

Per quanto riguarda l'intera EU, ho fatto affidamento sui dati disponibili in formato aperto sul portale dell'Eurostat e di seguito sintetizzati nei due diagrammi delle Figura 48 e Figura 49 e nella Tabella 15.

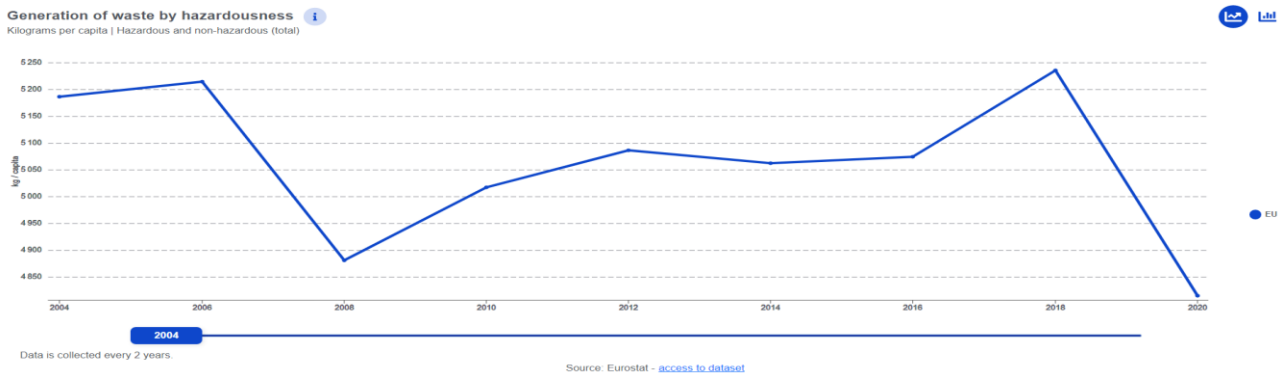


Figura 48 - Generazione pro capite di rifiuti in UE

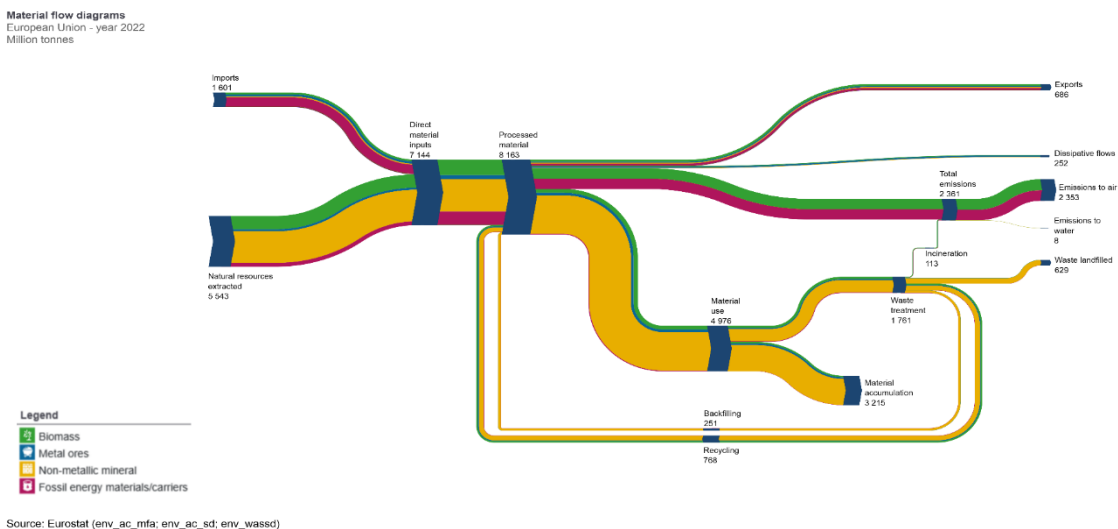


Figura 49 - Diagramma dei flussi di materiali in UE [2022, Mton] [Fonte: Eurostat]

Dataset:	Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations [env_wastrt_cust]									
Time frequency	Annual									
Unit of measure	Tonne									
Hazard class	Hazardous and non-hazardous - Total									
Waste categories	Total waste									
Geopolitical entity (reporting)	European Union - 28 countries (2013-2020)									
	TIME	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
WST_OPER (Labels)										
Waste treatment		2.114.190.000	2.174.340.000	2.214.610.000	2.230.240.000	2.304.630.000	2.316.560.000	2.308.640.000	2.383.700.000	:
Disposal - landfill and other (D1-D7, D8)		1.116.270.000	1.025.220.000	997.240.000	1.042.630.000	1.103.130.000	1.091.150.000	1.054.660.000	1.046.610.000	:
Disposal - landfill (D1, D5, D12)		1.074.660.000	983.970.000	959.580.000	915.740.000	971.920.000	944.900.000	896.710.000	885.000.000	:
Disposal - incineration (D10)		37.700.000	48.080.000	48.580.000	41.700.000	35.810.000	33.410.000	23.290.000	21.660.000	:
Disposal - other (D2-D4, D6-D7)		41.610.000	41.250.000	37.660.000	126.890.000	131.210.000	146.240.000	157.960.000	161.610.000	:
Recovery - energy recovery (R1)		70.450.000	72.120.000	81.330.000	87.390.000	100.850.000	108.910.000	129.180.000	138.190.000	:
Recovery - recycling and backfilling (R2-R7)		889.770.000	1.028.920.000	1.087.460.000	1.058.510.000	1.064.850.000	1.083.100.000	1.101.500.000	1.177.240.000	:
Recovery - recycling		:	:	:	842.920.000	840.730.000	845.880.000	872.830.000	930.430.000	:
Recovery - backfilling		:	:	:	215.590.000	224.120.000	237.210.000	228.670.000	246.810.000	:

Tabella 15 - Volumi in UE di trattamento dei rifiuti [Fonte: Eurostat]

2.4. Discussione delle evidenze empiriche

Il confronto tra gli approcci SI e WM non è semplice soprattutto perché, come già detto, le fonti dei dati sono disomogenee e sono state costruite per finalità differenti. Tuttavia, tenterò il confronto da due punti di vista.

Innanzitutto, adottando una prospettiva di sistema che, dalle rispettive letterature, è emersa essere di grande rilievo per entrambi gli approcci.

In secondo luogo, dal punto di vista quantitativo, la differenza tra i due fenomeni risulta evidente, ma si possono comunque condurre alcune considerazioni in merito all'oggettività del confronto tra i dati.

Da una prospettiva di sistema, il WM, come conseguenza del funzionamento sinergico del relativo sistema industriale, del sistema normativo e di un mercato in cui operano stabilmente le aziende del settore, ha generato, in Europa e, in particolare, in Italia, i numerosi effetti positivi sinteticamente illustrati nel presente capitolo.

Non altrettanto è accaduto nel caso della SI che non è stata supportata da uno specifico quadro normativo e, come evidenziato in Figura 32, ha manifestato la necessità di essere in qualche modo forzata in più dell'81% dei casi analizzati (unione dei casi "facilitati" e dei casi "top-down").

Se appare evidente che il confronto quantitativo sia nettamente sbilanciato con i migliori risultati a favore dell'approccio di tipo WM, non altrettanto chiaro sembra essere il perché esistano tali discrepanze.

Per queste evidenze, con le considerazioni che seguono, formulo alcune possibili spiegazioni in vista dell'analisi più approfondita che sarà condotta nel capitolo seguente con la presentazione del framework di confronto tra i due approcci.

Il tasso di circolarità nell'economia mondiale in cinque anni è passato dal 9,1% al 7,2% (Aguilar-Hernandez et al., 2019) (Circle Economy, 2023). Tra le prime cinque economie dell'UE l'Italia rimane il Paese più circolare d'Europa. Il tasso di utilizzo circolare dei materiali in Italia è al 18,4%, resta più alto della media UE (11,7%) nel 2021 – ultimo dato disponibile – ma eravamo al 20,6% nel 2020 e al 19,5% nel 2019 (dati Fondazione Sviluppo Sostenibile).

È emersa una differenza di almeno due ordini di grandezza (v. Tabella 16) tra la circolarità realizzata, misurata con i diversi indicatori, relativa alle attività di WM e la circolarità realizzata dalle sinergie di SI. Pertanto è possibile supporre che la circolarità in Italia e in Europa sia riconducibile prevalentemente al settore del WM.

	Simbiosi Industriale	Waste Management
Rifiuti trattati	12 Mton/anno	2,4 Gton/anno
Rapporto WM/SI	200	

Tabella 16 - Confronto di sintesi tra i dati quantitativi complessivi di SI e WM

Con il grafico rappresentato nella Figura 50, effettuo un confronto dell'evoluzione temporale delle principali milestones relative a SI e normative EU/IT sulla gestione dei rifiuti. Nel grafico sono rappresentati gli eventi principali che hanno determinato l'evoluzione dei due approcci.

Il fatto che sin dal 1975, sollecitati dal pressante problema della dispersione dei rifiuti nell'ambiente, si siano poste le basi normative per evitare tale dispersione e quindi concentrare l'attenzione sul rifiuto (da correttamente smaltire/trattare/gestire), ha fatto sì che dopo circa cinquant'anni si siano raggiunti i ragguardevoli risultati illustrati.

Osservo che quando nel 2000 Chertow proponeva la sua definizione "capostipite" della SI e, di fatto, il NISP avviava i suoi primi passi, l'evoluzione normativa (prescrittiva) relativa alla gestione dei rifiuti, iniziata ben 25 anni prima con la Direttiva 75/442, era nel pieno della sua maturità evolutiva sia in Europa che in Italia.

In particolare, in Italia, a valle del DPR 915/82 e con il Decreto Ronchi avviato ben tre anni prima del 2000, eravamo già nel pieno della seconda fase delle normative sulla gestione dei rifiuti, con l'introduzione di principi di gestione dei rifiuti per l'epoca molto innovativi e, per le aziende, con obblighi prescrittivi di corretto trattamento e di conferimento di alcuni tipi di rifiuti particolarmente utilizzati ed impattanti.

Questo insieme di attività, realizzate al tempo stesso sia sul fronte normativo che su quello industriale, è stato realizzato, in ambito WM, senza l'obiettivo dichiarato di voler realizzare alcuna forma di circolarità (di cui, in effetti, nella letteratura sul WM esiste poca traccia) o ancor meno di simbiosi industriale (di cui nella letteratura sul WM non sembra esistere traccia) ma solo con l'obiettivo (iniziale) di voler attuare misure volte ad arginare/risolvere il problema della dispersione dei rifiuti nell'ambiente e del conseguente inquinamento.

Nel caso della SI, che sembra collocarsi nella parte più alta della WH (riduzione, riuso), gli esempi di realizzazione di sinergie sono in gran parte attribuibili all'azione di facilitazione di consulenti che agevolano l'incontro tra domanda e offerta.

Come risulterà più evidente dall'analisi svolta nel capitolo seguente, i risultati ottenuti dalla SI appaiono essere ben lontani da quelli del WM, anche perché quella dell'emersione di un rapporto simbiotico è una fase particolarmente critica e delicata che richiede molto tempo e molto sforzo di facilitazione.

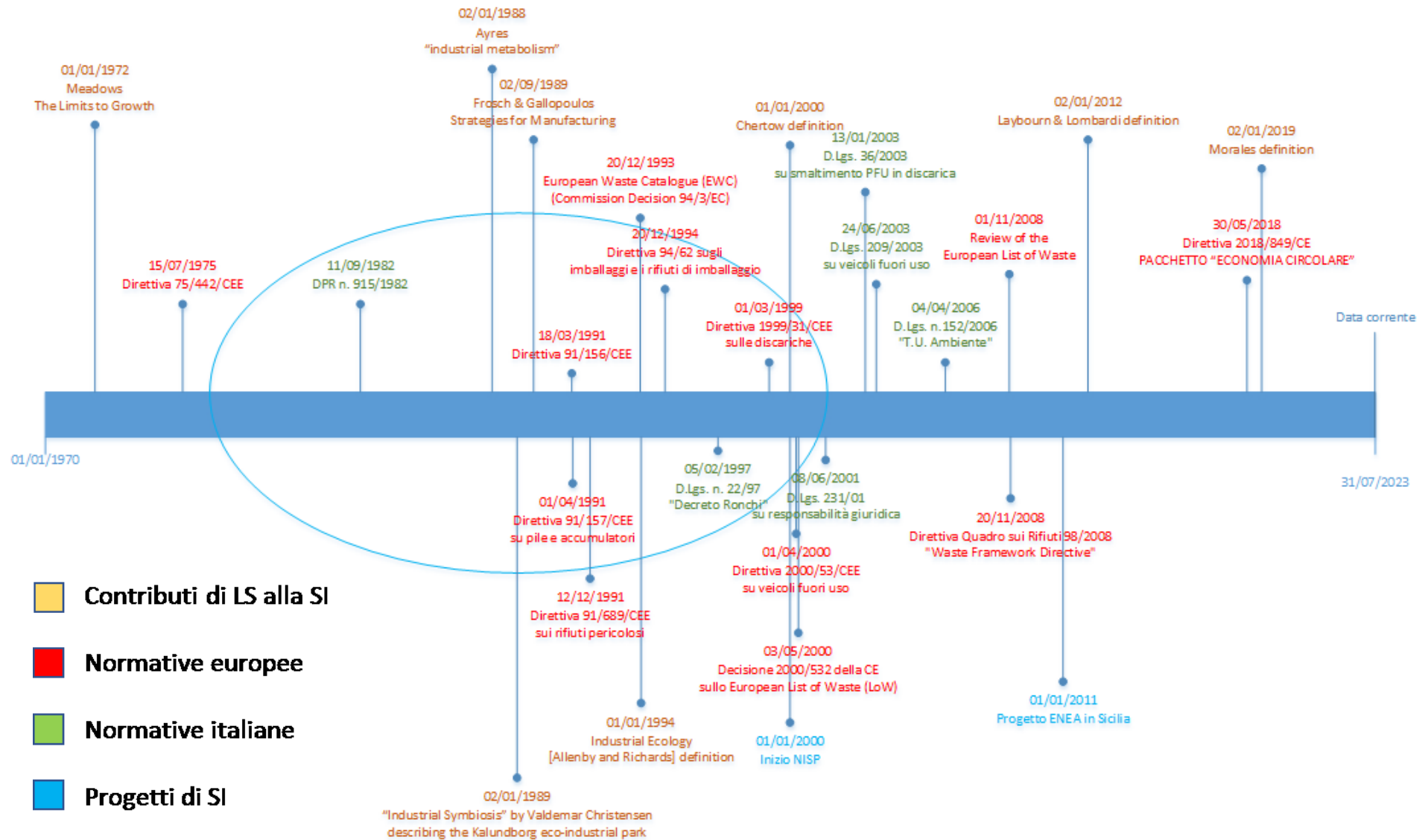


Figura 50 - Confronto della evoluzione temporale delle principali milestones relative a SI, normative EU/IT sulla gestione dei rifiuti e progetti in ambito SI

3. Proposte per l'integrazione di SI e WM e per la scalabilità delle reti di circolarità

3.1. Framework generale di confronto tra SI e WM

Per meglio comprendere perché il WM abbia ottenuto i risultati migliori, imposto un confronto di sintesi tra i due approcci basato sull'unità di analisi scelta e cioè la realizzazione della circolarità.

In particolare, eseguo il confronto dalla prospettiva della teoria dei costi di transazione, attribuendo, alle variabili "Costo di transazione" e "Costo di produzione" i seguenti valori:

- Costo di transazione: Alto/Basso
- Costo di produzione: Alto/Basso

L'attribuzione dei valori è effettuata in parte su base soggettiva ancorché basata sulla letteratura consultata.

Tale letteratura, sopra ampiamente discussa, ha consentito di attribuire il valore (qualitativo e su scala semplificata alto/basso) alle variabili su cui è stato impostato il confronto.

In particolare, dal punto di vista della teoria dei costi di transazione, effettuo il confronto tra azienda A (ovvero B) rispettivamente nei casi di SI e WM, come riportato nel seguente sinottico di riepilogo.

Azienda	Approccio di tipo SI	Approccio di tipo WM
Azienda A (cede il rifiuto) oppure Azienda B (riceve il rifiuto)	Collegamento diretto tra A e B	Collegamento indiretto tra A e B per il tramite di un soggetto che gestisce il rifiuto al fine di rivalorizzarlo cioè da renderlo ancora utilizzabile come MPS da parte di un'altra azienda. Nel caso più semplice, tale operazione si limita a una mera funzione logistica di raccolta del rifiuto da N soggetti di tipo A che lo producono per trasferire il rifiuto a M soggetti di tipo B che lo ricevono per utilizzarlo.

La strutturazione dei contenuti della tabella di confronto è effettuata con riferimento agli esiti della letteratura ampiamente illustrati nelle sezioni precedenti e riportati di seguito in forma schematica.

In particolare, riporto di seguito il dettaglio delle barriere, dei principi core e delle criticità, individuati nei paragrafi precedenti a partire dalla LS esistente e che ho utilizzato nel confronto.

Barriere, come in (Golev et al., 2015)

- Normative
- Economiche
- Tecniche
- Cooperazione
- Informative

- Community

Barriere secondo l'indagine su SI di (R. Lombardi, 2017)

- Process barriers
- Regulatory barriers
- Financial barriers
- Transport barriers
- Lack of information regarding alternative feedstock/inputs
- Lack of time to implement solutions
- Long timeframe for implementation of solutions
- Coordination barriers
- Concerns about confidentiality
- Gaining approval from relevant authorities
- Contractual barriers
- Logistical barriers

Principi core specifici di SI, come da LS (v. par 1.4)

- Geographical proximity
- Traditionally separated industries and economically independent industries
- Physically exchanging the materials, water, energy, by-products, infrastructure and services
- Cooperative and collaborative management of the resource flows
- Actors have different influences on each other's actions and outcomes
- Creating and sharing knowledge and expertise
- Exchange of non-material resources (knowledge, expertise and technology)
- Willingness of industries to collaborate based on past events and commitments
- Adopting ecoinnovative and cultural belongings
- Create a complete industrial ecosystem

Principi core di EC/SI, dal confronto effettuato in par. 1.4

- Reduce
- Reuse
- Recycle
- Recover
- Waste hierarchy
- Supply/value chains
- System perspective
- System change / paradigm shift
- Restorative/regenerative
- Renewable resources
- Technical/biological cycles

Criticità legate al funzionamento di una supply chain circolare (v. par. 1.2)

- Strategia delle operazioni per le reti di SI
- Mismatch quantitativo tra domanda e offerta di rifiuti
- Variabilità qualitativa e quantitativa dei flussi di rifiuti
- Vulnerabilità delle operazioni di una rete di SI rispetto a eventi dirompenti
- Effetti dovuti a oscillazione/variabilità nelle reti simbiotiche
- Problemi di disallineamento delle remunerazioni nelle reti di SI
- Strategie di ridondanza per le sinergie di SI
- Sincronizzazione degli scambi di rifiuti tra più fornitori e acquirenti

- Strategie per la gestione delle scorte di rifiuti e sottoprodotti
- Sistemi di produzione e distribuzione nelle reti di SI
- Sincronizzazione logistica tra aziende nelle reti di SI
- Condivisione delle informazioni tra partner della rete simbiotica

Inoltre, la tabella è strutturata nei seguenti campi:

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
---	----------------------	------------------------	---	---	---	---

Gli "Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi" sono rappresentati dall'elenco costruito e riportato sopra.

Il "Tipo di COSTO" si riferisce alla distinzione sopra riportata tra "Costo di transazione" e "Costo di produzione".

La "CAUSA del COSTO" si riferisce, coerentemente alla teoria, ad una delle quattro possibili cause dei costi di transazione o di produzione e cioè: asimmetria informativa; opportunismo (azzardo morale); razionalità limitata; investimenti specifici.

La "Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI" assume i valori qualitativi "Alto/Basso".

La "Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI" riporta una breve descrizione del motivo per cui ho scelto di attribuire il particolare valore alla variabile precedente.

La "Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM" assume i valori qualitativi "Alto/Basso".

La "Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM" riporta una breve descrizione del motivo per cui ho scelto di attribuire il particolare valore alla variabile precedente.

Segue la Tabella 17 della comparazione qualitativa tra i costi di transazione / produzione per l'azienda A che cede il rifiuto (oppure per l'azienda B che riceve il rifiuto) nei due casi di approccio di tipo SI e di approccio di tipo WM.

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
<i>Barriere, come in (Golev et al., 2015)</i>						
Normative	Transaz.		Alto	Le norme sono spesso una barriera	Basso	Le norme e l'aderenza a standard di settore sono spesso un driver
Economiche	Transaz.		Basso	Le transazioni avvengono sulla base di un accordo ad-hoc	Basso	Le transazioni avvengono sul mercato
Tecniche	Transaz./ Produz.	investimenti specifici	Basso		Basso	
Cooperazione	Transaz.	razionalità limitata; asimmetria informativa	Alto	La cooperazione è da costruire ad-hoc	Basso	La cooperazione avviene come con un qualunque partner sul mercato
Informativo	Transaz.	asimmetria informativa	Alto	La condivisione ad-hoc delle informazioni potrebbe essere molto delicata da effettuare	Basso	La condivisione delle informazioni è quella strettamente necessaria per poter transare/negoziare sul mercato
Community	Transaz.		Alto	La maturazione di valori in una comunità è un processo lungo e difficile	Basso	Non è necessaria una condivisione di valori in una comunità per poter operare sul mercato
<i>Barriere secondo l'indagine su SI di (R. Lombardi, 2017)</i>						
Process barriers	Transaz.	investimenti specifici	Alto	I processi relativi a specifiche ISR non sono mappati in generale ma vengono costruiti ad-hoc di volta in volta	Basso	I processi di trattamento dei rifiuti sono mappati in generale e, in particolare, ne sono noti a-priori gli aspetti di implementazione

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
Regulatory barriers	Transaz.		Alto	Le norme sono spesso una barriera	Basso	Le norme e l'aderenza a standard di settore sono spesso un driver
Financial barriers	Transaz./Produz.		Alto	Una nuova ISR realizzata ad-hoc, può comportare costi di avvio che possono essere più onerosi se non suddivisi tra più ISR	Basso	Gli aspetti finanziari legati all'avvio di una impresa che tratta rifiuti, sono minimizzati, come per ogni impresa, realizzando economie di scala
Transport barriers	Transaz./Produz.	investimenti specifici	Alto	Gli ostacoli di tipo normativo si considerano inclusi nella relativa barriera. Le difficoltà di tipo tecnico-economico sono relative alla realizzazione di una logistica ad-hoc su numeri contenuti.	Basso	La logistica si intende realizzata e ottimizzata, all'interno dell'opportuno contesto normativo, come per ogni azienda.
Lack of information regarding alternative feedstock/inputs	Transaz.	asimmetria informativa	Alto	È un problema legato al fatto che non esiste un mercato pubblico ed ufficiale relativo alle iniziative di SI che rimangono un fenomeno chiuso all'interno della singola iniziativa di ISN	Basso	All'interno di un opportuno contesto normativo, sono note le iniziative imprenditoriali che gestiscono rifiuti per trasformarle in MPS da re-immettere sul mercato come tali
Lack of time to implement solutions	Transaz.	razionalità limitata	Alto	Le iniziative di SI sono viste come un qualcosa di aggiuntivo rispetto allo scopo aziendale	Basso	Le iniziative di trattamento dei rifiuti sono lo scopo aziendale
Long timeframe for implementation of solutions	Transaz.	razionalità limitata investimenti specifici	Alto	La maggior parte delle iniziative di SI sono di tipo facilitato e la realizzazione di un dialogo da costruire ad-hoc tra numerosi attori è un	Basso	Il problema si pone solo all'avvio dell'impresa. Per l'operatività successiva, il problema non si pone

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
				aspetto molto time-consuming		
Coordination barriers	Transaz. /Produz.	razionalità limitata	Alto	La maggior parte delle iniziative di SI sono di tipo facilitato e la componente di coordinamento è fondamentale	Basso	Il problema non si pone perché le aziende si coordinano allo stesso modo di tutte le aziende presenti sul mercato che interagiscono tra loro
Concerns about confidentiality	Transaz. /Produz.	asimmetria informativa	Alto	La realizzazione "artigianale", ad-hoc, di ISR comporta questo tipo di problema proprio perché bisogna realizzare collegamenti tra imprese specifiche	Basso	Il problema non si pone perché l'interazione tra le imprese è realizzata mascherando le informazioni sensibili perché non è necessario condividerle
Gaining approval from relevant authorities	Transaz.		Alto	v. barriera normativa di cui è un caso particolare	Basso	v. barriera normativa di cui è un caso particolare
Contractual barriers	Transaz. /Produz.		Alto	v. barriere normative e finanziarie di cui è un caso particolare	Basso	v. barriere normative e finanziarie di cui è un caso particolare
Logistical barriers	Transaz. /Produz.	investimenti specifici	Alto	v. ostacoli di trasporto di cui può rappresentare una possibile generalizzazione	Basso	v. ostacoli di trasporto di cui può rappresentare una possibile generalizzazione
<i>Principi core specifici di SI, come da LS (v. par 1.4)</i>						
Geographical proximity	Transaz. /Produz.		Alto	Indispensabile per la condivisione di energia. Limitativa, a parere di alcuni, per gli scambi di materiali	Basso	Non è mai stata neppure considerata come un fattore limitante
Traditionally separated industries and	n.a.		?	Potrebbe non essere considerato un vincolo stringente. Per esempio, nel	?	Il tema non sembra essere stato mai preso in considerazione per la finalità

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
economically independent industries				caso di aziende appartenenti ad un gruppo, la realizzazione di una ISR potrebbe avvenire proprio perché il dialogo e gli scambi fisici sarebbero semplificati per via gerarchica		del trattamento dei rifiuti e della loro commercializzazione come MPS
Physically exchanging the materials, water, energy, by-products, infrastructure and services	Transaz. /Produz.		n.a.	Non può avvenire in altro modo	n.a.	Non può avvenire in altro modo
Cooperative and collaborative management of the resource flows	Transaz. /Produz.	razionalità limitata	Alto	La gestione cooperativa e collaborativa richiede un maggiore sforzo organizzativo	Basso	I flussi delle risorse vengono gestiti al pari di altri flussi sul mercato
Actors have different influences on each other's actions and outcomes	Transaz. /Produz.	razionalità limitata	Alto	È un tema legato ad un dialogo continuo che non sempre è facile tenere in vita	Basso	Il dialogo tra gli attori avviene allo stesso modo della relazione tra partner che operano all'interno di un mercato
Creating and sharing knowledge and expertise	Transaz. /Produz.	asimmetria informativa	Alto	È un processo lungo, impegnativo e delicato per il quale non sempre esistono le condizioni al contorno per garantirne l'ottimale funzionamento,	Basso	Non è strettamente richiesto all'interno di una relazione di scambio commerciale che avviene sul mercato
Exchange of non-material resources (knowledge, expertise and technology)	Transaz. /Produz.	asimmetria informativa	Alto	È un processo lungo, impegnativo e delicato per il quale non sempre esistono le condizioni al contorno per garantirne l'ottimale funzionamento,	Basso	Non è strettamente richiesto all'interno di una relazione di scambio commerciale che avviene sul mercato

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
Willingness of industries to collaborate based on past events and commitments	Transaz.		Basso	È una prassi molto diffusa in ogni contesto ed è legata alla creazione del trust tra gli attori	Basso	È una prassi molto diffusa in ogni contesto ed è legata alla creazione del trust tra gli attori
Adopting ecoinnovative and cultural belongings	Transaz.	razionalità limitata	Alto	La creazione di un contesto culturale di riferimento è molto importante ma è di difficile attuazione	Basso	Non è un requisito strettamente necessario per un'azienda che tratta rifiuti per poter restare all'interno di un mercato
Create a complete industrial ecosystem	Transaz.	razionalità limitata	Alto	La creazione di un completo ecosistema industriale (al pari di quanto succede negli eco-parchi), è una sfida molto difficile da vincere.	Basso	Non è un requisito strettamente necessario per un'azienda che tratta rifiuti per poter restare all'interno di un mercato
<i>Principi core di EC/SI, dal confronto effettuato in par. 1.4</i>						
Reduce	Transaz./ Produz.		n.a.	Di interesse per la SI	n.a.	Non è di interesse diretto per il WM
Reuse	Transaz./ Produz.		n.a.	Di interesse per la SI	n.a.	Non è di interesse diretto per il WM
Recycle	Transaz./ Produz.		n.a.	Non è di interesse diretto per la SI	n.a.	Di interesse per il WM
Recover	Transaz./ Produz.		n.a.	Non è di interesse diretto per la SI	n.a.	Di interesse per il WM
Waste hierarchy	Transaz./ Produz.		n.a.	Di interesse per la SI	n.a.	Di interesse per il WM
Supply/value chains	Transaz./ Produz.		n.a.	Di interesse per la SI	n.a.	Di interesse per il WM

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
System perspective	Transaz.	razionalità limitata	Alto	Di interesse per la SI e di difficile conseguimento	Basso	Non è di interesse diretto per il WM
System change / paradigm shift	Transaz.		Alto	Di interesse per la SI ma di difficile conseguimento	Basso	Non è di interesse diretto per il WM che è prevalentemente guidata dalla obbligatorietà delle norme
Restorative/regenerative	Transaz./ Produz.		Alto	Di interesse per la SI ma di difficile conseguimento anche perché oneroso	Alto	Di interesse per il WM ma di difficile conseguimento anche perché oneroso
Renewable resources	Transaz./ Produz.		Alto	Di interesse per la SI ma di difficile conseguimento anche perché oneroso	Alto	Di interesse per il WM ma di difficile conseguimento anche perché oneroso
Technical/biological cycles	Transaz./ Produz.		Alto	Innovazione di processo non di interesse diretto per la SI (ambito delle tecniche di riciclo)	Alto	Innovazione di processo di interesse per il WM ma di difficile conseguimento anche perché onerosa
<i>Criticità legate al funzionamento di una supply chain circolare (v. par. 1.2)</i>						
Strategia delle operazioni per le reti di SI	Transaz./ Produz.		Alto	È indispensabile mettere a punto una "Operations strategy" per la rete simbiotica	Basso	Non esiste una stretta necessità di mettere a punto una rete e quindi neanche una strategia relativa
Mismatch quantitativo tra domanda e offerta di rifiuti	Transaz./ Produz.		Alto	È documentato in LS che le reti simbiotiche tendono ad essere sistemi abbastanza rigidi e poco adattativi per i quali tali mismatch possono verificarsi	Basso	L'equilibrio tra la domanda e l'offerta dei rifiuti è affidato al mercato

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
Variabilità qualitativa e quantitativa dei flussi di rifiuti	Produz.		Alto	Come al punto precedente	Basso	Come al punto precedente
Vulnerabilità delle operazioni di una rete di SI rispetto a eventi dirompenti	Produz.	razionalità limitata	Alto	La rigidità della rete di SI la rende poco resiliente agli eventi dirompenti	Basso	La resilienza è demandata al mercato
Effetti dovuti a oscillazione/variabilità nelle reti simbiotiche	Produz.	razionalità limitata	Alto	Come al punto precedente	Basso	Come al punto precedente
Problemi di disallineamento delle remunerazioni nelle reti di SI	Transaz./ Produz.	opportunismo (azzardo morale)	Alto	Una catena di approvvigionamento funziona bene solo se i rischi, i costi e i benefici sono distribuiti equamente nella rete e questo è un importante problema nelle reti di SI	Basso	Un'azienda che tratta rifiuti non è detto che debba preoccuparsi di ciò che succede al livello di rete
Strategie di ridondanza per le sinergie di SI	Transaz./ Produz.		Alto	La ridondanza può contribuire in modo decisivo nello stabilizzare il funzionamento di una rete di SI	Basso	La ridondanza è affidata al mercato
Sincronizzazione degli scambi di rifiuti tra più fornitori e acquirenti	Transaz./ Produz.		Alto	La sincronizzazione degli scambi può contribuire in modo decisivo nel funzionamento di una rete di SI	Basso	È un tema demandato allo spontaneo equilibrio degli scambi al livello del mercato
Sincronizzazione logistica tra aziende nelle reti di SI	Transaz./ Produz.		Alto	Come nel caso precedente	Basso	Come nel caso precedente
Strategie per la gestione delle scorte di rifiuti e sottoprodotti	Transaz./ Produz.		Alto	È un tema che riguarda i singoli ma anche la rete nel suo complesso	Basso	È un tema demandato perlopiù ai singoli e quindi di più semplice gestione

Abilitatori, ostacoli, aspetti costitutivi	Tipo di COSTO	CAUSA del COSTO	Valutazione del costo per l'approccio di tipo SI	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo SI	Valutazione del costo per l'approccio di tipo WM	Motivazione della valutazione per l'approccio di tipo WM
Sistemi di produzione e distribuzione nelle reti di SI	Produz.		Alto	A volte è necessario rivisitare i sistemi di produzione e distribuzione per poterli meglio adattare alle esigenze della rete di SI	Basso	Tema non sentito
Condivisione delle informazioni tra partner della rete simbiotica	Transaz./ Produz.	asimmetria informativa	Alto	Tipico tema molto delicato da risolvere	Basso	Le informazioni da condividere sono solo quelle strettamente necessarie per la realizzazione delle transazioni

Tabella 17 - Tabella della comparazione qualitativa tra i costi di transazione / produzione per l'azienda A che cede il rifiuto (oppure per l'azienda B che riceve il rifiuto) nei due casi di approccio di tipo SI e di approccio di tipo WM

Dal confronto effettuato in Tabella 17 emerge il risultato che evidenzia come, sulla base dei criteri di confronto tra SI e WM presenti in letteratura, l'approccio SI sia molto più costoso dell'approccio WM (Tabella 18).

	Approccio di tipo SI	Approccio di tipo WM
Costi alti	40	3
Costi bassi	3	40

Tabella 18 - Esiti del confronto tra gli approcci SI e WM basato sui costi di transazione

Sinottico di sintesi del confronto sinora sviluppato

Dell'analisi sinora condotta, nel seguente prospetto sinottico, effettuo un riepilogo dei principali esiti che, pur emergenti da un'analisi qualitativa, propongo siano considerati come determinanti rilevanti della evidente discrepanza tra i risultati conseguiti dall'approccio di tipo WM rispetto all'approccio di tipo SI (Tabella 19).

Dimensione di analisi	Approccio di tipo SI	Approccio di tipo WM
Definizione	È un approccio relativamente giovane, non del tutto maturo teoricamente. In letteratura non esiste una definizione unica e condivisa di SI.	È un approccio consolidato rispetto al quale si rileva un'ampia convergenza dalla comunità scientifica su definizioni, metodi, tecniche e strumenti.
Posizionamento rispetto alla WH	È collocato prevalentemente sulla parte alta della WH e cioè sulle strategie di RIDUZIONE e di RIUSO. Come conseguenza, escluderebbe dal suo campo di azione tutti quei rifiuti che richiedono un trattamento intermedio (RICICLO).	È allocato prevalentemente sulla parte bassa della WH e cioè sulle strategie di RICICLO, RECUPERO energetico e SMALTIMENTO in discarica.
Focus	Creazione di dialogo e relazioni tra le imprese con l'obiettivo di realizzare le sinergie. In conseguenza di ciò, l'interazione tra N attori viene vista come una potenziale rete di $O(N^2)$ relazioni e gestita come tale dai facilitatori che ne costruiscono i potenziali match. Lo schema topologico di riferimento della rete è di tipo N-M.	Gestione del rifiuto (modalità e tecnologie per il suo trattamento). Tale gestione viene realizzata generalmente da imprese terze (rispetto ai soggetti che producono e utilizzano il rifiuto), che operano nel mercato all'interno di un contesto normato sia da leggi che da standard di settore. Lo schema topologico di riferimento della rete è di tipo N-1-M.
Modalità di implementazione	Le linee guida per l'attuazione della SI sono in una fase embrionale di standardizzazione.	Sono noti e attuati metodi, tecniche e strumenti rispetto a normative e standard industriali di settore.
Livello di sviluppo	Fondamentale "artigianalità" sia nella fase di emersione che in quella di funzionamento a regime. Necessita di interventi di tipo "sartoriale" come quelli che possono essere garantiti dall'intervento dei facilitatori.	Fondamentale "industrializzazione" raggiunta dalle imprese del settore. È in costante crescita il numero di rifiuti e di contesti industriali rispetto ai quali si è in grado di operare con metodologie "industrializzate".

Prospettiva di sistema	<p>L'avvio di una rete di simbiosi e il suo funzionamento costituisce una storia unica a sé stante.</p> <p>Pertanto, per ogni rete/contesto esiste un nuovo avvio cioè una nuova procedura di matchmaking in un differente contesto geografico.</p> <p>La rete di simbiosi difficilmente può operare in contesti differenti da quello per il quale è stata creata.</p> <p>La struttura non è modulare e tendenzialmente non è valida per ogni situazione.</p> <p>Il dibattito sulla esportabilità e sulla replicabilità delle esperienze di SI è ancora molto aperto</p>	<p>Avviare una impresa del settore consiste in un tradizionale compito di creazione di impresa.</p> <p>Tale impresa può poi operare in differenti contesti.</p>
Normative e standard di settore	<p>La normativa è spesso un ostacolo.</p> <p>Uno standard di sviluppo della SI è in fase embrionale</p>	<p>La normativa e gli standard sono rispettati e sono un driver</p>
Estensione di mercato	<p>Un "mercato" aperto di fatto non esiste.</p> <p>Un "micro-mercato" può essere considerato coincidente con la rete simbiotica.</p> <p>La strutturale chiusura delle reti di SI (che sono tendenzialmente circoscritte) fa sì che ci sia minore possibilità di sviluppo e minore resilienza perché il sistema è piccolo, rigido e chiuso.</p>	<p>Importante presenza sul mercato delle aziende di settore.</p> <p>Ciò fa teoricamente coincidere l'estensione della loro rete potenziale con la grandezza del mercato su cui operano.</p> <p>Pertanto il settore del WM si è sviluppato molto ed è resiliente perché ha molte più possibilità di flessibilità e di riconfigurazione delle relazioni rispetto agli stimoli esterni.</p>
Risultati conseguiti	<p>Non ha realizzato i risultati che ci si attendeva.</p> <p>In particolare, da tre punti di vista:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) entità dei risultati economico/ambientali; 2) diffusione a livello geografico delle pratiche di SI rispetto anche al numero di aziende coinvolte; 3) lentezza e complessità con cui i risultati vengono conseguiti 	<p>Molto soddisfacenti, dal punto di vista quantitativo, sia al livello nazionale che europeo (superiori alla media europea tranne che nel settore dei RAEE).</p> <p>La diffusione al livello geografico e la rapidità di emersione delle relazioni, seguono gli andamenti del mercato</p>

Tabella 19 - Sinottico di sintesi del confronto tra SI e WM basato sui costi di transazione

3.2. Proposta di nuova definizione di Simbiosi Industriale

Per quanto ho finora evidenziato, appare opportuno individuare gli aspetti fondamentali degli approcci SI e WM in modo da costruire un framework che li integri secondo una prospettiva comune rispetto ai temi della realizzazione della circolarità e della gerarchia dei rifiuti.

Pertanto, sulla base di quanto concluso nei paragrafi precedenti, nel seguito propongo una definizione di SI e identifico alcuni aspetti chiave validi per la elaborazione del framework unico di SI, WM e WH.

Proposta di definizione di SI

La SI identifica la potenziale circolarità tra le imprese e la realizza anche considerando lo stato dell'arte di metodologie e tecniche relative alla prevenzione e alla gestione dei rifiuti.

Identifica processi, metodologie, tecniche e strumenti di interesse degli specifici contesti industriali per realizzare la circolarità, valutandone la convenienza economica, ambientale e sociale.

In tal senso, con riferimento alla gerarchia dei rifiuti e alle strategie "R", pone enfasi sulle fasi della "prevenzione" e della "preparazione per il riuso".

Nella definizione proposta, la SI svolge ruolo trasversale di integrazione di sistema mentre il WM svolge un ruolo verticale centrato sul trattamento del rifiuto. Tale definizione identifica una Simbiosi Industriale basata sull'utilizzazione dei risultati della gestione dei rifiuti (Waste Management based Industrial Symbiosis, WMbIS), con l'obiettivo di realizzare la circolarità.

3.3. Modello per l'integrazione di SI, WM e WH

Aspetti chiave del modello integrato che facilitino la scalabilità della circolarità

Dall'analisi effettuata e con riferimento alla definizione data di SI, ritengo che i seguenti cambiamenti emergano come cruciali rispetto alla possibilità che gli approcci SI, WM e WH possano essere integrati in un unico modello per facilitare la scalabilità della circolarità sia di tipo quantitativo che geografico.

Innanzitutto però ritengo importante rivisitare il concetto di mantenimento in vita del valore del cd. "rifiuto", arricchendolo di un ulteriore aspetto, nel concetto di "rivalorizzazione (revalue)" del rifiuto. La rivalorizzazione del rifiuto prevede di riportare il rifiuto in una condizione nella quale possa continuare ad essere proficuamente utilizzato da altri attori. Pertanto, mutuando il concetto di sviluppo polifunzionale delle cellule staminali, potremmo dire che il cd. "rifiuto" viene "ri-staminalizzato" cioè ritorna ad essere utile per un'altro insieme di nuovi impieghi.

Da questo punto di vista, il concetto di rivalorizzazione del rifiuto, supera p.es. la distinzione tra riuso e riciclo per approdare ad un concetto più generale che è quello della ri-staminalizzazione di un materiale che viene riportato in condizioni tali da poter essere re-impiegato in altri contesti.

In Tabella 20 riporto un sinottico dei cambiamenti utili per costruire un modello integrato tra SI, WM e WH.

SI-WM	Esigenza	As-Is	To-Be	Commento
SI	<p>Rendere:</p> <ul style="list-style-type: none"> - spontanea (non forzata) - rapida <p>l'emersione della SI</p>	<p>Il focus è sulla costruzione della relazione tra le imprese. L'emersione viene sollecitata dall'esterno perlopiù con l'intermediazioni e di facilitatori che guidano il cambiamento e quindi è lenta.</p>	<p>Il focus è sul rifiuto. Il processo intermedio di "rivalorizzazione" del rifiuto è funzione sia del rifiuto (W, input) che del suo reimpiego (MPS, output)</p> <p>Per ogni tipo di rifiuto, emerge un terzo attore intermedio che rende indistinguibile il nuovo flusso (MPS) rispetto al vecchio flusso (MPV) sia per l'azienda che cede il rifiuto, che per quella che lo riceve.</p>	<p>Il terzo attore sostituisce il ruolo del facilitatore, in una logica di mercato. La chiusura del ciclo, effettuata mediante attori specializzati operanti sul mercato, consente di risolvere il tema tecnico-economico e anche il tema normativo. Viene minimizzato il cambiamento organizzativo di processi, soluzioni, tecnologie, ecc., sia per l'azienda che cede il rifiuto che per l'azienda che riceve la MPS. Si realizzano più ISR con un unico intervento di innovazione (*) minimizzando lo sforzo richiesto per la fase di emersione delle nuove ISR (si compie lo sforzo della fase di emersione una volta sola per tante ISR). (*) il terzo attore, coinvolto in una logica di mercato, è potenzialmente pronto a realizzare non un solo flusso di scambio dedicato ad una particolare controparte ma una pluralità di scambi con una pluralità di controparti realizzando così una architettura di relazioni potenziali che è modulare e general-purpose</p>
	<p>Rendere stabile il funzionamento a regime della rete di SI</p>	<p>La "sostituzione pura" prevede una relazione diretta tra le aziende e quindi il modello topologico di riferimento per la rete di simbiosi è di tipo N-M</p>	<p>La relazione indiretta / intermediata tra le aziende da parte del terzo attore implica un modello topologico di riferimento per la rete di simbiosi di tipo N-1-M (e tale è il modello del WM)</p>	<p>Si crea un buffer di disaccoppiamento e quindi di compensazione tra gli N attori che producono il rifiuto e gli M che sono potenzialmente interessati ad ottenerlo come MPS.</p> <p>Si ottiene un effetto di stabilizzazione della rete circolare.</p> <p>La distinzione tra "sostituzione pura" e "sostituzione impura" viene superata e generalizzata in un modello che fa leva sulla chiusura del ciclo realizzata mediante un elemento di intermediazione specializzato e operante sul mercato. Il processo intermedio (PI) è tanto più efficace quanto più riesce a sostituirsi in modo indistinguibile sia a monte che a valle, rispetto all'Asls.</p> <p>A monte il compito consiste nell'essere capaci di accettare il rifiuto tal quale. A valle il compito richiede la capacità di rendere la MPS quanto più possibile simile alla MPV, quindi comporta l'implementazione sul rifiuto di un processo regressivo affinché possa essere reimpiegato in altre finalità produttive ("staminalizzazione" del rifiuto).</p>
WM	<p>Creare opportunità per la chiusura dei cicli</p>	<p>Focus perlopiù limitato al trattamento del rifiuto</p>	<p>Focus esteso anche all'obiettivo della chiusura dei cicli</p>	<p>L'integrazione può essere resa praticabile anche dalla individuazione di aspetti di interoperabilità tra i processi di tipo WM e i processi di tipo SI</p>

Tabella 20 - Aspetti chiave per il modello integrato che faciliti la scalabilità della circolarità

Il modello di integrazione di SI, WM e WH che propongo, in coerenza con quanto finora esposto, è riportato nella rappresentazione grafica seguente (Figura 51) ed è denominato Waste Hierarchy and Waste Management based Industrial Symbiosis (WHWMBIS).



Figura 51 – Modello di integrazione WhiWamIS di SI, WM e WH

Tale modello necessita di essere “portato” all’interno di ogni specifico contesto industriale e quindi adattato con riferimento a:

- Identificazione di processi, metodi, tecniche per le fasi di “prevention” e “preparing for reuse”
- Identificazione di processi, metodi, tecniche per le fasi di “recycling”, “recovery” e “disposal”
- Identificazione di meccanismi di interoperabilità tra WM e SI finalizzati alla identificazione e alla realizzazione delle possibili circolarità

L’integrazione dei due approcci ambisce a coniugare gli aspetti di maggiore pregio di entrambi per coprire tutte le strategie previste dalla WH.

Il modello mette in risalto la grande importanza degli approvvigionamenti, da parte delle aziende, che sono chiamate a sostituire le MPV con le MPS. Questa decisione deve essere presa in contesti nei quali (anche a motivo della disponibilità di enormi moli di dati) le nuove opportunità, soprattutto di carattere economico, offerte dal mercato, necessitano di essere valutate anche da un punto di vista strategico con l’obiettivo di minimizzare il rischio associato ai contesti in rapida evoluzione.

Per questo motivo, per poter comprendere meglio, dal punto di vista:

- dell’analisi: in che modo inquadrare/interpretare i casi esistenti di SI
- della sintesi: come supportare le decisioni in contesti nei quali si potrebbero realizzare nuovi esperimenti di SI

propongo una rivisitazione di uno strumento strategico di gestione degli approvvigionamenti (la matrice di (Kraljic, 1983)) perchè possa essere utilizzato anche in contesti di economia circolare. Al fine di adattare tale strumento a tale ambito, utilizzo alcuni casi di SI, documentati in letteratura all’interno del cd. progetto “Maestri”.

3.4. Gestione strategica degli approvvigionamenti in contesti di Economia Lineare

Il modello portfolio di Kraljic per gli approvvigionamenti in contesti di Economia Lineare

Il procurement, nell'economia lineare, garantisce all'impresa un regolare flusso di beni e servizi realizzando anche forme di cooperazione/interdipendenza operativa tra le unità a monte e a valle della filiera.

In particolare, è chiamato a prendere almeno le seguenti decisioni strategiche:

1. Selezione del fornitore
2. Definizione/progettazione del tipo di relazione cliente-fornitore

Negli anni '80, nella pubblicazione "*Purchasing Must Become Supply Management*" (Kraljic, 1983), l'economista sloveno Peter Kraljič offre suggerimenti pragmatici su come il top management possa riconoscere l'importanza dei punti di debolezza/criticità nella gestione degli acquisti e mostra come quell'approccio possa essere trasformato in una vera e propria strategia per la gestione degli approvvigionamenti.

In particolare, Kraljic, analizzando le relazioni di fornitura in funzione di due variabili strategiche e cioè *l'importanza degli acquisti* e *la complessità del mercato di fornitura*, introduce il concetto di "politiche differenziate di approvvigionamento" per gestire gli acquisti come approvvigionamenti.

Le due variabili che considera sono di seguito descritte:

- *Importance of purchasing*: rappresenta il grado di impatto dell'approvvigionamento in termini di valore aggiunto rispetto alla qualità dei prodotti, rispetto al peso percentuale che hanno le materie prime sul costo totale e il loro impatto sulla profittabilità.
- *Complexity of supply market*: rappresenta il grado di complessità nell'accesso al mercato dei fornitori misurato attraverso la scarsità di fornitori, la competitività dei fornitori e il potere contrattuale del cliente.

L'attribuzione dei valori ALTO/BASSO alle due variabili citate, individua una matrice 2x2 che consente di individuare quattro categorie principali per la classificazione degli approvvigionamenti, come rappresentato nella Figura 52.

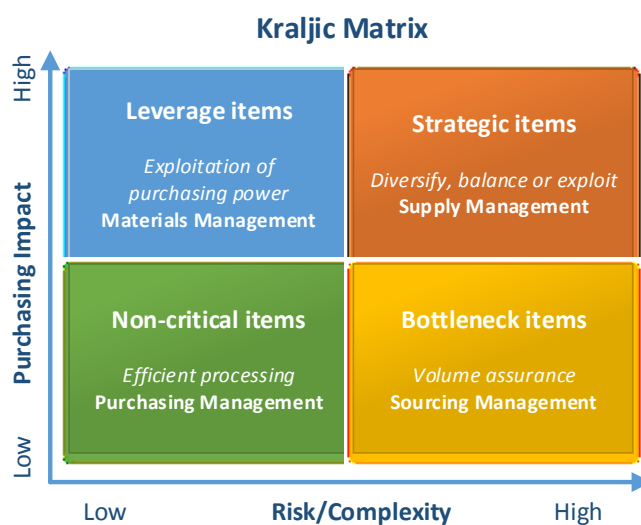


Figura 52 - Stages of Purchasing Sophistication (Kraljic, 1983)

Pertanto, differenziare gli approvvigionamenti secondo il portfolio di Kraljic significa adottare la prospettiva delle due variabili strategiche "Risk/Complexity of supply market" e "Importance of purchasing" per giungere ad una clusterizzazione degli approvvigionamenti con il significato riportato nella figura 49.

Per minimizzare le vulnerabilità sul lato fornitura e massimizzare il potenziale derivante dal potere d'acquisto, Kraljic presenta un approccio basato su quattro fasi per confezionare la strategia di fornitura, come di seguito descritto:

1. Classificazione
2. Analisi del mercato
3. Posizionamento strategico
4. Piani di azione

Secondo questo approccio, un'azienda innanzitutto classifica tutto il materiale che acquista rispetto alle due variabili "Profit Impact" e "Supply Risk" descritte in precedenza.

Quindi analizza e pesa il mercato di fornitura dei materiali individuati nei termini della forza dei propri fornitori rispetto alla propria capacità di negoziazione come cliente.

Determina quindi il suo posizionamento strategico complessivo nella Purchasing Portfolio Matrix definita dalle variabili "Company strenght" vs. "Supply market strenght" dove può identificare aree di opportunità e di vulnerabilità e valutare i rischi delle forniture (v. Figura 53).

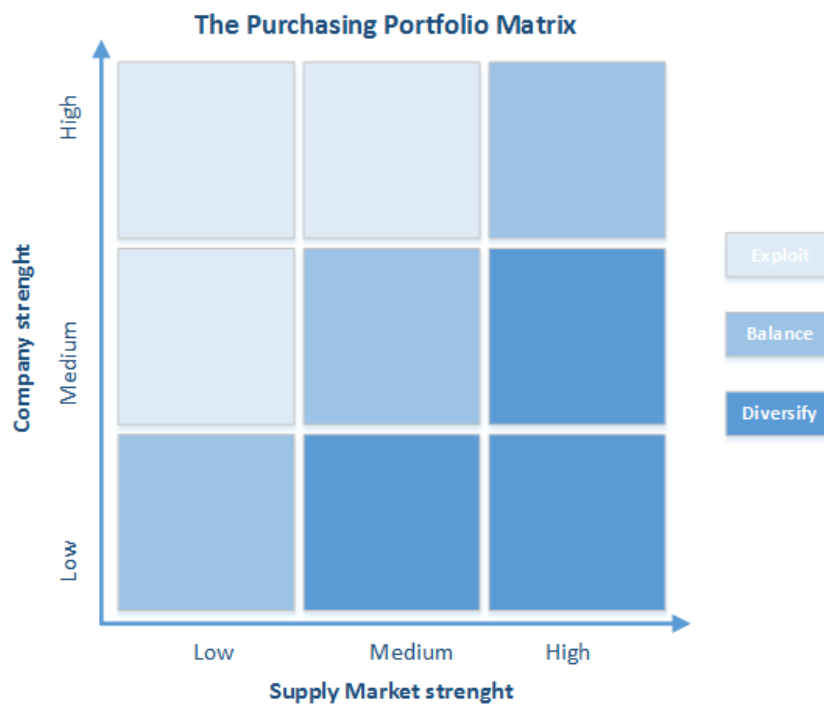
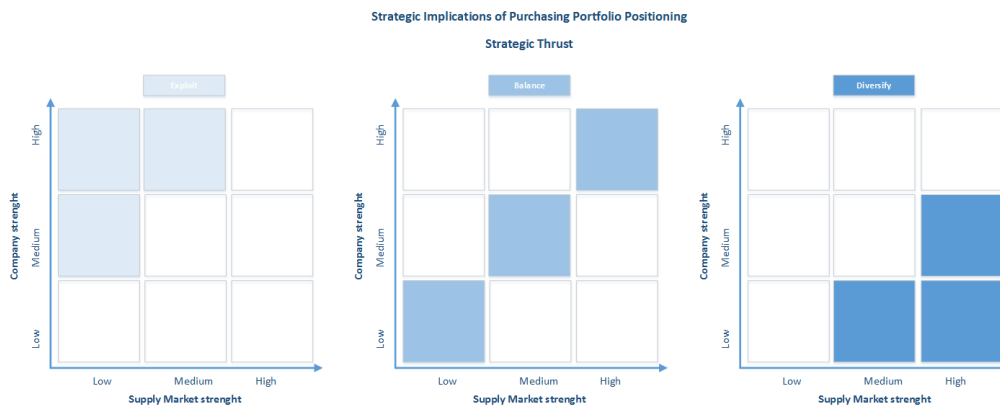


Figura 53 - The purchasing Portfolio Matrix

Infine sviluppa piani di azione relativi alle strategie per la gestione dei materiali. Tali piani hanno l'obiettivo di consentire all'azienda di raggiungere le aree a maggiore sicurezza strategica e pertanto suggeriscono politiche di riposizionamento strategico (v. Figura 54).



Policy issues

Volume	Spread	Keep or shift carefully	Centralize
Price	Press for reductions	Negotiate opportunistically	Keep low profile
Contractual coverage	Buy spot	Balance contracts and spot	Ensure supply through contracts
New suppliers	Stay in touch	Selected vendors	Search vigorously
Inventories	Keep low	Use stocks as "buffer"	Bolster stocks
Own production	Reduce or don't enter	Decide selectively	Build up or enter
Substitution	Stay in touch	Pursue good opportunities	Search actively
Value engineering	Enforce supplier	Perform selectively	Start own program
Logistics	Minimize cost	Optimize selectively	Secure sufficient stocks

Figura 54 - Strategic Implications of Purchasing Portfolio Positioning

Nel corso della storia, le aziende hanno sempre cercato di comprendere le preferenze dei clienti e i fattori che influenzano le decisioni di acquisto al fine di guidare al meglio le proprie strategie di marketing. I modelli portfolio sono strumenti di analisi che hanno avuto un ruolo significativo nello sviluppo p.es. del settore marketing e nella comprensione del comportamento dei consumatori.

I modelli "purchasing portfolio" o portfolio di acquisti sono emersi come un modo efficace per analizzare i dati e fornire una visione dei comportamenti dei consumatori. Ad esempio, il modello portfolio di acquisti di Howard e Sheth, sviluppato nel 1969, ha cercato di spiegare come i consumatori prendono decisioni basate su fattori psicologici, sociali e situazionali come l'attitudine verso il marchio, le influenze sociali e le esperienze di acquisto passate (Haines et al., 1970).

Con l'avvento dell'era digitale e la maggiore disponibilità di dati, i modelli portfolio di acquisti hanno subito un'evoluzione significativa. L'analisi dei dati è diventata una parte essenziale della comprensione del comportamento dei consumatori, consentendo alle aziende di raccogliere informazioni dettagliate su abitudini di acquisto, preferenze, interazioni sui social media e altro ancora.

Oggi, i modelli portfolio di acquisti possono anche essere supportati da sofisticate tecniche analitiche (come l'apprendimento automatico e l'intelligenza artificiale) per estrarre insight significativi dai dati. Questi approcci sono in grado di identificare pattern di acquisto, segmenti di clientela, aspettative dei consumatori e suggerire strategie di marketing personalizzate per massimizzare i risultati.

I modelli portfolio, come sinteticamente descritto, nascono nel contesto delle analisi di marketing. Kraljic è il primo a utilizzarli per studiare gli aspetti strategici legati agli approvvigionamenti.

Nell’ambito dei modelli portfolio, un approccio utilizzato per poter stimare le variabili qualitative impiegate (utilizzato anche da Kraljic e che sarà impiegato nel seguito), è quello delle variabili cd. “proxy”.

L’analisi mediante variabili proxy è utilizzata quando il costo del tempo di modellazione è elevato (Motaei & Ganat, 2023) e viene utilizzata per approssimare o stimare una variabile o un fenomeno di interesse che potrebbe essere difficile da misurare direttamente e richiede risorse o dati complessi per essere valutato in modo accurato. I modelli che utilizzano variabili proxy sono impiegati diffusamente anche perchè compensano la risposta lenta dei modelli di simulazione numerica e possono essere aggiornati molto rapidamente con nuovi dati rispetto ai modelli numerici.

Le variabili della matrice portfolio non sono facilmente misurabili in via diretta e quindi, anche in questo caso, è conveniente utilizzare variabili “proxies” per poterle stimare.

Sebbene non esente da criticità, la matrice di Kraljič e, più in generale, i modelli portfolio, rimangono l’approccio dominante nella gestione delle categorie degli approvvigionamenti (Caniëls & Gelderman, 2005), (Nellore & Söderquist, 2000) e hanno assunto un ruolo di rilievo nell’ambito del supply management perchè adottati per raggruppare e gestire in modo strategico i differenti tipi di acquisti.

3.5. Gestione strategica degli approvvigionamenti in contesti di Economia Circolare: la Circular Supplies Portfolio Matrix

“Closing the Loop Processes” e Procurement

Il processo “Take-Make-Use-Dispose” (TMUD) è lineare (non circolare) e la chiusura del ciclo può avvenire con alcune delle dieci «strategie R» (The Ellen MacArthur Foundation, 2014). Le «strategie R» che riescono a realizzare un ciclo, rappresentano altrettanti processi (Kirchherr et al., 2017) (v. Figura 55 e Tabella 21).

Smarter product use and manufacture	R0	Refuse	Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different product
	R1	Rethink	Make product use more intensive (e.g. by sharing product)
	R2	Reduce	Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources and materials
Extend lifespan of product and its parts	R3	Reuse	Reuse by another consumer of discarded product which is still in good condition and fulfils its original function
	R4	Repair	Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function
	R5	Refurbish	Restore an old product and bring it up to date
	R6	Remanufacture	Use parts of discarded product in a new product with the same function
	R7	Repurpose	Use discarded product or its parts in a new product with a different function
Useful application of materials	R8	Recycle	Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) quality
	R9	Recover	Incineration of material with energy recovery

Figura 55 - The 9R Framework (Kirchherr et al., 2017)

Nel caso dell’economia circolare, oltre alle decisioni di procurement presentate nel paragrafo precedente, una ulteriore decisione chiave è abilitante la chiusura del ciclo a partire dal processo TMUD. Tale decisione

riguarda la scelta tra Materia Prima Vergine (MPV) o Materia Prima Seconda (MPS) e dipende anche da variabili di tipo gestionale-manageriale.

Almeno 6 «strategie R» su 10 chiuderebbero il ciclo se si ricorresse alla MPS invece che alla MPV come evidente dalla seguente tabella di classificazione (v. Tabella 21)

No Procurement	Procurement
R0 - Refuse	R3 - Reuse
R1 - Rethink	R4 - Repair
R2 - Reduce	R5 - Refurbish
R10 - Recover	R6 - Remanufacture
	R7 - Repurpose
	R8 - Recycle

Tabella 21 - Relazione tra strategie R e Procurement

Pertanto, nel caso dell’Economia Circolare, le decisioni strategiche che il procurement è chiamato ad assumere, sono le seguenti:

1. Selezione del fornitore
2. Definizione/progettazione del tipo di relazione cliente-fornitore
3. Scelta MPV o MPS

La decisione n.3 è la nuova e ulteriore «decisione di procurement», tipica della EC (v. Figura 56), che deve essere presa in modo contestuale con le altre due e, per quanto a mia conoscenza, caratterizzata da un gap di letteratura.

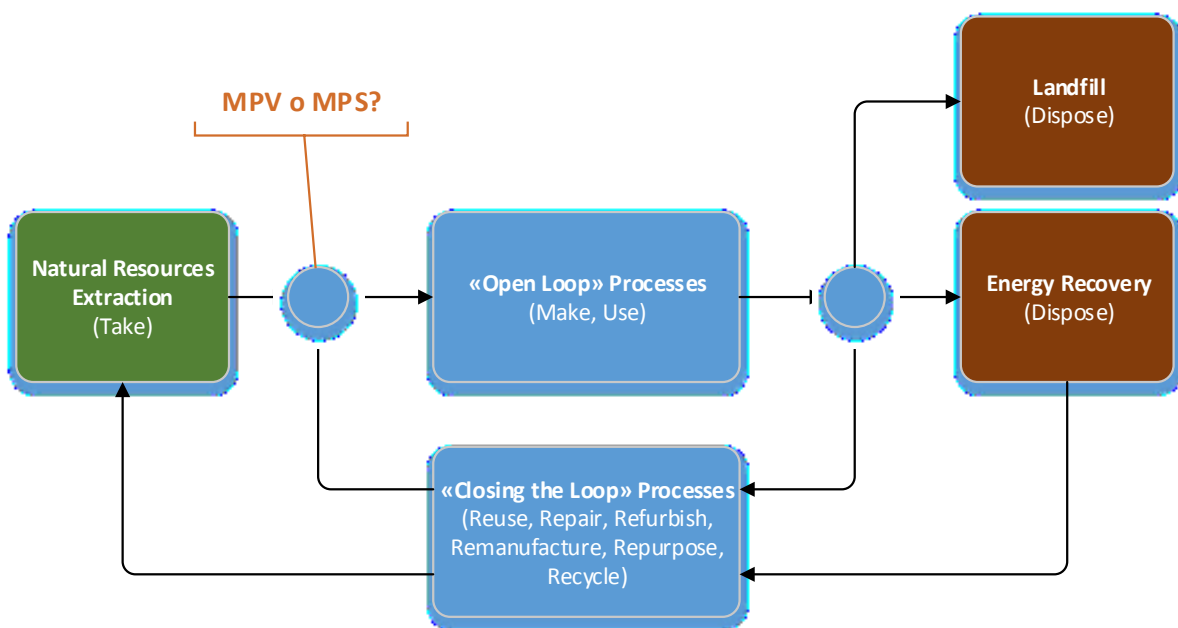


Figura 56 - “Closing the Loop Processes” e ulteriore decisione di Procurement: MPV o MPS?

Per colmare questo gap, nella prosecuzione del presente lavoro, affronto le decisioni 1, 2 e 3 secondo la prospettiva strategica di (Kraljic, 1983) per giungere a definire un nuovo strumento, che generalizza la matrice di Kraljic al caso dell'analisi strategica degli approvvigionamenti in contesti di economia circolare.

Il modello di Kraljic modificato per gli approvvigionamenti in contesti di Economia Circolare

Pertanto, anche nel caso del modello di produzione circolare, probabilmente più che nel caso lineare, gli approvvigionamenti (che peraltro impattano sulla possibilità di realizzare sinergie simbiotiche), hanno una valenza strategica, che può determinare il successo di un progetto di implementazione di SI.

Ciò lascerebbe pensare che la difficoltà nello scalare di dimensioni e di estensione geografica potrebbe avere anche quella appena esposta almeno come una delle concause.

Da questo punto di vista, la letteratura ha già evidenziato alcuni aspetti particolari come nel caso della ridondanza delle catene di fornitura indagate p.es. in (Wu et al., 2017) e in (Fraccascia et al., 2020).

Per questi motivi, si reputa interessante effettuare un approfondimento che indaghi le politiche differenziate di approvvigionamento al fine di estendere al caso della produzione circolare l'approccio che Kraljic ha adottato nel caso della produzione lineare, così da sviluppare un nuovo "portfolio per gli approvvigionamenti circolari".

L'esistenza di un gap di letteratura sul tema indagato è avvalorata da un'indagine effettuata nel luglio 2023 usando il database Scopus, che ha restituito i seguenti esiti (negativi) sul tema (Tabella 22).

Stringa utilizzata per la query	Numero di risultati
"procurement portfolio"	34
"procurement portfolio" AND "circular economy"	0
"procurement portfolio" AND "industrial symbiosis"	0
"procurement portfolio" AND "waste management"	0
"suppl* portfolio"	285
"suppl* portfolio" AND "circular economy"	0
"suppl* portfolio" AND "industrial symbiosis"	0
"suppl* portfolio" AND "waste management"	0
"purchasing portfolio"	98
"purchasing portfolio" AND "circular economy"	0
"purchasing portfolio" AND "industrial symbiosis"	0
"purchasing portfolio" AND "waste management"	0

Tabella 22 - Esiti della ricerca effettuata in Scopus (lug-23) sul tema degli approvvigionamenti circolari

Emerge che, mentre la letteratura ha indagato in modo significativo il tema dei modelli portfolio per il procurement, non vi sia alcun lavoro che abbia svolto ricerca su tale tema declinato all'ambito del paradigma dell'economia circolare.

Per questi motivi, si reputa interessante effettuare un approfondimento che indaghi le politiche differenziate di approvvigionamento con l'obiettivo di estendere al caso della produzione circolare l'approccio che Kraljic ha adottato nel caso della produzione lineare, così da sviluppare un nuovo "portfolio per gli approvvigionamenti circolari".

La Circular Supplies Portfolio Matrix (CSPM)

Prendendo come riferimento principale il modello matriciale proposto da Kraljič, ho sviluppato un modello per la classificazione dei casi di circolarità (simbiosi industriale, waste management, ...), denominato “Circular Supplies Portfolio Matrix” (CSPM).

Le dimensioni di analisi individuate per definire la matrice rappresentativa del modello, sono le seguenti:

- [RC] = Risk/Complexity of Supply Market (come nella matrice di Kraljič);
- [PI] = Purchasing Impact (come nella matrice di Kraljič);
- [PC] = Process Complexity;
- [HTE] = Hazardousness To Environment.

Rispetto al modello originario di Kraljič, nella CSPM esiste una prima sostanziale differenza che riguarda la scelta delle dimensioni di analisi. Le dimensioni originarie (*Complexity of Supply Market* e *Importance of purchasing*) sono affiancate da ulteriori due dimensioni che rappresentano due aspetti fondamentali di ogni chiusura di ciclo: la valutazione della complessità del/dei processo/i di chiusura (Process Complexity) e la valutazione complessiva dell’impatto ambientale (Hazardousness To Environment).

Inoltre, sempre rispetto al modello originario di Kraljič, nella CSPM esiste una seconda sostanziale differenza che riguarda l’attribuzione dei valori alle dimensioni considerate. Mentre le due dimensioni del modello originario sono valorizzate con valori assoluti (ALTO/BASSO), nel caso della CSPM, per tre variabili su quattro, si manifesta l’esigenza di adottare una scala di valori relativa perché, nel passaggio dal modello lineare al modello circolare, risulta di rilievo valutare l’impatto dell’utilizzo della materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine.

Pertanto, i valori che si è deciso di considerare per le quattro variabili sopra elencate sono riportati in Tabella 23:

Variabili della Matrice di Kraljič	Scala di valori	Variabili della Circular Supply Portfolio Matrix (CSPM)	Scala di valori
Risk/Complexity	Low/High	Risk/Complexity [RC]	Lower/Equal/Higher
Purchasing Impact	Low/High	Purchasing Impact [PI]	Low/High
		Process Complexity [PC]	Lower/Equal/Higher
		Hazardousness To Environment [HTE]	Lower/Equal/Higher

Tabella 23 - Tabella dei valori attribuiti alle dimensioni della matrice di Kraljič per la circolarità

Le variabili [RC], [PC], e [HTE] assumono valori relativi in quanto valutano il grado di impatto della materia prima seconda (waste materials) rispetto alla materia prima vergine. La variabile [PI] invece considera l’impatto, diretto o indiretto, che la materia prima seconda ha nei confronti del valore economico-qualitativo del prodotto finale e pertanto assume i due valori assoluti L/H.

Il valore da attribuire alle variabili del modello CSPM è desunto sulla base di variabili cd. “proxies” (ritenute più facilmente e oggettivamente stimabili) che si differenziano a seconda della variabile di riferimento e della tipologia di fornitore.

La scelta delle proxies per ogni dimensione di analisi e per ogni caso considerato, viene effettuato sulla base della letteratura esistente e/o di opportune ricerche.

In base al valore attribuito a ciascuna variabile, viene formulata una decisione che consente a chi utilizza il modello di poter confrontare i casi e valutare l'opportunità di realizzazione di sinergie circolari.

3.6. Caratterizzazione della CSPM

Per caratterizzare la CSPM, nel seguito conduco un approfondimento di ognuna delle quattro dimensioni individuate.

La valutazione delle dimensioni del portfolio (alto/basso oppure \neq) dovrebbe essere effettuata ricorrendo a variabili o criteri o proxies sulla base dei quali operazionalizzare le dimensioni del portfolio nel senso di poterne effettuare un'affidabile stima di valore.

L'approfondimento dei dettagli di quest'ultimo particolare aspetto, esula dagli scopi principali del presente lavoro così come verrà meglio argomentato nella sezione riguardante gli sviluppi futuri.

Pertanto, nel seguito, il riferimento alle "proxies" va inteso con la limitazione sopra detta.

Dimensione Risk/Complexity of Supply Market [RC]

La prima dimensione individuata nella CSPM è chiamata *Risk/Complexity of Supply Market [RC]* ed è identica alla dimensione individuata da Kraljič nel suo modello.

RC misura la complessità e il rischio legati al mercato di approvvigionamento della materia prima seconda rispetto alla complessità e al rischio legati al mercato di approvvigionamento della materia prima vergine.

Le proxies che vengono selezionate nel modello di Kraljič per questa dimensione sono offerta, disponibilità, numero di suppliers, competitività della domanda, opportunità di make-or-buy, possibilità di sostituzione, ritmo del progresso tecnologico, barriere all'ingresso, costi logistici (Kraljic, 1983). In aggiunta a questi criteri, è stata condotta un'analisi per selezionare ulteriori proxies di valutazione per la dimensione RC, basata sullo studio dei singoli flussi di scambio presenti nel database del progetto MAESTRI.

Dall'analisi sono emersi i seguenti criteri: stabilità di prezzo, struttura del mercato di fornitura (monopolio, oligopolio), competitività di prezzo, tempi di consegna, investimento relazionale specifico (necessità di infrastrutture ad-hoc), costi di trasporto, condivisione di informazioni, necessità di trattamenti ulteriori, costi di produzione, disponibilità di fornitura, riciclo del materiale, reperibilità del materiale, stabilità economico-finanziaria, fattori politici.

I casi possibili per i valori che può assumere la dimensione considerata, sono di seguito brevemente commentati:

- **Minore [$<$]:** significa che l'utilizzo della materia prima seconda comporta meno rischi di fornitura rispetto alla materia prima vergine. I criteri più riscontrati per questo caso sono stati il costo di trasporto, la sostituibilità dell'input, i costi e i tempi di approvvigionamento, la disponibilità dei materiali, il riciclo degli scarti;
- **Uguale [=]:** non vi sono differenze significative tra i due input, quindi vanno osservate anche le altre variabili. I criteri maggiormente riscontrati per questo caso sono stati la tipologia di mercato, la sostituibilità dell'input, disponibilità di approvvigionamento;
- **Maggiore [$>$]:** significa che l'utilizzo della materia prima seconda comporta maggiori rischi di fornitura comparata alla materia prima vergine. I criteri emersi per questo caso sono stati

l'investimento relazionale specifico, la necessità di ulteriori trattamenti, disponibilità dei materiali, costo di produzione.

Letteratura sulle variabili relative alla dimensione Risk/Complexity of Supply Market

Per fornire un supporto teorico riguardo le proxies rilevate durante l'analisi dei diversi casi di studio, è stato fatto un confronto con la letteratura presente in ambito di SI.

Alcuni dei fattori emersi sono risultati particolarmente rilevanti per l'implementazione delle collaborazioni industriali, incentivando o frenando la creazione di un'ambiente in simbiosi. Di seguito vengono riportati i criteri riscontrati e la relativa letteratura di supporto:

- *Ritmo del progresso tecnologico*: secondo Murat Mirata, professore presso la Linköping University, Svezia, la presenza o l'assenza di tecnologia può facilitare o ostacolare lo sviluppo degli scambi necessari per l'implementazione della Simbiosi Industriale. La mancanza di uno sviluppo tecnologico adeguato potrebbe portare le imprese ad affrontare considerevoli investimenti per adattarsi al trattamento degli scambi. Al contrario, la presenza di tecnologie che consentono l'uso combinato e la gestione congiunta delle risorse rappresenta un elemento di vantaggio nello sviluppo della simbiosi industriale (Mirata, 2004). Un elemento essenziale prevede l'identificazione dei colli di bottiglia tecnologici applicabili a un gruppo più ampio di attori nazionali e inviare i giusti segnali agli sviluppatori di tecnologie (Mirata, 2004). Una condizione che caratterizza l'analisi dei privilegi ottenibili dalla SI è lo stato della tecnologia su cui si basano le imprese (Sakr et al., 2011). La tecnologia è una barriera importante che limita l'applicazione della simbiosi urbana, poiché determina la possibilità di riutilizzare i rifiuti da parte delle industrie locali (H. Dong et al., 2014).
- *Investimento relazionale specifico*: la presenza di infrastrutture ad-hoc consente lo sviluppo di una simbiosi industriale ottimale. L'uso condiviso delle infrastrutture di servizio, ad esempio per la produzione di energia, l'acqua e il trattamento delle acque reflue incentivano lo sviluppo di "utility synergies" (Van Beers et al., 2007). L'uso combinato delle medesime superfici e la presenza di infrastrutture costituiscono un fattore decisivo nello sviluppo di collaborazioni simbiotiche (M. R. Chertow, 2009). La presenza di infrastrutture adeguate rappresenta un elemento essenziale per il successo della simbiosi industriale, mentre la loro assenza costituisce un ostacolo significativo, considerando i costi di implementazione e la sfida nel reperire i finanziamenti necessari per la loro realizzazione (Jacobsen, 2006). Gibbs e Deutz hanno analizzato il caso Cape Charles, negli Stati Uniti. Diverse aziende hanno abbandonato le attività dell'eco-parco industriale perché consideravano tale approccio "irrealistico", in quanto comportava il trasferimento in un altro sito vicino a sottoprodotti che erano di scarsa importanza, come materiali di input per l'azienda, a causa dei loro costi di approvvigionamento relativamente bassi (Gibbs & Deutz, 2007). In alcuni casi analizzati presenti nel progetto MAESTRI, la necessità di infrastrutture e di collegamenti per il trasporto di input come energia elettrica, calore di scarto e vapore si è rivelato un elemento di disturbo, in quanto comporta costi significativi di installazione e di logistica che possono rivelarsi un ostacolo per alcune imprese, specialmente per quelle di piccola e media costituzione.
- *Condivisione di informazioni*: la fiducia tra gli attori è fondamentale per la prosperità della SI. Quanto più gli attori della SI sono aperti a condividere idee e informazioni sui loro flussi collaterali e sui loro sottoprodotti, tanto maggiori sono le possibilità di collaborazione e di beneficio per tutti gli attori (Uusikartano et al., 2022). Conformemente a quanto dichiarato da Bellantuono et al., 2017, la condivisione delle informazioni è una premessa per un'efficace integrazione tra le aziende di un parco eco-industriale (PEI). Questo potrebbe essere il caso del tipo, della quantità, della tempestività, della qualità e di altre caratteristiche dei rifiuti e dei sottoprodotti generati da

un'azienda, nonché del suo fabbisogno energetico. Per identificare e rendere operative le sinergie e per favorirne il funzionamento, il supporto informativo deve essere un processo continuo ed essenziale (Mirata, 2004). La disponibilità di informazioni ha portato a una maggiore consapevolezza delle operazioni industriali e dei relativi input e output di processo, contribuendo in modo significativo all'identificazione delle opportunità di sinergia (Van Beers et al., 2007). Lo scambio di informazioni è essenziale perché facilita aziende di trovare i match commerciali più adatti e consente la condivisione di tutti gli strumenti e le risorse disponibili all'interno della comunità (Heeres et al., 2004). Nelle prime fasi di sviluppo dei parchi eco industriali, è raccomandabile che le industrie coinvolte si focalizzino sul supporto tecnico e stabiliscano una rete di condivisione delle informazioni (Sakr et al., 2011). Per supportare la crescita della SI è necessario realizzare un inventario nazionale delle tecnologie di SI. I raccoglitori pubblici e/o commerciali devono essere incoraggiati a partecipare alla raccolta e al riciclaggio dei rifiuti. È necessaria promuovere una piattaforma informativa per la pubblicazione di informazioni sullo scambio di materiali/energia/rifiuti a livello di città e parchi industriali (L. Dong et al., 2014).

- *Fattori politici e normativi:* anche i cambiamenti nei quadri legislativi hanno influenzato lo sviluppo dei PEI. Ad esempio, i cambiamenti nel controllo dell'inquinamento da parte del governo danese hanno portato a cambiamenti nei sistemi di tariffazione e hanno reso più attraente la tecnologia intrinseca nella città di Kalundborg (Tudor et al., 2007). Nel Regno Unito, alcuni documenti di politica macroeconomica sottolineano che la creazione di un clima imprenditoriale positivo è fondamentale per raggiungere uno sviluppo sostenibile e considerano la protezione dell'ambiente come un'opportunità per le imprese di sviluppare nuove tecnologie, beni e servizi, migliorando così la loro competitività sui mercati mondiali. Il governo ha un ruolo importante nel creare i giusti incentivi e nell'aiutare a superare gli ostacoli, tra cui le carenze informative, l'accesso limitato ai finanziamenti e la mancanza di competenze (Mirata, 2004). Il governo potrebbe svolgere tre ruoli attraverso la politica per far progredire la SI: portare alla luce i nuclei di attività cooperativa ancora nascosti; assistere i nuclei che stanno prendendo forma; fornire incentivi per catalizzare nuovi nuclei identificando "precursori della simbiosi" (M. R. Chertow, 2007). In realtà, un quadro normativo basato su incentivi che incoraggi l'utilizzo dei sottoprodotti e il miglioramento continuo delle prestazioni ambientali è una delle lezioni più preziose che si possono trarre dalla SI di Kalundborg, in quanto ha permesso alle aziende di "concentrare le loro energie sulla ricerca di modi creativi per diventare più rispettosi dell'ambiente, invece di lottare contro il regolatore" (Sakr et al., 2011). Il governo gioca un ruolo di supporto per superare le barriere tipiche della SI. (Velenturf, 2016) fornisce un'eccellente introduzione nel suo studio sul sistema di governance nella regione di Humber, nel Regno Unito. Concentrandosi sulle barriere normative legate all'attuazione della politica e della regolamentazione in materia di efficienza delle risorse, l'autrice suddivide ruoli e attività governative potenziali in quattro categorie: regolatore strategico, facilitatore strategico, regolatore operativo e facilitatore operativo. Comunemente, le amministrazioni locali sostengono le SI in una funzione abilitante o di fornitura, promuovendo, coordinando e mantenendo le reti di SI, oltre a fornire informazioni, infrastrutture e finanziamenti (Södergren & Palm, 2021). Nel caso studiato di UPM Kymi, un'impresa cartiera finlandese, la cooperazione con il comune locale ha svolto un ruolo significativo nel corso della storia del caso di simbiosi. La simbiosi ha avuto un impatto significativo sullo sviluppo della comunità. Grazie agli incentivi da parte del governo è stato possibile offrire lavoro e strutture alla comunità (Pakarinen et al., 2010).
- *Diversificazione dei fornitori:* per far fronte alla "fragilità del sistema" si può ricorrere alla strategia di diversificazione rispetto ai fornitori e alle risorse, consentendo così al sistema di adattarsi al cambiamento e riprendersi più rapidamente (Korhonen, 2001). In effetti, un sistema diversificato con una forte cooperazione intersettoriale è più sostenibile (Tudor et al., 2007). L'effetto della variazione della domanda che si propaga dal produttore al fornitore si riduce quando l'intera domanda viene suddivisa tra più fornitori, con conseguente riduzione dell'errore

di previsione, produzione più fluida, maggiori scorte finite e maggiore soddisfazione della domanda da parte dei fornitori (Chatha & Jalil, 2022). Il problema della selezione dei fornitori comporta la selezione sulla base di molteplici criteri che possono essere sia quantitativi che qualitativi. I suppliers ottimali vengono scelti facendo un trade-off tra questi criteri, alcuni dei quali possono risultare in conflitto (Hosseininasab & Ahmadi, 2015).

- *Tempi di approvvigionamento*: non sempre risulta facile applicare la chiusura del ciclo di produzione a causa delle distanze e dei tempi di approvvigionamento. (Lyons, 2007) nel suo studio conduce un'analisi sui collegamenti in simbiosi tra aziende di riciclo e trattamento dei rifiuti in Texas, notando come la chiusura del ciclo a livello locale può essere possibile per alcuni articoli, ma è probabilmente un'eccezione piuttosto che la regola per i rifiuti eterogenei. Spesso le imprese sono collegate al mondo esterno, con la maggior parte dei loro fornitori e clienti situati in altri luoghi e ciò rende complicato la closing loop.

Dimensione Purchasing Impact

La seconda dimensione individuata nel Circular Supplies Portfolio Matrix è chiamata "Purchasing Impact" [PI] che è identica alla dimensione individuata da Kraljič nel suo modello.

La [PI] misura l'effetto dell'input sulla qualità del prodotto finale, ovvero l'influenza che la materia prima seconda ha sulle specifiche del prodotto finale in cui viene impiegato e l'impatto economico sulla redditività ad esso collegata.

I criteri che vengono selezionati nel modello di Kraljič relativi a questa dimensione sono il peso del costo dei materiali rispetto ai costi totali, valore aggiunto, redditività, volume acquistato, percentuale del costo totale di acquisto, impatto sulla qualità del prodotto (Kraljic, 1983).

Oltre a questi criteri, è stata effettuata un'analisi per identificare ulteriori indicatori di valutazione per la dimensione [PI], basata sull'esame dei singoli flussi di scambio presenti nel database del progetto MAESTRI.

Dall'analisi sono emersi i seguenti criteri: deperibilità del prodotto, condizioni strutturali, sostituibilità dell'input, supporto per il processo di produzione.

I casi possibili per i valori che può assumere la dimensione considerata, sono di seguito brevemente commentati:

- Basso: significa che l'utilizzo della materia prima seconda non influenza particolarmente la profittabilità del prodotto finale e in alcuni casi potrebbe portare ad un aumento dei costi;
- Alto: significa che, se l'azienda coinvolta decidesse di sostituire come input la materia prima vergine con la materia prima seconda, si avrebbe un aumento delle prestazioni o della qualità del prodotto finale, e di conseguenza, un beneficio sul valore di produzione.

Letteratura sulle variabili relative alla dimensione Purchasing Impact

La qualità del prodotto finale viene influenzata in maniera decisiva dall'utilizzo della materia prima seconda come input nel processo di produzione. Questa qualità impatta sui costi a cui l'azienda deve far fronte e sulla profittabilità collegata al prodotto finale.

I criteri rilevati nella valutazione della dimensione Purchasing Impact sono stati confrontati con la letteratura presente in ambito di simbiosi industriale. Di seguito vengono riportate le proxies riscontrate in letteratura:

- *Redditività*: le imprese possono utilizzare i rifiuti degli altri come fattori produttivi e queste iniziative possono contribuire agli obiettivi di sviluppo sostenibile in termini economici,

- riducendo i costi di smaltimento dei rifiuti e dei fattori produttivi; si ottengono contemporaneamente vantaggi ambientali grazie alla riduzione della produzione di rifiuti e dell'uso delle risorse; si possono ottenere vantaggi sociali attraverso la creazione di posti di lavoro e lo sviluppo di un'economia locale più diversificata (Gibbs & Deutz, 2007). I parchi auto-organizzati emergono da attori privati già esistenti che sono motivati a scambiare risorse in risposta allo sviluppo delle interazioni eco-industriali. I benefici economici si manifestano sotto forma di riduzione dei costi, aumento delle entrate ed espansione dell'attività (Y. Zhang et al., 2015). Gli EIP si sono dimostrati più efficienti quando c'è un agglomerato o raggruppamento di organizzazioni che utilizzano i rifiuti come risorsa. Questa prossimità genera risparmi "esternalizzati", economie di scala (riducendo i costi operativi) e incoraggia l'innovazione (attraverso lo sviluppo di nuove industrie) (Tudor et al., 2007).
- *Sostituibilità dell'input*: materie prime e combustibili alternativi hanno il vantaggio di essere sottoprodotti o scarti di altri sistemi tecnici. Rifiuti di natura sempre più diversa, come oli, fanghi essiccati o stabilizzati con calce, plastiche o solventi esausti vengono utilizzati come combustibili alternativi. Per esempio, l'uso dei fanghi di depurazione come combustibile alternativo nei processi industriali sembra un'alternativa affidabile (Valderrama et al., 2013). Il caso di simbiosi analizzato nell'area industriale di Gladstone, Queensland, fa emergere ben cinque principali tipologie di sinergie che portano vantaggi commerciali per tutto il distretto: carburante alternativo per la produzione di clinker per cemento; riutilizzo dell'acqua; separazione dell'acqua; riutilizzo delle ceneri volanti come additivo per il cemento; recupero della soda caustica (Van Beers et al., 2007). In un caso riguardante il distretto di Brescia, analizzato da (Marchi et al., 2017), i pallet di legno vengono privati del metallo e triturati, in questo modo il produttore di cippato può utilizzare i residui di legno privi di metallo per l'edilizia sostenibile e per la generazione di energia elettrica nelle centrali a biomassa. Scegliendo di affrontare i propri "waste" come un'opportunità di business, la Guitan Group (GG) ha risolto un problema di smaltimento tradizionale utilizzando i fanghi come materia prima di carbonato di calcio per una nuova cementeria. Ciò ha generato a sua volta profitti che hanno contribuito a compensare il costo più elevato della carbonatazione e ad aumentare la competitività dell'azienda sul mercato dello zucchero (Q. Zhu et al., 2007).
 - *Qualità del prodotto finale*: il fattore qualitativo è indispensabile quando si valuta l'impatto economico del prodotto finale. (Tonicioli Rigueto et al., 2022) hanno studiato la produzione e le applicazioni dei film di gelatina, sottolineando come la gelatina è un idrocolloide ampiamente studiato per ottenere pellicole biodegradabili e, anche se estratta da rifiuti, può assumere un appeal ambientale per la riduzione degli impatti ambientali, che vanno dall'utilizzo di rifiuti solidi da lavorazioni industriali alla sostituzione, anche se parziale, di imballaggi a base di petrolio, garantendo la qualità e la sicurezza del prodotto finale. Nel caso australiano incentrato sul distretto industriale di Gladstone, tra i tanti materiali di scarto trattati viene analizzato l'uso delle ceneri volanti, facendo notare come l'impiego di questa materia prima seconda nel processo di produzione riduca i costi delle materie prime del cemento e produca un prodotto di qualità superiore (Van Beers et al., 2007). Nel caso del Guitan Group, la qualità del loro prodotto li ha fruttato un "quality premium" del 10% in più rispetto al prezzo medio dello zucchero per tonnellata grazie al riciclo delle materie prime seconde (Q. Zhu et al., 2007).

Per applicare all'ambito dell'economia circolare il modello basato sulla matrice di Kraljič si sono considerate altre due dimensioni denominate: Process Complexity (PC) e Hazardousness To Environment (HTE).

Dimensione Process Complexity

La prima variabile esprime la complessità tecnica ed economica relativa al trattamento dell'input basato sulla materia prima seconda rispetto all'input basato sulla materia prima vergine.

I criteri che vengono selezionati per questa dimensione sono disponibilità dei materiali da processare, i costi associati al trattamento, impatto sui macchinari, tempi di produzione, vincoli tecnologici, vincoli normativi, capacità di trattamento, consumi energetici, inquinamento aggiuntivo dovuto al processo, tipologia di trattamento del materiale di scarto rispetto alla materia prima vergine, richiesta di trattamento (si/no), autore del trattamento (donatore, ricevente o terzi).

I casi possibili per i valori che può assumere la dimensione considerata, sono di seguito brevemente commentati:

- **Minore [$<$]:** risulta minore nel caso in cui il processo relativo al trattamento degli scarti di produzione, rispetto al trattamento della materia prima vergine, richiede una minore complessità tecnico-operativa, minore impiego di forza lavoro e minori agenti inquinanti. I criteri più riscontrati per questo caso sono stati trattamento assente, autore del trattamento (donatore), tempi di produzione, impiego forza lavoro, riduzione emissioni, tipologia di trattamento;
- **Uguale [=]:** in questo caso risulta indifferente il trattamento, quindi va valutato il singolo contesto. I criteri maggiormente riscontrati per questo caso sono stati la tipologia di trattamento, disponibilità dei materiali da processare;
- **Maggiore [$>$]:** quando la complessità di processo assume il valore maggiore, non conviene usare lo scarto di produzione come input in quanto comporta costi e tempi maggiori e maggior impiego di forza lavoro e fattori inquinanti. Le proxies riscontrate dall'analisi del database MAESTRI per questo caso sono state la richiesta del trattamento, tempi di produzione, inquinamento aggiuntivo dovuto al processo, coinvolgimento di più attori per il processo.

Dai casi di SI esaminati si è riscontrato che per 252 flussi di materie prime seconde scambiate, solo per il 36% è stato necessario applicare un trattamento. Quelli maggiormente riscontrati sono stati: trasformazione dello scarto di produzione, rifinitura meccanica, combustione, purificazione e bonifica, separazione e smaltimento, trattamenti chimici, aggregazione di materiali refrattari, fermentazione alcolica, maturazione delle biomasse, essiccazione, pirolisi, cogenerazione dei rifiuti, digestione anaerobica, manipolazione meccanica, carbonizzazione delle scorie.

Letteratura sulle variabili relative alla dimensione Process Complexity

Una delle parti più delicate della SI è la fase inerente al waste management. Il trattamento dei rifiuti viene ampiamente approfondito nel testo "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment Industries" (Neuwahl et al., 2019), in cui vengono fornite informazioni sui processi comuni e sulle tecniche generali applicate alla gestione dei rifiuti.

La tipologia e la meticolosità di gestione del processo di trattamento definiscono la qualità del prodotto finale, una caratteristica distintiva per le imprese che ne determina la competitività sul mercato. Per tanto, si è ritenuto opportuno introdurre una dimensione di analisi per questa variabile, la quale non considera solo l'impiego delle risorse economiche associate al trattamento ma anche i vincoli tecnologici e normativi associati e, soprattutto, l'impatto ambientale che ne scaturisce.

I criteri rilevati nella valutazione della dimensione Process Complexity sono stati confrontati con la letteratura presente in ambito di simbiosi industriale. Di seguito vengono riportate le proxies riscontrate in letteratura:

- *Riduzione emissioni:* la riduzione delle emissioni è un fattore da tenere in considerazione quando si valuta la complessità del processo di trattamento della materia prima seconda. Gli EIP cercano di imitare l'efficienza dei processi viventi per promuovere sistemi di produzione e consumo più sostenibili, di conseguenza riducono le quantità di rifiuti (materiali ed emissioni) prodotti e convertono i sottoprodotti in materiali riutilizzabili prodotti e risorse (Roberts, 2004). Il trattamento specifico della pirolisi al plasma è stato studiato da (Bhatt et al., 2023). L'equipe della Nirma University ha riscontrato che il plasma termico è benefico per la rimozione dei composti tossici. Anche se il consumo energetico del processo di pirolisi al plasma è elevato a causa degli elevati requisiti di potenza, riduce il volume dei rifiuti con emissioni inquinanti minime. Ciò rende il processo di pirolisi del plasma un processo a "rifiuti zero" (Bhatt et al., 2023). Le tecnologie di ultima generazione consentono di trattare rifiuti con un elevato potere calorifico, evitando alcuni problemi ambientali, come l'emissione di composti altamente inquinanti (Marchi et al., 2017).
- *Trattamento:* uno dei vantaggi della creazione di poli di SI risiede nel poter sfruttare diverse tecnologie per il trattamento dei rifiuti. La condivisione degli utili, come il trattamento combinato delle acque reflue o la cogenerazione combinata di calore ed energia, coinvolge le imprese in progetti percepiti come a basso rischio e vantaggiosi dal punto di vista economico e ambientale, incoraggiando la partecipazione a ulteriori sviluppi del PEI con rischi maggiori (Gibbs & Deutz, 2007).
- *Costi associati al trattamento:* (Fraccascia & Giannoccaro, 2020) propongono una categoria di indicatori per misurare il valore economico creato dalla SI. Questi considerano, oltre ai costi di smaltimento rifiuti e di acquisto dei fattori produttivi, i costi operativi (ad esempio, i costi di trasporto dei rifiuti, il costo del trattamento dei rifiuti, costi di transazione della cooperazione di SI), i costi aggiuntivi o ricavi derivanti dalla vendita/acquisto di rifiuti al/dai partner in simbiosi, i guadagni aggiuntivi derivanti dalla vendita di nuovi prodotti generati grazie all'utilizzo di rifiuti, ecc.

Dimensione Hazardousness To Environment

La seconda e ultima variabile aggiuntiva chiamata Hazardousness To Environment esprime la pericolosità del trattamento della materia prima seconda, qualora fosse richiesto, in termini di impatto sociale e ambientale.

Le proxies selezionate per questa dimensione sono suddivise a seconda della categoria su cui impattano:

- Ambientale: presenza di metalli pesanti, solventi, prodotti chimici tossici, rifiuti radioattivi, emissioni di CO2 rilasciate durante il processo;
- Sociale: condizioni di lavoro, necessità di trattamento, presenza di agenti chimici, materiali nocivi alla salute umana, presenza di polveri sottili, presenza di trattamenti termici ad alte temperature, tipologia di processo (trasporto, stoccaggio, smaltimento).

I casi possibili per i valori che può assumere la dimensione considerata, sono di seguito brevemente commentati:

- Minore [$<$]: minore nel caso in cui il processo relativo al trattamento degli scarti di produzione, rispetto al trattamento della materia prima vergine, risulta poco pericoloso dal punto di vista ambientale e sociale. I criteri più riscontrati per questo caso sono stati trattamento assente, impiego di sostanze nocive;
- Uguale [=]: in questo caso il livello di HTE riscontrato per il processo di trattamento della materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine risulta simile. Questo è dovuto alla tipologia di trattamento da effettuare e al tipo di sostanze con cui si viene in contatto;
- Maggiore [$>$]: quando la pericolosità associata al processo di trattamento impatta maggiormente sulla sfera sociale e ambientale. Le proxies riscontrate durante la fase di analisi sono state la

richiesta del trattamento, utilizzo di sostanze nocive, prodotti chimici, fattori inquinanti, esposizione a trattamenti termici con temperature elevate.

La variabile HTE è strettamente collegata alla tipologia di scarto di produzione, perché da questo dipende la scelta di trattamento che si deve effettuare e soprattutto l'impatto sulla salute umana e sull'ambiente che ne scaturisce.

Per valutare l'impatto del trattamento degli scarti di produzione, un team di ricerca ha studiato il riutilizzo sostenibile dei materiali di scarto per il trattamento delle acque reflue in Africa.

Durante il loro lavoro si sono serviti di alcuni strumenti come "Environmental Impact Assessment" (Ngeno et al., 2022), usato per identificare gli impatti negativi e positivi di qualsiasi attività sugli esseri umani e sull'ambiente. Nel loro articolo "Sustainable re-utilization of waste materials as adsorbents for water and wastewater treatment in Africa: Recent studies, research gaps, and way forward for emerging economies" (2022) sostengono che la valutazione del rischio (Risk Assessment) è un processo scientifico che dipende dai seguenti tre fattori:

- Quanto di un fattore di stress è presente in un mezzo ambientale (ad es. suolo, acqua, aria) e su quale area geografica;
- Quanto contatto (esposizione) ha una persona o un recettore ecologico con il mezzo ambientale contaminato;
- In che modo influisce sulla salute degli esseri umani (ad esempio, tossicità) o sui recettori ecologici (ad esempio, pesci uccisi per mancanza di ossigeno) (Ngeno et al., 2022).

Dall'analisi condotta nel database MAESTRI, le acque reflue risultano essere un materiale di scarto molto comune. Viene impiegato per vari scopi all'interno dei processi industriali però necessita quasi sempre di un trattamento di bonifica e smaltimento finale, comportando l'utilizzo di prodotti chimici pericolosi e danni meccanici alle attrezzature.

Letteratura sulle variabili relative alla dimensione Hazardousness To Environment

Per avere un quadro completo di valutazione del progetto di simbiosi, è molto importante non trascurare la dimensione sociale e ambientale collegata all'impatto dei trattamenti degli scarti di produzione industriale.

Le proxies emerse nella valutazione della dimensione Hazardousness To Environment sono state confrontate con la letteratura presente in ambito di simbiosi industriale. Di seguito vengono riportate le proxies riscontrate in letteratura:

- *Grado di contaminazione:* la pericolosità del trattamento dei rifiuti industriali dipende anche dal grado di contaminazione degli stessi. Il destino dei composti sintetici che entrano nell'ambiente è determinato principalmente dal loro tasso di biodegradazione, che ha quindi un effetto importante sul grado di bioaccumulo e sul rischio di effetti eco tossicologici. Il grado e la velocità di biodegradazione sono inoltre di importanza cruciale per la fattibilità delle tecniche biologiche per la bonifica di siti e flussi di rifiuti contaminati (Martin H. Agteren, Sytze Keuning, 1998).
- *Riduzione delle emissioni:* per quanto riguarda la dimensione ambientale, la riduzione dell'impatto ambientale del sistema analizzato può essere quantificata sia dal punto di vista a monte che da quello a valle. La prospettiva a monte riguarda la misurazione della riduzione delle quantità di materiali, energia e acqua utilizzati come input dai processi industriali. In alternativa, la prospettiva a valle riguarda la misurazione della riduzione delle quantità di rifiuti solidi scaricati in discarica o smaltiti convenzionalmente, delle acque reflue scaricate, dei rifiuti energetici non sfruttati e delle emissioni di gas serra in atmosfera (Fraccascia & Giannoccaro, 2020).

- *Impatto ambientale*: (Damiani et al., 2022) dopo aver analizzato la letteratura sui metodi e modelli per la valutazione dell'impatto della biodiversità nell'LCA, hanno identificato 23 metodi validi di cui 17 basati sull'LCA e 6 che non utilizzano necessariamente i modelli di LCIA (Life Cycle Impact Assessment) nella fase di valutazione dell'impatto ambientale. Le variabili utilizzate nella valutazione dei metodi selezionati sono state: Uso del suolo, Uso dell'acqua, Emissioni di gas serra, Emissioni tossiche, Emissioni acidificanti, Altre emissioni atmosferiche, Emissioni di nutrienti, Specie invasive, Sovra-sfruttamento, Altre pressioni.

Rappresentazione della CSPM

Di seguito viene rappresentato il modello portfolio proposto sulla base della precedente discussione.

Il modello ideato da Kraljič è basato su una matrice a due dimensioni, all'interno della quale si individuano quattro macro-aree per inquadrare quattro categorie diverse di approvvigionamenti (v. Figura 57).

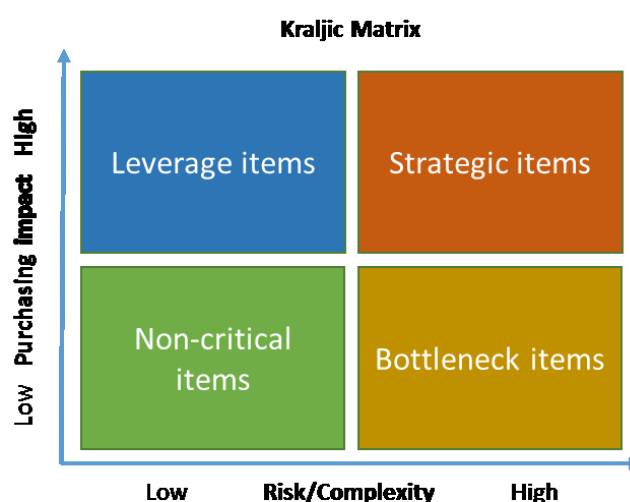


Figura 57 - Matrice di Kraljic

Il modello di approdo della CSPM è caratterizzato da una matrice basata sulle medesime due dimensioni principali (RC e PI), con la differenza che una di esse (RC) assume tre valori [$<$, $=$, $>$], individuando così sei macroaree.

All'interno di ogni macroarea o quadrante RC/PI è possibile poi distinguere ulteriori 9 quadranti risultanti dalla variabilità legata alle altre due dimensioni (HTE e PC).

Ne deriva il portfolio proposto e denominato "Circular Supplies Portfolio Matrix (CSPM)", che si compone quindi di 6 macroaree, ciascuna delle quali è composta da 9 quadranti interni; quindi, in totale, sono possibili 54 posizionamenti diversi a seconda dei valori assunti per ogni dimensione.

La differenziazione dei colori non assume nessun particolare significato, ma ha solo lo scopo di distinguere visivamente le macroaree presenti all'interno della matrice (v. Figura 58).

	HTE<	HTE=	HTE>	HTE<	HTE=	HTE>	HTE<	HTE=	HTE>	
PI Alto										PC>
										PC=
										PC<
PI Basso										PC>
										PC=
										PC<
	RC<			RC=			RC>			

Figura 58 - Rappresentazione della CSPM

I vari casi di circolarità possono posizionarsi in una macroarea piuttosto che in un'altra a seconda della collocazione rispetto alle dimensioni RC e PI.

Le combinazioni di valori che differenziano le sei macroaree rappresentate nella Figura 58 sono:

1. RC [$<$] & PI [basso]: area caratterizzata da RC inferiore per l'input materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine e PI basso riferito all'influenza che ha l'input materia prima seconda nei confronti del prodotto finale;
2. RC [$<$] & PI [alto]: area caratterizzata da RC inferiore per l'input materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine e PI alto riferito all'influenza che ha l'input materia prima seconda nei confronti del prodotto finale;
3. RC [=] & PI [basso]: area caratterizzata da RC uguale per l'input materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine e PI basso riferito all'influenza che ha l'input materia prima seconda nei confronti del prodotto finale;
4. RC [=] & PI [alto]: area caratterizzata da RC uguale per l'input materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine e PI alto riferito all'influenza che ha l'input materia prima seconda nei confronti del prodotto finale;
5. RC [$>$] & PI [basso]: area caratterizzata da RC maggiore per l'input materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine e PI basso riferito all'influenza che ha l'input materia prima seconda nei confronti del prodotto finale;
6. RC [$>$] & PI [alto]: area caratterizzata da RC maggiore per l'input materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine e PI alto riferito all'influenza che ha l'input materia prima seconda nei confronti del prodotto finale.

3.7. Obiettivo della Circular Supplies Portfolio Matrix

Lo strumento rappresentato dalla CSPM è rappresentativo del modello portfolio descritto nei paragrafi precedenti ed è stato ideato con la finalità di caratterizzare da un punto di vista strategico le possibili configurazioni di procurement in un contesto di potenziale circolarità, nonché identificare le configurazioni più favorevoli alla sua emersione.

Non consente di progettare e creare una rete di SI. Lo studio necessario per la progettazione e la creazione di un nuovo network collaborativo formato da imprese in simbiosi non rientra nei possibili utilizzi del modello CSPM, in quanto, p.es., sarebbe necessario includere fasi di raccolta dati alternate a test sul campo per ogni tipologia di flusso di materiale scambiato.

La CSPM è utilizzata per descrivere da un punto di vista strategico, mediante le 4 dimensioni, una data ISR e supportare la comprensione delle caratteristiche strategiche delle ISR di successo.

In particolare, per quanto riguarda l'applicazione ai casi di studio del progetto Maestri (casi di successo di SI che saranno illustrati nel capitolo seguente), la CSPM è utilizzata per identificare per quali valori delle 4 dimensioni di analisi l'economia circolare si sia sviluppata.

Questo potrebbe consentire di capire in quali casi per implementare la EC serva un intervento esterno di stimolo (p.es. un intervento di tipo top-down o facilitato).

Generalizzando, la CSPM potrebbe essere di aiuto per prevedere se future potenziali ISR siano destinate ad avere successo o meno.

Oppure, laddove non vi fossero i presupposti strategici tali da stimolare l'emersione del modello circolare, la CSPM potrebbe fornire degli alert ai policy makers per sollecitare la progettazione di opportuni incentivi ovvero sostegni del tipo matchmaking facilitati o top-down.

L'utilizzo del modello CSPM così come descritto richiede che sia semplice ed efficace la caratterizzazione di una data ISR secondo le quattro dimensioni. Pertanto, riveste grande importanza la selezione delle proxies che consentono di misurare le quattro dimensioni strategiche di analisi.

Validazione della CSPM

Per poter incominciare a validare la CSPM, ho condotto uno studio basato su analisi di casi multipli. Come descritto nel successivo capitolo, la validazione della CSPM ha richiesto un lavoro strutturato nelle seguenti quattro fasi:

1. Lo studio e l'analisi del database dei casi di SI e dei flussi di scambi di materia prima seconda presenti nel progetto MAESTRI;
2. La selezione dei casi presi come campione per testare la CSPM rispetto ai singoli materiali di scarto trattati;
3. La scelta delle proxies opportune per l'applicazione del modello;
4. Infine, il posizionamento dei casi analizzati in base alle proxies individuate per ogni variabile dimensionale presente nel CSPM.

4. Analisi dei casi di SI del progetto MAESTRI mediante la CSPM

4.1. Il progetto MAESTRI

L'associazione europea A.Spire

La fonte principale da cui sono stati tratti i casi di studio è il database MAESTRI (Progetto MAESTRI, 2020). Si tratta di un progetto di ricerca finanziato dall'Unione Europea che ha coinvolto l'associazione europea A.SPIRE.

A.SPIRE (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) è l'Associazione Europea che si impegna a gestire e implementare la Partnership co-programmata Processes4Planet. Rappresenta le industrie di processo innovative, il 20% del totale del settore manifatturiero europeo in termini di occupazione e fatturato e più di 180 soggetti interessati ai processi industriali e di ricerca provenienti da oltre 20 paesi sparsi in tutta Europa.

A.SPIRE riunisce i settori del cemento, della ceramica, della chimica, dell'ingegneria, dei minerali, dei metalli non ferrosi, della cellulosa e della carta, della raffinazione, dell'acciaio e dell'acqua, molti dei quali sono settori leader a livello mondiale che operano dall'Europa (ASPIRE2050.eu).

La missione di A.SPIRE è garantire lo sviluppo di tecnologie abilitanti e buone pratiche lungo tutte le fasi delle produzioni esistenti su larga scala della catena del valore che contribuiranno a un'industria di processo efficiente in termini di risorse (ASPIRE2050.eu).

Il progetto MAESTRI

Il progetto MAESTRI si è occupato dello sviluppo di una libreria composta da diversi casi di studio di successo di SI e di un database dei materiali scambiati, collegati tra loro con lo scopo di fornire potenziali idee di miglioramento della simbiosi industriale e opportunità per nuovi scambi simbiotici.

È una fonte di informazioni sulle implementazioni di Industrial Symbiosis esistenti in tutto il mondo, costruita utilizzando documenti pubblici (pubblicazioni scientifiche, ecc.).

A differenza degli archivi e degli strumenti di matchmaking esistenti, in cui l'utente registrato può identificare potenziali partner vicini per scambi specifici, il prototipo "Library of Case Studies" e l'"Exchanges Database" sono stati progettati come uno strumento ad accesso aperto. Non richiedono registrazione e forniscono supporto nell'identificazione di nuove idee per il riutilizzo alternativo dei rifiuti e il processo per implementarle (Progetto MAESTRI, 2020).

Il progetto MAESTRI si compone di un database (DB) di casi di SI raccolti attraverso un progetto di ricerca finanziato dal programma innovativo dell'European Union's Horizon 2020.

È composto da 46 casi di simbiosi industriale realizzati in tutto il mondo. Ogni caso di studio è organizzato in due differenti tabelle: Library of Case Studies (come mostrato parzialmente in figura 4) e l'Exchanges Database (come mostrato parzialmente in figura 5). In ogni tabella vengono riportate le seguenti informazioni.

Library of Case Studies

Questo elenco si riferisce alla tabella raffigurata in Figura 59, in cui il “caso di studio” rappresenta una situazione documentata in cui ci sono più industrie tra loro collegate che partecipano ad un processo di SI.

- *Case identification*: qui si riportano il numero identificativo del caso;
- *Source identification*: qui si riportano il numero di fonti identificative, la tipologia del documento (articolo, estratto di una conferenza, articolo di una conferenza, sito web, presentazione industriale, carta bianca), gli autori, l’anno di pubblicazione, titolo, link;
- *Case general information*: qui si riportano lo stato in cui si è sviluppato il caso di studio, tipologia di benefits quantificati, strumenti e metodologie per la quantificazione, livello di completamento;
- *Case description*: titolo del caso, descrizione del caso, sfida principale affrontata, barriere principali affrontate, approccio per superare le barriere, processo di scoperta, condizioni preliminari.

CASE IDENTIFICATION		SOURCE IDENTIFICATION					CASE GENERAL INFORMATION				Case title
Case Identifier	Source Identifier	Typology	Authors	Year of publication	Title	Link	Country	Benefits quantification Types of benefits quantified	Tool / methodology used for	Level of completion	
1	12	Paper	Nolamicola et al.	2016	Industrial symbiosis in the Taranto industrial district: current level, constraints and potential new synergies	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616300233	Italy	economic, environmental	ND	TBC	An Industrial Symbiosis-based restructuring proposal to overcome the environmental crisis affecting the steelwork-centred industrial district in Taranto, Italy
2	16	Paper	Pakarinen et al.	2010	Sustainability and industrial symbiosis - The evolution of a Finnish forest industry complex	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344910001036	Finland	ND	NA	C	The evolution of the pulp and paper mill on the river Kymijoki in Kuusankoski, Finland: a company driving Industrial Symbiosis in its district to follow market variability

Figura 59 - Library of Case Studies (Progetto MAESTRI, 2020)

Exchanges Database

Il seguente elenco fa riferimento alla tabella rappresentata in Figura 60, in cui con il termine “scambio” si fa riferimento ai flussi di materiali scambiati tra le industrie coinvolte per ogni caso di studio riportato.

- Exchange identification: qui viene riportato il codice identificativo dello scambio (identificativo del caso, numero di fonti identificative e numero progressivo per numerare gli scambi);
- Involved companies: qui viene riportato il nome della compagnia, il business principale e il codice NACE (classificazione statistica delle attività economiche nelle comunità europee) sia per l’azienda donatrice che per l’azienda ricevente;
- Exchange input description: qui viene riportato la descrizione della materia prima seconda, codice EWC (European Waste Catalogue), codice CPA (classificazione dei prodotti associati alle attività), codice CAS (Chemical Abstract Service), la pericolosità tramite EWC;
- Treatment description (se richiesto): qui viene riportato il proprietario del trattamento della materia prima seconda (donatore, ricevente, terzi), breve descrizione del trattamento, il nome della compagnia (se il trattamento è fatto da terzi), business della compagnia (se il trattamento è fatto da terzi), codice NACE (se il trattamento è fatto da terzi);
- Exchange details description: uso finale della materia prima seconda da parte dell’azienda ricevente, la disponibilità dei materiali scambiati nella fonte, la richiesta di una transazione economica per lo scambio e da parte di quale parte;
- Level of completion of the exchange: può essere implementato, pianificato o in corso di studio di fattibilità.

EXCHANGE IDENTIFICATION		INVOLVED COMPANIES						EXCHANGE DESCRIPTION							
Exchange Identifier ("Case Identifier, Source Identifier, Progressive number")	Donor			Receiver			Waste description	Exchange Input			EWK indicated as hazardous?	Owner of the treatment (donor/receiver/3rd party)	Treatment (if needed)		
	Company name	Main business	Sector (NACE)	Company name	Main business	Sector (NACE)		EWK code	CPA code	CAS code			Company (if owner is a third-party)	Business (if owner is a third-party)	
1.12.1	Enipower power station	Power plant	3511	ENI refinery	Refinery	1920	Vapour and demineralised water		360012		No	NA	NA	NA	NA
1.12.2	Enipower power station	Power plant	3511	ENI refinery	Refinery	1920	Electricity		351110		No	NA	NA	NA	NA
1.12.3	Enipower power station	Power plant	3511	ENI refinery	Refinery	1920	Water, condensing vapour		360012		No	NA	NA	NA	NA
1.12.4	ENI refinery	Refinery	1920	Enipower power station	Power plant	3511	Fuel gas		192026		No	NA	NA	NA	NA
1.12.5	ENI refinery	Refinery	1920	Enipower power station	Power plant	3511	Fuel oil		192028		No	NA	NA	NA	NA
1.12.6	ILVA	Steelworks	2410	Enipower power station	Power plant	3511	Demineralised water		360012		No	NA	NA	NA	NA
1.12.7	ILVA	Steelworks	2410	Edison power station	Power plant	3511	Exhaust gas	100299			No	NA	NA	NA	NA
1.12.8	Edison power station	Power plant	3511	ILVA	Steelworks	2410	Electricity		351110		No	NA	NA	NA	NA
1.12.9	Edison power station	Power plant	3511	ILVA	Steelworks	2410	Steam		355011		No	NA	NA	NA	NA
1.12.10	ILVA	Steelworks	2410	CEMENTIR	Cement production	2351	Mill scales	100210	201219	1309371	No	NA	NA	NA	NA
1.12.11	ILVA	Steelworks	2410	CEMENTIR	Cement production	2351	BF slag	100202	081213		No	NA	NA	NA	NA
1.12.12	CEMENTIR	Cement production	2351	NO	Construction materials production	2361	Coal fly ash	100102	244530		No	NA	NA	NA	NA

Figura 60 - Exchanges Database (Progetto MAESTRI, 2020)

4.2. I casi di studio esaminati

Con l'analisi dei casi del progetto MAESTRI è stato possibile individuare un campione di 20 casi di studio scelti in base alle quantità di informazioni disponibili, in quanto non per tutti i 46 casi presenti nel database vi sono informazioni complete per ogni dimensione citata nel paragrafo precedente.

Il criterio principale di selezione dei casi di studio è stato la variabile "Brief description of the treatment" (Progetto MAESTRI, 2020). Nel momento in cui si è rilevata la presenza di un trattamento nei confronti della materia prima seconda, si è preso in esame quel caso in modo da poter applicare al meglio il modello sviluppato.

Nella seguente Tabella 24 sono riportati il numero identificativo del caso, il titolo della pubblicazione di riferimento che lo descrive, lo stato in cui si sviluppa il processo di SI e l'elenco dei materiali di scarto scambiati tra le aziende.

Durante la fase di selezione dei dati riportati nel database, si è posta particolare attenzione nei riguardi dell'elenco dei flussi delle materie prime seconde, per poter in seguito analizzare gli effetti che questi hanno avuto sulle aziende riceventi.

Identificativo del caso	Titolo	Stato	Materiali scambiati	Fonte
1	Industrial symbiosis in the Taranto industrial district: current level, constraints and potential new synergies	Italia	Vapore e acqua demineralizzata, Elettricità, Mare e acqua di pozzo, vapore condensato, Gas combustibile, Olio combustibile, Acqua demineralizzata, Gas di scarico, Vapore, Scaglie di laminazione, Scorie BF, Ceneri volanti di carbone, Rifiuti di costruzione e demolizione, Vinacce e fecce, Acque reflue di frantoio, Calore di scarto, Liquido di raffreddamento di scarto, Refrattarie, BOFS come aggregato, Cenere volante	(Notarnicola et al., 2016)

2	Sustainability and industrial symbiosis - The evolution of a Finnish forest industry complex	Finlandia	Elettricit�, CO2, Carbonato di calcio, Biossido di cloro, Idrossido di sodio, Corteccia, Acque reflue, Cloro, Fango	(Pakarinen et al., 2010)
6	Industrial symbiosis in Gladstone: a decade of progress and future development	Australia	Rivestimenti di celle esaurite, Materiali solventi di scarto, Ceneri volanti di carbone, Acque reflue, Acqua, Fertilizzante, Scisto esaurito, Pneumatici vecchi, Gas acido, Fango rosso, Liquore sterile, Materiali refrattari, Polveri e fini di coke metallurgico, Cenere di fondo, Acido solforico, Calce spenta, Scorie d'acciaio, Lubrificanti di scarto	(Golev et al., 2014) (Van Beers et al., 2007)
8	Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea—From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis	Corea del Sud	Rifiuti organici, Rifiuti industriali, Vapore, Acqua pura, Recupero di zinco, Recupero di rame	(Park et al., 2008)
10	Industrial Symbiosis in China. A Case Study of the Guitang Group	Cina	Melassa, Fango filtrante, Anidride carbonica usata, Bagassa, Residui di alcol, Liquore nero	(Zhu et al., 2007)
13	A case of industrial symbiosis: Nanning Sugar Co., Ltd. In China	Cina	Canna, Melassa, Fanghi di filtraggio, Passo di bagassa, Gas di scarico, Acqua di sbiancamento, Liquido nero, Alcalini, Acque bianche	(Yang & Feng, 2008)
14	Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area	India	Gusci di riso, CO2, Alcool isopropilico, Bagassa, Melassa, Ceneri di caldaia e volatili, Fanghi ETP, Fondi di caff� esauriti, Biomassa carburante, Ceneri volatili, Fondi di caff� disidratati, Cocco residuo, Segatura, Ceneri di caldaia	(Bain et al., 2010)
15	Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial	Svezia	Calore, Materiali organici polverosi, Rifiuti tipo colla, Pellet di plastica, Rifiuti di vetro, Acque reflue, Etanolo, Rifiuti organici	(Mirata & Emtairah, 2005)

	symbiosis programme			
17	PODEBA: an industrial symbiosis case	Italia	Deiezioni di pollame	(Dall'Ara et al., 2015)
20	Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges	UK	Rifiuti urbani, Rifiuti plastici	(Mirata, 2004)
25	Plastica Alfa	Italia	Rifiuti di polpa di frutta, Biomassa lignocellulare, CO2, Acqua di smaltimento	(Falqui Luciano & Cutaia Laura, n.d.)
26	L'esperienza pilota di Simbiosi Industriale in Emilia-Romagna: metodologia e risultati del Progetto "Green"	Italia	Calore, Scarti di produzione alimentare, Rifiuti agricoli, imballaggi e fanghi, Imballaggi, Fanghi, Rifiuti di legno e imballaggi	(Cutaia Laura & Scagliarino Claudia, 2014)
27	Quantifying the environmental performance of an industrial symbiosis network of biofuel producers	Svezia	Trucioli di legno, Calore, Grani essiccati di distilleria con sostanze solubili, impurità, Foraggio sottile e impurità filtrate, Digestato, Grani	(M. Martin, 2015)
29	Industrial symbiosis of very large-scale photovoltaic manufacturing	USA	Metalli, Vetro, Plastiche, Rifiuti biodegradabili di cucina e mensa, Giornali, Pasta di legno, Calore di scarto, Semiconduttori in fin di vita	(Pearce, 2008)
31	Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A	Cina	Vapore, Polvere di cenere volante, Gas di carbone, Solfato di ammonio, Scorie d'altoforno, Scorie d'acciaio, Scarti di acciaio,	(L. Dong et al., 2013)

	case in China by applying HPIMO model		Scarti di plastica, Pneumatici di scarto, Scarti di cibo	
32	Uncovering opportunity of low-carbon city promotion with industrial system innovation: Case study on industrial symbiosis projects in China	Cina	Vapore, Gas di altoforno, Gas di carbone, Fango rosso, Scorie d'altoforno, Scorie d'acciaio, Gesso, Scorie di cromo, Scarti d'acciaio, Scarti di plastica, Acque reflue	(L. Dong et al., 2014)
36	Opportunities through Industrial Symbiosis: UK NISP and Global Experience	UK	Talco in polvere contaminato da plastica	(Laybourn, 2013)
43	Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki	Giappone	Scarti d'auto, Elettrodomestici dismessi, Scarti di plastica, Scarti d'altoforno, Scarti di carta, Fanghi di carta, Fanghi di depurazione	(H. Dong et al., 2014)
45	Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: a case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District	Cina	Rifiuti di circuiti stampati, fogli di rame, fanghi contenente rame	(Wen & Meng, 2015)
46	From Refining Sugar to Growing Tomatoes	UK	Pietre separate durante il lavaggio delle barbabietole da zucchero, Terreno separato durante il lavaggio delle barbabietole da zucchero, Carbonato di calcio, Bagassa, Calore, CO2, Resine residue dal processo di cristallizzazione dello zucchero, Zucchero di scarto dalla separazione delle resine	(Short et al., 2014)

Tabella 24 - Casi di studio selezionati dal progetto MAESTRI

Rappresentazione dei flussi analizzati

Per esaminare nel dettaglio i casi di SI, è stata sviluppata una tabella riportante tutti i dati inerenti agli input delle materie prime seconde estrapolati dal database MAESTRI.

Riporto di seguito una vista della tabella creata (Figura 61), a mezzo della quale ho analizzato tutti i flussi di materiali scambiati tra le aziende coinvolte nei singoli casi di simbiosi industriale.

Per ogni flusso sono stati considerati i seguenti attributi:

- Caso: il nome del caso di SI con un codice identificativo numerico;
- Rifiuti: l'elenco dei diversi rifiuti coinvolti;
- Waste: l'elenco dei rifiuti estrapolato dal DB MAESTRI (alcuni vengono ripetuti perché partecipano a più flussi di scambio);
- Company name receiver: il nome dell'azienda che riceve la materia di scarto;
- Main business: di cosa si occupa l'azienda ricevente;
- Final use of the waste by the receiver company: l'uso finale per il quale si utilizza il materiale di scarto;
- Motivazione complessità: la motivazione a supporto del valore attribuito alla variabile SR;
- Supply Risk: valore assunto dalla dimensione SR;
- Input Impact Point: valore assunto dalla dimensione IIP;
- Motivazione importanza: la motivazione a supporto del valore attribuito alla variabile IIP;
- Tipologia trattamento: il tipo di trattamento fatto per il materiale di scarto;
- Motivazione complessità: la motivazione a supporto del valore attribuito alla variabile PC;
- Process Complexity (se richiesto): valore assunto dalla dimensione PC;
- Hazardousness To Environment: valore assunto dalla dimensione HTE;
- Motivazione pericolosità: la motivazione a supporto del valore attribuito alla variabile HTE.

I valori descritti in precedenza sono rappresentati nella tabella dei flussi di scambio (Figura 61). Si possono distinguere due categorie principali di attributi (Tabella 25):

Attributi estratti da DB MAESTRI	Waste, Company name receiver, Main business, Final use of the waste by the receiver company, Tipologia trattamento
Attributi aggiunti	Caso, Rifiuti, Motivazione complessità, Supply Risk, Input Impact Point, Motivazione importanza, Process Complexity (se richiesto), Hazardousness To Environment, Motivazione pericolosità

Tabella 25 - Categorie degli attributi della tabella dei flussi di scambio

Della prima categoria fanno parte gli attributi Waste, Company name receiver, Main business, Final use of the waste by the receiver company, Tipologia trattamento.

La seconda categoria riguarda tutti gli attributi aggiunti per migliorare la qualità di analisi dei flussi di scambio dei materiali. Ne fanno parte gli attributi Caso, Rifiuti, Motivazione complessità, Supply Risk, Input Impact Point, Motivazione importanza, Process Complexity (se richiesto), Hazardousness To Environment, Motivazione pericolosità.

In aggiunta, è stata applicata una scala di colori per i valori relativi a quattro attributi in particolare (Supply Risk, Input Impact Point, Process Complexity, Hazardousness To Environment), in modo tale da poter apportare una differenziazione visiva. Questi saranno utilizzati per strutturare un approccio di analisi e supporto per la realizzazione della simbiosi industriale, il quale sarà descritto nel paragrafo successivo.

4.3. Descrizione e valutazione dei casi

Nel seguente paragrafo vengono descritti e valutati i casi analizzati che, come detto, sono stati estratti dal database MAESTRI (Progetto MAESTRI, 2020).

L'obiettivo è consistito nella definizione di un metodo opportuno per il posizionamento dei casi studiati ("transazioni simbiotiche") all'interno della CSPM.

Nello specifico, con il termine "transazioni simbiotiche" si fa riferimento a tutti gli scambi (flussi) documentati tra le industrie per ogni singolo caso di simbiosi industriale presente nel database.

Gli scambi riscontrati hanno coinvolto diverse categorie di flussi, come ad es.:

- Energia elettrica
- Calore di scarto o vapore
- Acque reflue o demineralizzate
- Scarti di produzione industriale
- Additivi o sostanze chimiche
- Rifiuti urbani
- Rifiuti agroalimentari

Sono stati presi in considerazione 20 casi dei 46 totali presenti nel DB MAESTRI, individuati in base alla presenza di operazioni di trattamento per le materie prime seconde scambiate.

In questo modo è stato possibile applicare l'approccio CSPM proposto. I dati presenti nelle tabelle che seguono sono il risultato di una selezione delle proxies valutate nell'analisi di tutti i singoli flussi di materiali scambiati.

Dopo aver identificato le categorie di input e analizzato le singole MPS trattate, per poter effettuare un corretto posizionamento dei casi nella CSPM, ho schematizzato e valutato ogni caso di studio in una tabella.

La tabella utilizzata presenta i seguenti attributi:

- Nome del caso: il nome che contraddistingue ogni caso;
- Dimensione: la tipologia di variabile presente del CSPM;
- Dominio: i possibili valori attribuibili alla dimensione;
- Valore attribuito: il valore scelto in base al caso analizzato;
- Proxy: la tipologia di proxy valutata per dimensione (l'aggiunta di "*" denota la presenza della variabile nella letteratura di supporto riportata nel Capitolo 3);
- Argomentazione di supporto: descrizione delle motivazioni a supporto della decisione.

Successivamente si riportano alcune informazioni aggiuntive estratte dal DB MAESTRI quali:

- Numero flussi totali: il numero dei flussi per ogni caso riportati nel DB MAESTRI;
- Materiali scambiati: tutti i materiali scambiati per ogni caso di studio;
- Processi di trattamento: i processi di trattamento specifici effettuati per gli scarti di produzione;
- Tipo di emersione: la tipologia di emersione del caso di SI (Spontanea, Facilitata o Indotta).

Spesso all'interno delle tabelle, nella sezione 'Informazioni aggiuntive', il numero di flussi non coincide con il numero di materiali scambiati. Questo perché a volte gli stessi materiali coinvolti nel processo di SI sono impiegati in diverse tipologie di scambi.

Infine, ho posizionato ogni caso nella CSPM a seguito della valutazione svolta.

Nel seguito riporto le tabelle descrittive per ogni caso considerato.

Tabelle descrittive

1. SI nell'area industriale di Taranto

A Taranto, provincia dell'Italia meridionale, è stato rilevato un distretto industriale incentrato sull'acciaieria ILVA, con la presenza di raffinerie di petrolio, centrali elettriche, aziende di cemento e costruzioni, ma anche piccole industrie agroalimentari e una grande fabbrica di birra. L'area comprende anche il comune di Taranto.

Nome del caso	1-Taranto			
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Costi di trasporto	La ristretta vicinanza geografica consente di costruire rapidi collegamenti tra le imprese coinvolte nel distretto
PI	Alto/Basso	Alto	Prestazioni tecniche	La qualità dell'input impatta fortemente sulle specifiche tecniche e meccaniche del prodotto finale
PC	</=>	<	Consumo energetico	Le scaglie di laminazione devono essere trasformate in pellet e bricchette sinterizzate. Questo trattamento richiede un dispendio energetico inferiore
HTE	</=>	=	Presenza di materiali nocivi	Entrambi (scaglie e minerale di ferro) richiedono l'utilizzo di macchinari pesanti con la generazione di polvere o particelle sottili, potenzialmente infiammabili o irritanti per le vie respiratorie
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	45			
Materiali scambiati	Vapore e acqua demineralizzata, Elettricità, Mare e acqua di pozzo, vapore condensato, Gas combustibile, Olio combustibile, Acqua demineralizzata, Gas di scarico, Vapore, Scaglie di laminazione, Scorie BF, Ceneri volanti di carbone, Rifiuti di costruzione e demolizione, Vinacce e fecce, Acque reflue di frantoio, Calore di scarto, Liquido di raffreddamento di scarto, Refrattarie, BOFS come aggregato, Cenere volante			
Processi di trattamento	Le scaglie di laminazione devono essere trasformate in pellet e bricchette sinterizzate.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 26 - Caso Taranto

2. Il complesso industriale delle foreste finlandesi

La cartiera UPM Kymi è stata fondata nel 1872. Da allora, la cartiera ha attraversato periodi alternativi di alta e bassa produzione, adottando sempre approcci simbiotici, anche se non ufficialmente riconosciuti come simbiosi industriale, per adattarsi alle mutevoli condizioni di mercato. Un distretto industriale si è lentamente sviluppato accanto alla cartiera, includendo centrali elettriche, diverse aziende chimiche e impianti di trattamento delle acque, e impegnandosi in alcuni scambi anche con la vicina municipalità.

Nome del caso	2-UPM Kymi			
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Reperibilità del materiale	Il maggior numero di collegamenti tra gli attori ha permesso di ridurre i flussi di materiali e le emissioni di gas serra rispetto alla produzione autonoma.
PI	Alto/Basso	Basso	*Qualità di processo	La qualità del processo non dipende dalla fonte di approvvigionamento del carburante/elettricità
PC	</=>	<	Autore trattamento	Il trattamento delle acque reflue viene effettuato da terzi, alleggerendo il processo produttivo del sito
HTE	</=>	<	Tipologia trattamento	Attualmente tutti i rifiuti pericolosi vengono raccolti separatamente e trattati con metodi appropriati.
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	17			
Materiali scambiati	Elettricità, CO2, Carbonato di calcio, Biossido di cloro, Idrossido di sodio, Corteccia, Acque reflue, Cloro, Fango			
Processi di trattamento	La corteccia viene bruciata per ottenere il riscaldamento; L'acqua deve essere purificata; Le acque reflue vengono raccolte e trattate prima di inviare i fanghi alla centrale elettrica.			
Tipo di emersione	Spontanea			

Tabella 27 - Caso UPM Kymi

3. Si a Gladstone

Gladstone è uno dei principali distretti industriali minerari dell'Australia. Il distretto di imprese è situato nel Queensland, vicino al comune di Gladstone, ed è composto principalmente da aziende di produzione di alluminio e raffinerie di allumina, industrie del cemento, centrali elettriche, impianti di estrazione del petrolio, acciaierie, raffinerie di nichel e cobalto. Le principali peculiarità dell'area di Gladstone sono i confini geografici relativamente ampi e la vasta presenza di aziende legate alle attività di produzione di allumina.

Nome del caso	6-Gladstone			
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Costo di approvvigionamento	Riduzione costi associati ai carburanti tradizionali, costi di trasferimento inferiori
PI	Alto/Basso	Alto	*Qualità di prodotto	L'input viene utilizzato direttamente nel processo di produzione influenzando la qualità del prodotto finale
PC	</=>	>	Consumo energetico	L'attuale modello di sviluppo industriale a Gladstone comporta un aumento significativo dell'impatto ambientale, nonostante l'ampia introduzione dei miglioramenti di eco-efficienza nei siti
HTE	</=>	>	Presenza di sostanze nocive	Vengono adoperati prodotti chimici, le acque possono contenere virus, possono coinvolgere le attrezzature con danni meccanici
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	21			
Materiali scambiati	Rivestimenti di celle esaurite, Materiali solventi di scarto, Ceneri volanti di carbone, Acque reflue, Acqua, Fertilizzante, Scisto esaurito, Pneumatici vecchi, Gas acido, Fango rosso, Liquore sterile, Materiali refrattari, Polveri e fini di coke metallurgico, Cenere di fondo, Acido solforico, Calce spenta, Scorie d'acciaio, Lubrificanti di scarto			
Processi di trattamento	I solventi di scarto vengono trattati prima di essere consegnati al produttore di cemento; Le acque reflue vengono pulite e le acque di scarico vengono separate e smaltite; L'ammoniaca viene separata dal gas acido e raccolta; Lo zolfo viene separato dal gas acido e raccolto; Il particolato e la polvere vengono aggregati per formare mattoni.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 28 - Caso Gladstone

4. Il parco industriale di Ulsan

Il parco industriale di Ulsan, in Corea del Sud, è uno dei sei parchi coinvolti nel progetto gestito dal 2006 dal Korea National Cleaner Production Centre, affiliato all'Istituto coreano di tecnologia industriale, in collaborazione con il Ministero coreano del Commercio, dell'Industria e dell'Energia, con l'obiettivo di guidare i parchi industriali esistenti nel passaggio ai parchi eco-industriali. Il parco di Ulsan è stato fondato nel 1962 e si è poi rapidamente espanso, includendo aziende petrolchimiche, produttori di metalli non ferrosi e aziende del settore navale e automobilistico. All'epoca della fondazione del parco, il governo coreano, che forniva indicazioni e supporto, si preoccupava principalmente della crescita e dello sviluppo industriale del Paese e quindi l'impatto ambientale non è stato preso in considerazione nella progettazione del distretto.

Nome del caso		8-Ulsan		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	*Differenziazione dei fornitori	Normalmente le biomasse necessitano di collaborazioni con diversi settori con varie disponibilità
PI	Alto/Basso	Basso	*Qualità di prodotto	L'input usato non influenza la qualità del prodotto finale
PC	</=>	=	*Tipologia di trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
HTE	</=>	=	Tipologia di trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	10			
Materiali scambiati	Rifiuti organici, Rifiuti industriali, Vapore, Acqua pura, Recupero di zinco, Recupero di rame			
Processi di trattamento	Il rifiuto organico è accumulato e trasformato in biogas			
Tipo di emersione	Spontanea			

Tabella 29 - Caso Ulsan

5. Il Gruppo Guitang

La regione autonoma del Guangxi Zhuang (provincia del Guangxi, nella Cina centro-meridionale) è una delle più importanti province cinesi per quanto riguarda la produzione di zucchero. La regione ospita il Gruppo Guitang, che gestisce una delle più grandi raffinerie di zucchero della Cina e che è stato fondato dallo Stato nel 1956 (in seguito è diventato una società per azioni di proprietà di Shenzhen Huaqiang Holdings Limited). Il Gruppo Guitang ha gradualmente incorporato la simbiosi industriale nelle sue operazioni, seguendo strategie di simbiosi interna ed esterna per rispondere alle fluttuazioni del mercato. Le sue attività hanno portato alla creazione di un complesso industriale, che attualmente comprende aziende alimentari e di bevande, chimiche e di cemento, nonché impianti di pasta di legno e carta.

Nome del caso		10-Guitan		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Struttura mercato di fornitura	Stretti rapporti con i fornitori attraverso contratti a lungo termine
PI	Alto/Basso	Alta	*Qualità di prodotto	L'input usato influenza la qualità del prodotto finale consentendo alla compagnia maggiori profitti
PC	</=>	<	Tipologia di ente	Perché adoperato dal donatore che rilascia l'input pronto per il ricevente
HTE	</=>	<	*Emissioni CO2	Riduzione complessiva delle emissioni
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	8			
Materiali scambiati	Melassa, Fango filtrante, Anidride carbonica usata, Bagassa, Residui di alcol, Liquore nero			
Processi di trattamento	La bagassa viene bruciata per produrre energia. L'energia viene utilizzata dal donatore stesso, ma le ceneri generate vengono inviate ai produttori di fertilizzanti; Gli alcali vengono recuperati dal liquore nero e rispediti alla cartiera. Il liquame bianco risultante viene inviato all'impianto di carbonato di calcio.			
Tipo di emersione	Spontanea			

Tabella 30 - Caso Guitan

6. Il caso Nanning Sugar

Nanning Sugar Co., Ltd. è una delle più grandi aziende saccarifere della Cina, con sede nella regione autonoma di Guangxi Zhuang (provincia di Guangxi, nella Cina centro-meridionale). Negli ultimi decenni, l'azienda si è orientata verso un'integrazione permanente della simbiosi industriale nella sua strategia di sviluppo. Pur ricercando un vantaggio competitivo e migliorando il proprio impatto ambientale, l'azienda è riuscita a creare un grande distretto dominato da un unico settore industriale (la produzione di zucchero), ma caratterizzato anche da un elevato grado di diversità, che comprende produttori di alcolici e fertilizzanti, industrie agroalimentari, cementifici, aziende produttrici di cellulosa e carta, legno e prodotti chimici.

Nome del caso	13-Nanning			
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Competitività di prezzo	La compagnia si assicura un prezzo bloccato per gli input di produzione
PI	Alto/Basso	Alta	*Qualità di prodotto	L'input usato influenza la qualità del prodotto finale consentendo alla compagnia maggiori profitti
PC	</=>	<	*Riduzione emissioni	Centralizzando le misure di controllo dell'inquinamento per recuperare le acque reflue, di alcol, residui industriali e gas di scarico, la compagnia ha eliminato le emissioni inquinanti
HTE	</=>	<	*Emissioni CO2	Riduzione totale delle emissioni
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	10			
Materiali scambiati	Canna, Melassa, Fanghi di filtraggio, Passo di bagassa, Gas di scarico, Acqua di sbiancamento, Liquido nero, Alcalini, Acque bianche			
Processi di trattamento	La melassa deve essere prima trasformata in alcool, e poi dalle scorte di alcool è possibile ottenere fertilizzanti composti; Le piazzole di bagassa devono essere bruciate in caldaie per ottenere ceneri di carbone; L'acqua di sbiancamento viene inviata alle caldaie dove si ottengono le ceneri di carbone; Il liquido nero viene utilizzato per recuperare gli alcali e i fanghi di calce ottenuti in questo processo vengono inviati alla produzione di cemento; L'acqua deve essere recuperata dalle acque bianche.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 31 - Caso Nanning

7. SI in un'area industriale indiana

Le due città vicine di Nanjangud e Mysore, nello Stato del Karnataka, nell'India meridionale, ospitano un ampio e diversificato gruppo di aziende industriali, tra cui piccole e grandi imprese multinazionali. I principali settori industriali rappresentati nell'area industriale di Nanjangud (NIA) sono i produttori di alimenti e bevande, le industrie agroalimentari, le aziende chimiche e di pasta di legno e carta, i produttori di calcestruzzo e di prodotti in legno.

Nome del caso	14-NIA			
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Struttura mercato di fornitura	La compagnia ricicla i propri rifiuti generando nuovi benefici a costo zero
PI	Alto/Basso	Bassa	*Qualità di prodotto	L'input usato non influenza la qualità del prodotto
PC	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
HTE	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	16			
Materiali scambiati	Gusci di riso, CO2, Alcool isopropilico, Bagassa, Melassa, Ceneri di caldaia e volatili, Fanghi ETP, Fondi di caffè esauriti, Biomassa carburante, Ceneri volatili, Fondi di caffè disidratati, Cocco residuo, Segatura, Ceneri di caldaia			
Processi di trattamento	L'energia elettrica è ottenuta dalla lolla di risaia per mezzo di un digestore a metano, e viene poi trasportata attraverso un collegamento diretto non legato alla rete; La CO2 viene compressa in un impianto di compressione e resa disponibile per altri processi; I sacchi vengono bruciati per produrre energia. L'energia viene utilizzata dal donatore stesso, ma le ceneri generate vengono inviate agli agricoltori locali; I gusci di riso vengono bruciati per produrre elettricità e vapore; La segatura viene bruciata per ottenere il calore.			
Tipo di emersione	Spontanea			

Tabella 32 - Caso NIA

8. La città industriale di Landskrona

La città industriale di Landskrona, nel sud-ovest della Svezia, è il primo esempio di attuazione ufficiale del programma di simbiosi industriale nel suo Paese, avviato nel 2003. L'area comprende più di venti aziende di diverse dimensioni e di diversi settori industriali (tra cui acciaierie, aziende chimiche, stampa e settore automobilistico, gestione dei rifiuti, industrie agroalimentari e altro). Il programma è stato finanziato e promosso dalla NUTEK (Agenzia svedese per lo sviluppo delle imprese) ed è stato facilitato dai ricercatori dell'Istituto internazionale di economia ambientale industriale (IIIEE) e dell'Università di Lund. Sono state coinvolte aziende della regione e tre agenzie pubbliche locali.

Nome del caso		15-Landskrona		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	*Condivisione delle informazioni	Vantaggi commerciali grazie al miglioramento delle relazioni con le parti esterne, allo sviluppo di un'immagine verde, a nuovi prodotti e a nuovi mercati.
PI	Alto/Basso	Bassa	*Qualità di prodotto	L'input usato non influenza la qualità del prodotto
PC	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
HTE	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	10			
Materiali scambiati	Calore, Materiali organici polverosi, Rifiuti tipo colla, Pellet di plastica, Rifiuti di vetro, Acque reflue, Etanolo, Rifiuti organici			
Processi di trattamento	I materiali organici polverosi vengono trasformati in bricchette / Le bricchette vengono bruciate e il calore viene inviato all'entità urbana; I pellet vengono bruciati e il calore viene inviato all'entità urbana.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 33 - Caso Landskrona

9. Il progetto PODEBA

Il progetto "PODEBA - Utilizzo delle deiezioni avicole per la fase di bagnatura nell'industria conciaria" è stato condotto dall'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA) in collaborazione con i rappresentanti italiani e spagnoli dei produttori di prodotti in pelle. Anche diverse industrie agroalimentari sono state coinvolte nel progetto come donatori di materiali di scarto.

Nome del caso	17-PODEBA			
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Struttura mercato di fornitura	Molti fornitori si sono offerti per prendere parte al progetto
PI	Alto/Basso	Alta	*Qualità di prodotto	Le deiezioni influenzano notevolmente il processo di conciatura
PC	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
HTE	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	1			
Materiali scambiati	Deiezioni di pollame			
Processi di trattamento	Maturazione e stabilizzazione delle biomasse con riduzione delle emissioni odorose.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 34 - Caso PODEBA

10. Programma di SI in UK

La regione delle West Midlands, situata nell'area intorno a Birmingham, è stata al centro di un progetto di implementazione della simbiosi industriale guidato dal National Industrial Symbiosis Programme (NISP) nel Regno Unito. In questo caso, il NISP ha sfruttato l'interesse suscitato dal precedente programma attuato nella regione di Humber e ha cercato di ripetere e migliorare l'esperienza. Le West Midlands sono un'area industriale che comprende, tra le altre, industrie automobilistiche, di produzione di metalli, di plastica e gomma e di trasformazione alimentare.

Nome del caso		20-Birmingham		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Reperibilità materiale	Rimozione di quantità significative di carichi pericolosi dal trasporto di rifiuti con l'utilizzo dell'Humber Bundle
PI	Alto/Basso	Basso	*Qualità di prodotto	I rifiuti urbani vengono usati come combustibile
PC	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
HTE	</=>	<	*Emissioni di CO ₂ , SO ₂ e NO _x	Riduzione sostanziale delle emissioni tramite l'uso di impianti CHP
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	5			
Materiali scambiati	Rifiuti urbani, Rifiuti Plastici			
Processi di trattamento	I rifiuti vengono trattati per ottenere biocombustibile / Il biocombustibile viene bruciato in un impianto di cogenerazione			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 35 - Caso Birmingham

11. Il progetto BIO4BIO

Il progetto "BIO4BIO", sostenuto dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) e guidato dall'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA), mira a valorizzare gli scarti dell'agroindustria, uno dei settori industriali più diffusi nel Sud Italia. Nell'ambito di questo progetto, sono stati identificati e valutati diversi nuovi scambi simbiotici nella regione Sicilia, coinvolgendo produttori di prodotti plastici, produttori di succhi di frutta, produttori di mangimi, produttori di biocombustibili e industrie agroalimentari.

Nome del caso		25-BIO4BIO		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Costi di produzione	Una bioraffineria efficiente può garantire minimizzazione dei costi e un prodotto finale competitivo
PI	Alto/Basso	Alto	*Qualità di prodotto	I materiali contribuiscono alla qualità delle alghe
PC	</=>	<	Consumo energetico	Riduzione del consumo di energia dovuto ai nuovi impianti
HTE	</=>	<	*Emissioni di CO ₂ , SO ₂ e NO _x	Le nuove bioraffinerie spesso generano energia in eccesso dai prodotti di scarto, che viene poi immessa nella rete, riducendo spesso le emissioni nette di CO ₂ dell'intero processo complessivo
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	4			
Materiali scambiati	Rifiuti di polpa di frutta, Biomassa lignocellulare, CO ₂ , Acqua di smaltimento			
Processi di trattamento	Essiccazione dei rifiuti di polpa di frutta; Processo di pirolisi.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 36 - Caso BIO4BIO

12. SI in Emilia-Romagna

Il progetto "Green Economy e sviluppo sostenibile" è stato avviato nel 2013 dall'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente (ENEA). L'obiettivo del progetto era quello di individuare nuovi potenziali scambi simbiotici nella regione Emilia-Romagna, una delle regioni più industrializzate d'Italia. Le principali aziende che hanno partecipato al progetto sono state industrie alimentari, agroindustriali, produttrici di combustibili o di energia elettrica, produttrici di prodotti plastici, aziende chimiche.

Nome del caso				
26-Emilia-Romagna				
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Costi di produzione	Trattamento di imballaggi di scarto
PI	Alto/Basso	Alto	*Qualità di prodotto	Influenza la qualità della plastica
PC	</=>	=	Capacità di trattamento	Stessa capacità rispetto alle materie prime
HTE	</=>	=	Sostanze nocive	Esposizione a sostanze chimiche e rischi d'incendio
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	18			
Materiali scambiati	Calore, Scarti di produzione alimentare, Rifiuti agricoli, imballaggi e fanghi, Imballaggi, Fanghi, Rifiuti di legno e imballaggi			
Processi di trattamento	L'imballaggio viene trattato per diventare biopolimero			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 37 - Caso Emilia-Romagna

13. SI a Norrköping

Il comune di Norrköping in Svezia ospita una rete di simbiosi industriale consolidata e ben sviluppata. In particolare, l'area urbana e le attività industriali e agricole circostanti hanno sviluppato nel tempo una serie di scambi e connessioni simbiotiche, mostrando una sempre maggiore attenzione alle problematiche ambientali e di scarsità di risorse e di sicurezza. Le principali aziende della rete provengono dall'industria forestale, dall'agroindustria e dal settore della produzione di elettricità/gas. Sull'isola di Händelö, di fronte alla città di Norrköping, si trova una centrale combinata di calore ed elettricità, e nel corso degli anni sull'isola si è sviluppato un intero distretto industriale simbiotico incentrato sulla produzione di energia e combustibili.

Nome del caso				
27- Händelö				
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Costi di trasporto	Costi di trasporto inferiori rispetto alle materie prime
PI	Alto/Basso	Basso	*Qualità di prodotto	Non influenza la qualità del prodotto in quanto viene usato il cippato come combustibile
PC	</=>	=	Tipologia trattamento	Andrebbe effettuato lo stesso trattamento alle materie prime
HTE	</=>	<	*Emissioni CO2	Netto risparmio di emissioni di CO2
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	9			
Materiali scambiati	Trucioli di legno, Calore, Grani essiccati di distilleria con sostanze solubili, impurità, Foraggio sottile e impurità filtrate, Digestato, Grani			
Processi di trattamento	Il cippato viene convertito in energia elettrica da un impianto di cogenerazione; Il foraggio sottile deve essere raffreddato da 70 C a 38 C per il processo di digestione anaerobica.			
Tipo di emersione	Spontanea			

Tabella 38 - Caso Händelö

14. Il mercato fotovoltaico

Data la crescente domanda mondiale di energia e la scarsità di combustibili fossili, le celle solari fotovoltaiche (PV) sono sempre più considerate come una delle alternative più adatte e sostenibili. Tuttavia, la loro fabbricazione richiede una notevole quantità di energia e di risorse, lavorate da aziende come i produttori di vetro piano e di moduli fotovoltaici, oltre che di semiconduttori. Lo studio qui richiamato rappresenta un primo studio di fattibilità per introdurre il concetto di simbiosi industriale nella produzione di celle fotovoltaiche, al fine di renderle più competitive con particolare riferimento al mercato statunitense.

Nome del caso				
29-PV Market				
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Costi di produzione e di trasporto	Costi di produzione inferiori dovuti al processo di fusione. Costi di trasporto inferiori dovuti alla vicinanza geografica
PI	Alto/Basso	Alto	*Costi generali	Minori costi e maggiori profitti
PC	</=>	<	Impatto sui macchinari	Aumento della vita utile della fornace del 30%
HTE	</=>	<	*Emissioni CO2	Netto risparmio di emissioni di CO2, SO2, Nox e particolati
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	10			
Materiali scambiati	Metalli, Vetro, Plastiche, Rifiuti biodegradabili di cucina e mensa, Giornali, Pasta di legno, Calore di scarto, Semiconduttori in fin di vita			
Processi di trattamento	I metalli vengono prima trattati dall'azienda di riciclaggio e poi l'alluminio viene inviato all'industria che lo tratta e lo trasforma in binari di alluminio; Il vetro viene prima trattato dall'azienda di riciclaggio, inviato all'azienda che lo trasforma in lastre di vetro a basso contenuto di ferro.			
Tipo di emersione	Spontanea			

Tabella 39 - Caso PV Market

15. Complesso industriale di Liuzhou (Cina)

Liuzhou è una città industriale della Cina meridionale, nella provincia di Guangxi, sede di un grande distretto industriale, composto principalmente da industrie pesanti come quella siderurgica, automobilistica, del cemento, chimica e della produzione di energia. Nel distretto sono sempre stati attuati spontaneamente alcuni scambi simbiotici, in particolare quelli che coinvolgono le aziende siderurgiche e cementiere, formando il parco industriale dell'economia circolare di Liuzhou. Negli ultimi anni, il governo nazionale e quello locale hanno coinvolto aziende e ricercatori nell'identificazione di nuovi potenziali scambi da attuare nel distretto.

Nome del caso		31- Liuzhou		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	*Costi di trasporto e tempi di consegna	Costi di trasporto e tempi di consegna inferiori dovuti alla vicinanza geografica
PI	Alto/Basso	Alto	*Sostituibilità dell'input	Sostituibilità come input di produzione rispetto alla materia prima seconda
PC	</=>	<	Consumi energetici	Riduzione complessiva dei consumi energetici
HTE	</=>	<	*Emissioni CO2	Risparmio di emissioni di CO2, SO2, Nox e particolati
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	13			
Materiali scambiati	Vapore, Polvere di cenere volante, Gas di carbone, Solfato di ammonio, Scorie d'altoforno, Scorie d'acciaio, Scarti di acciaio, Scarti di plastica, Pneumatici di scarto, Scarti di cibo			
Processi di trattamento	L'acciaio deve essere separato dagli altri metalli; I pneumatici devono essere bruciati nei forni per ottenere il calore di processo.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 40 - Caso Liuzhou

16. Complesso industriale di Jinan (Cina)

Jinan è la città più grande e la capitale della provincia di Shandong, in Cina. La storia e l'economia di Jinan sono strettamente legate alla sua industria siderurgica, una delle più importanti della zona e dell'intero Paese. Oltre alla società siderurgica, Jinan ospita anche diverse aziende chimiche e produttori di cemento. Il governo locale ha sostenuto la società siderurgica nel corso degli anni per consentire la creazione di un distretto simbiotico incentrato su questa attività. Dopo il 2005, il progetto ha acquisito visibilità a livello nazionale e ha iniziato a includere scambi con la comunità locale.

Nome del caso				
32-Jinan				
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	>	*Costi di trasporto e tempi di consegna	Costi di trasporto e tempi di consegna maggiori dovuti ai tratti nelle condutture
PI	Alto/Basso	Alto	Qualità tecniche	Impatta sulle qualità tecniche del prodotto finale
PC	</=>	<	Consumi materiali	Riduzione complessiva dei materiali consumati
HTE	</=>	<	*Emissioni CO2	Risparmio di emissioni di CO2, SO2, Nox e particolati
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	13			
Materiali scambiati	Vapore, Gas di altoforno, Gas di carbone, Fango rosso, Scorie d'altoforno, Scorie d'acciaio, Gesso, Scorie di cromo, Scarti d'acciaio, Scarti di plastica, Acque reflue			
Processi di trattamento	Cattura del carbonio tramite carbonizzazione delle scorie; L'acciaio deve essere separato dagli altri metalli.			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 41 - Caso Jinan

17. Stabilimento Michelin di Ballymena, UK

Michelin è una grande azienda con stabilimenti di produzione in tutto il mondo. I flussi di rifiuti della produzione di pneumatici sono numerosi e di natura diversa, come ad esempio il nerofumo, il talco, ecc. Con l'aiuto del National Industrial Symbiosis Programme (NISP), lo stabilimento britannico di Ballymena (Irlanda del Nord) ha affrontato il problema della gestione dei rifiuti in una prospettiva di simbiosi industriale.

Nome del caso		36-Michelin		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	>	Struttura mercato di fornitura	Più semplice approvvigionarsi di talco vergine
PI	Alto/Basso	Alto	Supporto al prodotto finale	Assorbimento dell'umidità da parte del talco
PC	</=>	>	Richiesta trattamento	Risulta più semplice acquistare talco vergine rispetto al trattamento per la separazione del talco dalla plastica
HTE	</=>	>	Richiesta trattamento	Concentrazione di polveri sottili durante il trattamento
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	1			
Materiali scambiati	Talco in polvere contaminato da plastica			
Processi di trattamento	Separazione di talco e plastica			
Tipo di emersione	Facilitata			

Tabella 42 - Caso Michelin

18. Complesso industriale di Kawasaki (Giappone)

Kawasaki è una delle città più grandi del Giappone, situata tra Tokyo e Yokoama. È sempre stata una delle aree industriali più produttive del Paese, ospitando 74 impianti industriali. Le aziende presenti nell'area appartengono principalmente ai settori siderurgico, cementiero, chimico e della pasta di legno e della carta. L'attuazione della simbiosi industriale nell'area è stata guidata principalmente dal Comune, con il sostegno del Ministero dell'Ambiente e del Ministero dell'Economia, del Commercio e dell'Industria.

Nome del caso		43-Kawasaki		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Sostituibilità dell'input	Le scorie d'alto forno possono sostituire il clinker, riducendo considerevolmente le emissioni industriali
PI	Alto/Basso	Alto	Qualità meccaniche	Miglioramento proprietà meccaniche, sostituzione parziale degli aggregati
PC	</=>	<	Tipologia trattamento	Bisogna solo recuperare l'acciaio dalle auto e ridurre le emissioni
HTE	</=>	<	Richiesta trattamento	Il processo classico richiede più fasi e di conseguenza maggiore pericolosità
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	10			
Materiali scambiati	Scarti d'auto, Elettrodomestici dismessi, Scarti di plastica, Scarti d'altoforno, Scarti di carta, Fanghi di carta, Fanghi di depurazione			
Processi di trattamento	Le auto vengono smantellate e i rottami d'acciaio recuperati; Gli elettrodomestici vengono smantellati e i rottami di acciaio recuperati.			
Tipo di emersione	Indotta			

Tabella 43 - Caso Kawasaki

19. Il nuovo complesso industriale di Suzhou (Cina)

La città di Suzhou, nella provincia di Jiangsu, in Cina, ospita una delle più grandi zone nazionali di sviluppo industriale Hi-Tech. Il distretto industriale è stato istituito nel 1992 e da allora è cresciuto fino a comprendere industrie elettroniche, siderurgiche, tessili e chimiche.

Nome del caso		45-Suzhou		
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Costo di fornitura	Rifornimento meno oneroso rispetto all'estrazione della MP
PI	Alto/Basso	Alto	*Qualità prodotto	Influisce sulle qualità del prodotto finale
PC	</=>	<	Tipologia trattamento	Bisogna solo recuperare il rame dai rifiuti anziché estrarlo
HTE	</=>	<	Richiesta trattamento	Il processo classico richiede più fasi e di conseguenza maggiore pericolosità
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	2			
Materiali scambiati	Rifiuti di circuiti stampati, fogli di rame, fanghi contenente rame			
Processi di trattamento	Il rame viene recuperato dai rifiuti.			
Tipo di emersione	Indotta			

Tabella 44 - Caso Suzhou

20. British Sugar (UK)

British Sugar è uno dei maggiori produttori di zucchero del Regno Unito, acquisito da AB Sugar nel 1991. L'azienda è cresciuta negli anni anche grazie alla simbiosi industriale e al ruolo sempre più importante svolto dal commercio dei suoi sottoprodotti. L'azienda ha commercializzato materiali di scarto con una varietà di industrie, come la paesaggistica, l'edilizia, la produzione di mangimi per animali, l'agroalimentare, la cosmetica, la produzione di biocarburanti e bevande.

Nome del caso				
46-British Sugar				
Dimensione	Dominio	Valore attribuito	Proxy	Argomentazione di supporto
RC	</=>	<	Disponibilità di fornitura	Le materie prime seconde vengono estratte durante altri processi di produzione e riutilizzate
PI	Alto/Basso	Alto	*Qualità prodotto	Miglioramento proprietà del prodotto finale
PC	</=>	<	Autore trattamento	Il trattamento del CO2 prodotto viene fatto da una società terza
HTE	</=>	=	Tipologia di trattamento	Il processo di compressione della CO2 è molto simile
Info aggiuntive				
Numero flussi totali	10			
Materiali scambiati	Pietre separate durante il lavaggio delle barbabietole da zucchero, Terreno separato durante il lavaggio delle barbabietole da zucchero, Carbonato di calcio, Bagassa, Calore, CO2, Resine residue dal processo di cristallizzazione dello zucchero, Zucchero di scarto dalla separazione delle resine			
Processi di trattamento	Le pietre vengono separate e pulite; I sacchi vengono pressati ed essiccati e si producono pellet per l'alimentazione animale; La CO2 viene compressa in un impianto di compressione e resa disponibile per altri processi.			
Tipo di emersione	Spontanea			

Tabella 45 - Caso British Sugar

4.4. Analisi dei casi mediante la CSPM

Di seguito (in Figura 62) viene proposto il posizionamento dei casi descritti nella sezione precedente, all'interno della CSPM. I domini attribuiti ad ogni caso sono effetto della valutazione sintetica sulla base dei valori maggiormente riscontrati per le proxies associate a ogni dimensione.

	HTE<	HTE=	HTE>	HTE<	HTE=	HTE>	HTE<	HTE=	HTE>	
PI Alto			6						36	PC>
		17,26								PC=
	10,13,25,2 9,31,43,45	1,46					32			PC<
PI Basso										PC>
	20,27	8,14,15								PC=
	2									PC<
	RC<			RC=			RC>			

Figura 62 - Posizionamento dei casi nel modello CSPM

Il posizionamento dei casi offre alcuni spunti per la discussione. È interessante notare come più di 1/3 dei casi di SI si posizioni nel quadrante caratterizzato da RC inferiore, PI alto, PC inferiore e HTE inferiore. Le aziende in questione hanno lavorato alla riprogettazione dei propri modelli di business per ridurre i costi e, allo stesso tempo, migliorare la sostenibilità delle proprie attività. Questo cambiamento richiede consapevolezza e una revisione totale delle proprie conoscenze per ridurre il consumo di risorse e le emissioni e per passare ad un efficiente modello di simbiosi industriale (Demartini et al., 2022).

Fattori di successo come l'instaurazione di stretti legami con i fornitori, trattamento di materiali meno onerosi e dai molteplici utilizzi e la creazione di una rete informativa in condivisione sono stati essenziali per lo sviluppo dei poli in simbiosi, portando ad una riduzione complessiva dei costi associati alla filiera di produzione, delle emissioni di sostanze inquinanti e dell'energia impiegata.

In generale, nei casi di studio trattati si denota una complessità inferiore del mercato di approvvigionamento della materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine. Questa peculiarità accomuna la maggior parte dei casi che sono posizionati nella parte sinistra della matrice. Ciò denota una propensione da parte delle imprese ad utilizzare sempre più materiali riciclati o scarti di produzione, provenienti internamente o esternamente, come input nel proprio processo di produzione.

Un'altra dimensione da considerare è quella relativa all'impatto che l'input ha sulla performance complessiva del prodotto realizzato dall'azienda cliente. Con l'analisi condotta è stato possibile rilevare che, in più della metà dei casi, le aziende non solo hanno adoperato scarti di produzione nel proprio processo produttivo, ma ne hanno anche beneficiato economicamente, in quanto i "waste materials" hanno impattato positivamente sulla qualità del prodotto finale.

PC e HTE si sono rivelate due dimensioni che mostrano una certa correlazione. Se la complessità di trattamento della materia prima seconda rispetto alla materia prima vergine risulta essere inferiore, allora, spesso, anche la pericolosità del trattamento si comporta di conseguenza. La tipologia di trattamento e la

riduzione delle emissioni hanno giocato un ruolo chiave nella valutazione di queste due dimensioni. Infatti, le imprese coinvolte hanno impostato le transazioni simbiotiche e, di conseguenza, i successivi trattamenti, in modo tale da ridurre l'impatto ambientale e rendere più agevole il trattamento degli scarti di produzione.

Discostandosi dalla cella più popolata, nella quale la simbiosi è totalmente favorevole sotto ogni aspetto, ci si potrebbe soffermare sulle celle in cui ricade un numero minimo di casi e discuterne le cause. Ad esempio, ci sono due casi particolari caratterizzati dal valore di PC e HTE "maggiore". Nella SI del gruppo Michelin (caso 36) vengono trattati, da parte di un'impresa terza, flussi di talco in polvere contaminato da plastica, la quale recupera il talco per la produzione di involucri per funghi. Analizzando i dati a disposizione, si può considerare solamente la richiesta di un trattamento aggiuntivo rispetto al talco vergine e ciò comporta anche una maggiore esposizione a polveri sottili durante il trattamento rispetto all'acquisto di talco vergine già pronto all'uso.

Diversamente nel caso 6 si è riscontrato un problema strutturale, legato all'impostazione del modello industriale da parte delle imprese a Gladstone, il quale ha causato un aumento significativo dell'impatto ambientale, nonostante l'ampia introduzione dei miglioramenti di eco-efficienza nei siti (Golev et al., 2014). Le previsioni per il futuro vedono una potenziale riduzione degli impatti ambientali da parte del suddetto polo industriale, attuabile però solo attraverso una stretta collaborazione tra le industrie con la creazione di nuove sinergie e il supporto del governo locale.

Pur avendo difficoltà nell'approvvigionamento dell'energia a causa dell'instabilità delle caratteristiche fisiche e dai costi di trasporto elevati, nel progetto di SI nella città di Jinan (caso 32) si riscontra una considerevole riduzione delle emissioni di CO₂ pari a 3944.05 ktCO₂/anno attraverso la creazione di 13 scambi simbiotici per il riciclaggio dei rifiuti plastici, il riciclaggio dei rottami di pneumatici e delle ceneri volanti (L. Dong et al., 2014).

Un aspetto interessante riscontrato nei casi studiati riguarda il tipo di barriere che le imprese hanno dovuto affrontare per implementare il modello di SI. Le principali sono state la concentrazione delle aziende sul proprio core business e lo sviluppo di nuove tecnologie. La prima è stata affrontata sviluppando un tipo di emersione facilitato, coinvolgendo enti di ricerca che si sono occupati dell'identificazione dei potenziali scambi di materiali ed energia, così da alleggerire il lavoro delle aziende e provare la fattibilità della simbiosi. Invece il problema dello sviluppo di nuove tecnologie è stato trattato attraverso la collaborazione con università e centri di sviluppo (caso 10), oppure attraverso un programma di forti investimenti in attività di ricerca e sviluppo da parte del governo locale (caso 43).

4.5. Considerazioni sull'applicazione della CSPM per l'analisi dei casi

Lo studio dei casi del database MAESTRI si è rivelato particolarmente utile per strutturare e testare il modello matriciale proposto in questo elaborato.

L'uso dell'approccio CSPM per il posizionamento dei casi di simbiosi industriale offre vantaggi significativi, ma presenta anche alcune limitazioni da considerare. Tale modello consente di valutare e confrontare i casi di simbiosi industriale in base a quattro dimensioni chiave, fornendo una visione complessiva delle opportunità da sviluppare e delle sfide da affrontare.

L'approccio sviluppato dimostra di essere un utile modello manageriale per la valutazione di un potenziale modello industriale di simbiosi. Può essere facilmente applicato per confrontare qualsiasi caso di SI. Tuttavia, è importante considerare che il modello matriciale inevitabilmente semplifica la realtà e può presentare delle limitazioni.

Rispetto a quanto affermato nel paragrafo 3.7, utilizzo la CSPM per identificare le condizioni favorevoli alla EC. Da questo punto di vista, la disponibilità e l'affidabilità dei dati del progetto Maestri ci hanno consentito di utilizzare il modello, ovvero effettuare una selezione di proxy e compiere un esercizio di posizionamento, con riferimento ad un certo numero di casi di SI di successo.

La disponibilità e l'affidabilità di dati riconducibili ad altre aree della matrice, potrebbe consentire di validare anche le altre aree della matrice stessa.

A conclusione di questo esercizio è risultato evidente l'importanza della selezione delle proxies per misurare le quattro dimensioni di analisi. Tale scelta è, a sua volta, molto influenzata dalla disponibilità e dall'affidabilità di dati che consentano di valorizzare le proxies.

In questo contesto, i valori di rischio di approvvigionamento e d'impatto sulla profittabilità aziendale si sono dimostrati criteri facilmente disponibili per valutare il posizionamento dei casi all'interno della matrice. Resta possibile l'applicazione di ulteriori criteri, a seconda dell'obiettivo di analisi e del tipo di stakeholder che sta valutando le possibilità di SI (Patricio et al., 2022).

In conclusione, il modello CSPM si è rivelato promettente per la valutazione delle variabili strategiche associabili a casi di simbiosi industriale di successo.

Sulla base della disponibilità e dell'affidabilità dei dati, è possibile applicarlo anche a contesti differenti per validare uno strumento che potrebbe consentire di identificare le opportunità di maggiore rilievo per la realizzazione della circolarità.

4.6. Implicazioni

Teoriche

I principali contributi teorici di questo lavoro possono essere così descritti:

1. *Collegamento tra due ambiti della letteratura scientifica.* I due ambiti del waste management e della simbiosi industriale non hanno finora mostrato evidenze di interazione, nonostante entrambi gli ambiti sono relazionati al tema unificante dell'economia circolare. Tale collegamento è stato effettuato nell'analisi della letteratura nel paragrafo 1.4.
2. *Framework generale di confronto tra SI e WM.* Presentato nel paragrafo 3.1, il framework di confronto di dettaglio dei due approcci in prospettiva EC è basato sulla teoria dei costi di transazione. Ha l'obiettivo di motivare, sulla base del successo ottenuto dall'approccio WM, la necessità di estendere anche alla SI il modello dell'attore specializzato operante sul mercato e capace di chiudere il ciclo a partire dalla gestione ottimale del rifiuto finalizzata all'ottenimento di materia prima seconda.
3. *Proposta di definizione della SI.* Presentata nel paragrafo 3.2, la nuova definizione è funzionale al posizionamento della SI all'interno di un framework unico insieme al WM e rispetto sia alla EC che alla WH.
4. *Ideazione di un nuovo framework integrato per SI, WM e WH.* Presentato nel paragrafo 3.2, il modello è stato ideato per posizionare gli approcci SI e WM sia rispetto alla EC che alla WH e per andare incontro all'esigenza di realizzazione della circolarità dove, alla capacità verticale del WM di sviluppare tecnologie per gestire il singolo rifiuto, si affianca in modo complementare la capacità trasversale della SI di saper individuare le circolarità con l'obiettivo di implementarle. Contribuisce così al migliore posizionamento di SI e WM rispetto alla gerarchia dei rifiuti superando il modello

(limitativo) secondo cui SI e WM sarebbero in competizione sui vari livelli della WH per approdare ad un modello che adotta un approccio basato sulla complementarità dove SI e WM, rispetto ad ogni livello della WH, cooperano in modo sinergico con l'unico obiettivo di realizzare la circolarità nel migliore modo possibile. In questo modo si mettono insieme in modo virtuoso gli aspetti migliori dei due approcci e cioè la capacità tecnico-economica di saper trattare i rifiuti in modo verticale da parte del WM e la capacità di saper fare dialogare le organizzazioni per superare le barriere non tecniche dall'altro, tipico della SI.

5. *Portfolio per gli approvvigionamenti circolari.* La CSPM è stata presentata nel paragrafo 3.5 e il modello sottostante ambisce a supportare le politiche differenziate di approvvigionamento ed estendere l'approccio che Kraljic ha adottato nel caso della produzione lineare al caso della produzione circolare (è questo uno dei temi di maggiore rilievo che emerge quando si osservano gli approcci SI e WM dalla prospettiva olistica della realizzazione della circolarità)

Manageriali

Lo strumento rappresentato dalla CSPM è stato ideato con la finalità di identificare le condizioni strategiche favorevoli per l'emersione della circolarità. È stata utilizzata per descrivere una data ISR mediante quattro dimensioni strategiche con l'obiettivo di individuare per quali valori di tali variabili di analisi, l'economia circolare si sia sviluppata.

Questo potrebbe consentire di capire in quali casi per implementare la EC serva un intervento esterno di stimolo (p.es. un intervento di tipo top-down o facilitato).

Inoltre, nell'ambito di una possibile generalizzazione della CSPM, si potrebbe prevedere se future potenziali ISR siano destinate ad avere successo o meno: dove non esistano le condizioni per avere successo ma ve ne fosse la necessità ai fini della ecosostenibilità, la CSPM potrebbe aiutare i policy makers per progettare interventi esterni del tipo matchmaking facilitati o top-down.

I risultati raggiunti nel presente lavoro, consentono di poter suggerire che anche la SI possa porre l'enfasi sul rifiuto quale unità di analisi a partire dalla quale poter costruire la circolarità in un'ottica di integrazione con l'approccio del WM come presentato nel framework integrato WHWMbIS presentato nel par. 3.2.

Questa unità, comune al WM, consentirebbe di facilitare l'integrazione tra i due approcci.

Policy

Indicazioni ai policy makers per armonizzare la normativa a tutti i livelli della WH per integrare gli approcci SI e WM in un unico framework che si rispecchi in un quadro normativo aggiornato.

Conclusioni e sviluppi futuri

La SI è un approccio il cui potenziale sembra non del tutto conseguito, nonostante il progredire della tecnologia, l'impegno delle istituzioni e la consapevolezza crescente dell'importanza della sostenibilità.

È pertanto necessario sviluppare approcci, metodologie e strumenti che possano favorirne l'adozione e l'implementazione in modo più diffuso. Ciò potrà aprire nuove opportunità per la creazione di reti di collaborazione, scambio di risorse, riduzione degli sprechi e di ottimizzazione delle catene del valore.

Le proposte di questo lavoro hanno l'ambizione di dare un contributo in tale direzione.

La SI è considerata una promettente modalità operativa che consente alle aziende di transitare da una produzione di tipo lineare a una di tipo circolare. Per sviluppare un modello di SI, le aziende sostituiscono i propri input primari con le materie prime seconde derivanti dai processi produttivi di altre imprese, costruendo una rete di riutilizzo degli scarti di produzione.

Tuttavia, questa transizione può risultare molto complessa poiché richiede alle aziende di riconsiderare e ristrutturare i rapporti all'interno della filiera, gestendo l'introduzione dei rifiuti e valutandone l'impatto sullo sviluppo del prodotto, nonché affrontando gli aspetti finanziari e le risorse tecnologiche.

Di conseguenza, è fondamentale fornire alle aziende strumenti di supporto alle decisioni in grado di esplorare, quantificare e catturare i risultati derivanti da tali cambiamenti. Questi strumenti dovrebbero sostenere le aziende nella pianificazione strategica, nella progettazione, nell'implementazione e nella gestione delle loro reti di simbiosi industriale o, più in generale, di circolarità.

Nel presente lavoro è stato realizzato un primo tentativo di collegamento tra due ambiti della letteratura scientifica (waste management e simbiosi industriale) che non hanno finora mostrato evidenze di interazione, nonostante siano entrambi relazionati al tema unificante dell'economia circolare.

Tale collegamento è promettente per gli eventuali sviluppi futuri congiunti nella prospettiva comune della realizzazione della circolarità.

È stato presentato un framework generale di confronto tra SI e WM in prospettiva EC. Basato sulla teoria dei costi di transazione, ha l'obiettivo di giustificare, sulla base del successo ottenuto dall'approccio WM, la necessità di estendere anche alla SI il modello dell'attore specializzato operante sul mercato e capace di chiudere il ciclo a partire dalla gestione ottimale del rifiuto finalizzata all'ottenimento di materia prima seconda.

È stata proposta una nuova definizione di SI che è funzionale alla sua integrazione all'interno di un framework unico insieme al WM e rispetto sia alla EC che alla WH. È stato quindi proposto un nuovo framework ideato per integrare gli approcci di SI e WM sia rispetto alla EC che alla WH. Tale framework va incontro all'esigenza di realizzazione della circolarità con un modello basato sulla complementarietà tra SI e WM.

In questo nuovo modello, SI e WM, rispetto ad ogni livello della WH e alle strategie "R", cooperano in modo sinergico con l'unico obiettivo di realizzare la circolarità affiancando, in modo complementare, alla capacità verticale del WM di sviluppare tecnologie per gestire il singolo rifiuto, la capacità trasversale della SI di saper individuare le circolarità con l'obiettivo di realizzarle facendo integrazione di sistema.

Inoltre, ai fini della realizzazione della circolarità, è stata evidenziata l'importanza strategica per le imprese della scelta tra materia prima vergine e materia prima seconda.

Per supportare tale scelta, è stato presentato un nuovo modello di portfolio per gli approvvigionamenti circolari, denominato “Circular Supplies Portfolio Matrix” (CSPM) e strutturato secondo una matrice a quattro dimensioni.

Il modello sottostante la CSPM ambisce ad estendere al caso della produzione circolare l’approccio che Kraljic ha adottato nel caso della produzione lineare e a supportarne le politiche differenziate di approvvigionamento.

Tale modello rappresenta un approccio volto a meglio comprendere alcuni aspetti strategici della transizione verso un modello economico circolare, in modo da favorirla.

La messa a punto del modello è avvenuta mediante l’analisi dei dati relativi ad alcuni casi concreti di SI presenti nel database messo a disposizione dal Progetto Europeo MAESTRI.

La presenza di trattamenti sui materiali di scarto è stato il criterio principale di selezione dei casi. Dopo aver selezionato un campione di 20 casi di SI dal DB MAESTRI, si è passati alla fase di posizionamento degli stessi all’interno della CSPM.

Lo studio dei singoli flussi di materiali scambiati tra le imprese coinvolte nei casi di simbiosi industriale considerati, ha consentito di individuare alcune variabili “proxy” utili per posizionare i casi nella CSPM.

Consultando la letteratura in ambito SI ed EC, è stato possibile verificare l’appropriatezza delle variabili utilizzate per stimare ognuna delle quattro dimensioni di analisi della matrice e così caratterizzare i casi di studio. Tale fase di analisi dei dati e di confronto con la letteratura è stata molto delicata perchè è stato necessario effettuare un lungo lavoro di confronto tra quanto presente nei paper descrittivi dei casi di studio e lo stato dell’arte della letteratura in ambito SI e EC.

Il portfolio per il posizionamento dei casi si è rivelato utile per comprendere, rispetto alle quattro dimensioni di analisi, quali celle risultano popolate e fanno emergere la collocazione che appare più favorevole alla realizzazione della circolarità.

L’iniziale popolamento della matrice con i dati dei casi di SI annoverati nel progetto MAESTRI, ha consentito di evidenziare che l’approccio è promettente.

L’evoluzione del lavoro svolto riguarda sia una più rigorosa identificazione delle proxies che il loro corretto utilizzo per la stima affidabile delle quattro dimensioni della CSPM e, di conseguenza, il corretto posizionamento dei casi di circolarità.

Riguarda altresì l’estensione dello studio a casi noti e ben documentati con dati affidabili in modo da avere la possibilità di popolare l’intera CSPM.

L’applicazione finale del modello dovrà riguardare la capacità di previsione strategica, come strumento di supporto alle decisioni, per managers e policy makers, rispetto a casi di circolarità non ancora realizzata.

In tal senso un possibile sviluppo della ricerca riguarda una cernita delle proxies effettuata in modo ancora più approfondito e su un insieme ancora più vasto di variabili in modo da consolidare un insieme di proxies che possa rappresentare in modo adeguato i temi più ricorrenti e di maggiore rilievo nell’ambito della EC.

È questo un tema molto importante e delicato perché intercetta al tempo stesso sia il tema della disponibilità di dati che il tema della reale capacità di misurazione delle proxies dei fenomeni reali e quindi è fondamentale articolare le proxies per operazionalizzare le dimensioni del portfolio.

Bibliografia

- Aguilar-Hernandez, G. A., Sigüenza-Sanchez, C. P., Donati, F., Merciai, S., Schmidt, J., Rodrigues, J. F. D., & Tukker, A. (2019). The circularity gap of nations: A multiregional analysis of waste generation, recovery, and stock depletion in 2011. *Resources, Conservation and Recycling*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104452>
- Almer, C., & Goeschl, T. (2015). The Sopranos Redux: The Empirical Economics of Waste Crime. *Regional Studies*, 49(11). <https://doi.org/10.1080/00343404.2013.854323>
- Andreatta, D., & Favarin, S. (2020). Features of transnational illicit waste trafficking and crime prevention strategies to tackle it. *Global Crime*, 21(2). <https://doi.org/10.1080/17440572.2020.1719837>
- Andreatta, D., Favarin, S., Lisciandra, M., & Millemaci, E. (2022). Digging into waste: an analysis of waste crime in the Italian provinces. *Regional Studies*. <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2135697>
- Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.027>
- Araujo Galvão, G. D., De Nadae, J., Clemente, D. H., Chinen, G., & De Carvalho, M. M. (2018). Circular Economy: Overview of Barriers. *Procedia CIRP*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.011>
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Baird, J., Curry, R., & Cruz, P. (2014). An overview of waste crime, its characteristics, and the vulnerability of the EU waste sector. *Waste Management and Research*, 32(2). <https://doi.org/10.1177/0734242X13517161>
- Benedict, M., Kosmol, L., & Esswein, W. (2018). Designing industrial symbiosis platforms - From platform ecosystems to industrial ecosystems. *Proceedings of the 22nd Pacific Asia Conference on Information Systems - Opportunities and Challenges for the Digitized Society: Are We Ready?, PACIS 2018*.
- Bhatt, K. P., Patel, S., Upadhyay, D. S., & Patel, R. N. (2023). In-depth analysis of the effect of catalysts on plasma technologies for treatment of various wastes. *Journal of Environmental Management*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118335>
- Bocconi, U. (2022). Screening the efficiency of packaging waste in Europe. *Green Centre:2022, May*. <https://www.conai.org/en/news/a-comparative-study-on-the-efficiency-of-european-epr-systems-presented-in-brussels/>
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5). <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Buczma, S. R. (2020). Fighting waste crime: legal and practical challenges: What lesson has been learned more than ten years after the adoption of Directive 2008/99? *ERA Forum*, 21(3). <https://doi.org/10.1007/s12027-020-00639-1>
- Caniëls, M. C. J., & Gelderman, C. J. (2005). Purchasing strategies in the Kraljic matrix - A power and dependence perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 11(2-3). <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2005.10.004>
- CEN-FSS-ENEA. (2023). 5° RAPPORTO SULL'ECONOMIA CIRCOLARE IN ITALIA - 2023. *Circular Economy Network, May 2023*.

- CEN, E. C. for S. (2018). Industrial Symbiosis: Core Elements and Implementation Approaches. *CWA 17354:2018, December*. https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/CWAs/RI/cwa17354_2018.pdf
- Chatha, K. A., & Jalil, M. N. (2022). Complexity in three-echelon supply chain network and manufacturing firm's operational performance. *Computers and Industrial Engineering*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108196>
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- Chengcheng, H. (2022). Life Cycle Eco-design of Biodegradable Packaging Material. *Procedia CIRP*, 105, 678–681. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.113>
- Chertow, M. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *ANNUAL REVIEW OF ENERGY AND THE ENVIRONMENT*, 25, 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11–30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>
- Chertow, M. R. (2009). Dynamics of geographically based industrial ecosystems. In *The Dynamics of Regions and Networks in Industrial Ecosystems*. <https://doi.org/10.4337/9781848449374.00010>
- Christensen, T. H. (2010). Solid Waste Technology & Management. In *Solid Waste Technology & Management* (Vols. 1–2). <https://doi.org/10.1002/9780470666883>
- Circle Economy. (2023). The circularity gap report 2023. In *The circularity gap report 2023 (pp. 1-64, Rep.)*.
- Coase, R. H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16). <https://doi.org/10.2307/2626876>
- Commission, E., for Internal Market Industry, E., SMEs, Artola, I., Doranova, A., Domenech, T., Roman, L., & Smith, M. (2018). *Cooperation fostering industrial symbiosis : market potential, good practice and policy actions : final report*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2873/346873>
- Damiani, M., Sinkko, T., Caldeira, C., Tosches, D., Robuchon, M., & Sala, S. (2022). Critical Review of Methods and Models for Biodiversity Impact Assessment and Their Applicability in the Lca Context. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4279734>
- Davis, J. P., & Eisenhardt, K. M. (2011). Rotating Leadership and Collaborative Innovation: Recombination Processes in Symbiotic Relationships. *Administrative Science Quarterly*, 56(2). <https://doi.org/10.1177/0001839211428131>
- de Jesus, A., & Mendonça, S. (2018). Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Dell'Anno, R., Pergolizzi, A., Pittiglio, R., & Reganati, F. (2020). Waste crime in Italian Regions: A Structural Equation Approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.100751>
- Deloitte, S. (2016). Circular economy potential for climate change mitigation. *Report, November*.
- Demartini, M., Tonelli, F., & Govindan, K. (2022). An investigation into modelling approaches for industrial symbiosis: A literature review and research agenda. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100020>
- Dhanorkar, S., Donohue, K., & Linderman, K. (2015). Repurposing Materials and Waste through Online Exchanges: Overcoming the Last Hurdle. *Production and Operations Management*, 24(9). <https://doi.org/10.1111/poms.12345>
- Di Pillo, F., Leviaidi, N., & Marzano, R. (2023). Organized crime and waste management costs. *Regional*

Studies, 57(1). <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2053094>

- Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D., & Roman, L. (2019). Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.016>
- Dong, H., Ohnishi, S., Fujita, T., Geng, Y., Fujii, M., & Dong, L. (2014). Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki. *Energy*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.005>
- Dong, L., Gu, F., Fujita, T., Hayashi, Y., & Gao, J. (2014). Uncovering opportunity of low-carbon city promotion with industrial system innovation: Case study on industrial symbiosis projects in China. *Energy Policy*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.019>
- Egüez, A. (2021). Compliance with the EU waste hierarchy: A matter of stringency, enforcement, and time. *Journal of Environmental Management*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111672>
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*, 14(4). <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>
- Eisenhardt, K. M., & Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1). <https://doi.org/10.5465/AMJ.2007.24160888>
- European Commission. (2018). A European Strategy for Plastics in a circular economy. *European Commission*, July.
- European Commission. (2015). Closing the Loop - An EU action plan for the Circular Economy - (ANNEX 1). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*.
- European Commission. (2019). COM(2019) 190 final: Report from the Commission on the Implementation of the Circular Economy Action Plan. In *SWD 90 final COM (2019) 190 final*.
- European Commission. (2020). Circular Economy Action Plan: The European Green Deal. *European Commission*, March, 28. https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf
- European Environment Agency. (2015). European environment — state and outlook 2015: Assessment of global megatrends. In *European Environment*.
- European Parliament and Council. (2008). Waste Framework Directive. *Official Journal of the European Union*.
- Fichtner, W., Tietze-Stöckinger, I., Frank, M., & Rentz, O. (2005). Barriers of interorganisational environmental management: two case studies on industrial symbiosis. *Progress in Industrial Ecology*, 2(1). <https://doi.org/10.1504/PIE.2005.006778>
- Fraccascia, L. (2020). Quantifying the direct network effect for online platforms supporting industrial symbiosis: an agent-based simulation study. *Ecological Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106587>
- Fraccascia, L., Albino, V., & Garavelli, C. A. (2017). Technical efficiency measures of industrial symbiosis networks using enterprise input-output analysis. *International Journal of Production Economics*, 183, 273–286. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.003>
- Fraccascia, L., & Giannoccaro, I. (2020). What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104799>

- Fraccascia, L., & Yazan, D. M. (2018a). The role of online information-sharing platforms on the performance of industrial symbiosis networks. *Resources, Conservation and Recycling*.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.009>
- Fraccascia, L., & Yazan, D. M. (2018b). The supply chain implications of industrial symbiosis. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 5(2), 61–72.
- Fraccascia, L., Yazan, D. M., Albino, V., & Zijm, H. (2020). The role of redundancy in industrial symbiotic business development: A theoretical framework explored by agent-based simulation. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.006>
- Francesco, P. (2015). Laudato si' - Lettera Enciclica sulla cura della casa comune. *LIBRERIA EDITRICE VATICANA, May 2015*.
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144–152. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>
- FSS, F. per lo sviluppo sostenibile. (2022). Il Riciclo in Italia 2022. *Fondazione per Lo Sviluppo Sostenibile:2022, December*. www.ricicloinitalia.it
- Fussone, R., Dominguez, R., Cannella, S., & Framinan, J. M. (2022). Implications of implementing industrial symbiosis for supply chain dynamics. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 3118–3123.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.208>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 114, pp. 11–32). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Gibbs, D., & Deutz, P. (2007). Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. *Journal of Cleaner Production*, 15(17). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.003>
- Golev, A., Corder, G. D., & Giurco, D. P. (2015). Barriers to Industrial Symbiosis: Insights from the Use of a Maturity Grid. *Journal of Industrial Ecology*, 19(1). <https://doi.org/10.1111/jiec.12159>
- Grant, G. B., Seager, T. P., Massard, G., & Nies, L. (2010). Information and communication technology for industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), 740–753. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00273.x>
- Haines, G. H., Howard, J. A., & Sheth, J. N. (1970). The Theory of Buyer Behavior. *Journal of the American Statistical Association*, 65(331). <https://doi.org/10.2307/2284311>
- Heeres, R. R., Vermeulen, W. J. V., & De Walle, F. B. (2004). Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: First lessons. *Journal of Cleaner Production*, 12(8–10).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.014>
- Henry, M., Bauwens, T., Hekkert, M., & Kirchherr, J. (2020). A typology of circular start-ups: Analysis of 128 circular business models. *Journal of Cleaner Production*, 245.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118528>
- Herczeg, G., Akkerman, R., & Hauschild, M. Z. (2018). Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.046>
- Hosseiniinasab, A., & Ahmadi, A. (2015). Selecting a supplier portfolio with value, development, and risk consideration. *European Journal of Operational Research*, 245(1).
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.02.041>
- Huang, L., Zhen, L., & Yin, L. (2020). Waste material recycling and exchanging decisions for industrial symbiosis network optimization. *Journal of Cleaner Production*, 276.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124073>

- Huang, M., Wang, Z., & Chen, T. (2019). Analysis on the theory and practice of industrial symbiosis based on bibliometrics and social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.131>
- Iacondini, A., Vassura, I., Mencherini, U., & Passarini, F. (2014). Industrial symbiosis development in Italy: How the regulatory framework affects the feasibility of processes. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 1(2).
- Ipsen, K. L., Pizzol, M., Birkved, M., & Amor, B. (2021). How Lack of Knowledge and Tools Hinders the Eco-Design of Buildings—A Systematic Review. *Urban Science*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/urbansci5010020>
- ISO. (2006). Iso 14021. 61010-1 © Iec:2001, 2006.
- J.B. QUINTANA R. CHAMKHI, A. B. S. I. (2020). Quantified potential of industrial symbiosis in Europe. *SCALER EU Project Report - Deliverable 3.5, May 2020*.
- Jacobsen, N. B. (2006). Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: A quantitative assessment of economic and environmental aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1–2). <https://doi.org/10.1162/108819806775545411>
- Järvenpää, A. M., Salminen, V., & Ruohomaa, H. (2019). How does current legislation support the emergence of industrial symbiosis in the EU? *Advances in Intelligent Systems and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94709-9_8
- Jensen, P. D., Basson, L., Hellawell, E. E., Bailey, M. R., & Leach, M. (2011). Quantifying “geographic proximity”: Experiences from the United Kingdom’s National Industrial Symbiosis Programme. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 703–712. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.003>
- Kenneth E. Boulding. (1966). The Economics of the Coming Spaceship Earth. *Environmental Quality in a Growing Economy*.
- Kerdlap, P., Low, J. S. C., & Ramakrishna, S. (2019). Zero waste manufacturing: A framework and review of technology, research, and implementation barriers for enabling a circular economy transition in Singapore. *Resources, Conservation and Recycling*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104438>
- Khan, S. A. R., Tabish, M., & Yu, Z. (2023). Mapping and visualizing of research output on waste management and green technology: A bibliometric review of literature. *Waste Management and Research*, 41(7), 1203–1218. <https://doi.org/10.1177/0734242X221149329>
- Kirchherr, J. (2022). Circular economy and growth: A critical review of “post-growth” circularity and a plea for a circular economy that grows. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 179). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106033>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 127). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kirchherr, J., Yang, N.-H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., Alkemade, F., Avelino, F., Bergek, A., Boons, F., Fünfschilling, L., Hess, D., Holtz, G., Hyysalo, S., Jenkins, K., Kivimaa, P., Martiskainen, M., McMeekin, A., Mühlemeier, M. S., ... Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004>

- Konstantinos Karagkounis, E. I. T. C.-K. (2020). Report on EU-wide IS regulatory measures, regulatory gaps and need for IS deployment. *Deliverable4.4:2020, August*.
- Kraljic, P. (1983). Purchasing Must Become Supply Management. *Harvard Business Review, September-October*.
- Kristoffersen, E., Mikalef, P., Blomsma, F., & Li, J. (2021). The effects of business analytics capability on circular economy implementation, resource orchestration capability, and firm performance. *International Journal of Production Economics, 239*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108205>
- Kulshreshtha, P., & Sarangi, S. (2001). "No return, no refund": An analysis of deposit-refund systems. *Journal of Economic Behavior and Organization, 46*(4). [https://doi.org/10.1016/S0167-2681\(01\)00161-5](https://doi.org/10.1016/S0167-2681(01)00161-5)
- Laybourn&Morrissey. (2009). The Pathway to a low carbon economy. *International Synergies:2009, May*.
- Letcher, T. M., & Vallero, D. A. (2019). Waste: A Handbook for Management, Second Edition. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Lewandowski, M. (2016). Designing the business models for circular economy-towards the conceptual framework. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 8, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/su8010043>
- Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012). Redefining Industrial Symbiosis: Crossing Academic-Practitioner Boundaries. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x>
- Lombardi, R. (2017). Non-technical barriers to (And drivers for) the circular economy through industrial symbiosis: A practical input. *Economics and Policy of Energy and the Environment*. <https://doi.org/10.3280/EFE2017-001009>
- Luciano, A., & Ramunni, M. (2022). A SURVEY ON THE INDUSTRIAL SYMBIOSIS IN ITALY – PRELIMINARY RESULTS. *SUN-Proceedings of the Sixth SUN Conference, November*.
- Lüdeke-Freund, F., Gold, S., & Bocken, N. M. P. (2019). A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 23, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/jiec.12763>
- Lyons, D. I. (2007). A spatial analysis of loop closing among recycling, remanufacturing, and waste treatment firms in Texas. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1029>
- Maalouf, A., & Agamuthu, P. (n.d.). Waste management evolution in the last five decades in developing countries – A review. *Waste Management & Research, 0*(0), 0734242X231160099. <https://doi.org/10.1177/0734242X231160099>
- MAESTRI-Project. (2019). Total Efficiency Framework. *Energy and Resource Management Systems for Improved Efficiency in the Process Industries, August 2019*.
- Magrini, C., Nicolas, J., Berg, H., Bellini, A., Paolini, E., Vincenti, N., Campadello, L., & Bonoli, A. (2021). Using internet of things and distributed ledger technology for digital circular economy enablement: The case of electronic equipment. *Sustainability (Switzerland), 13*(9). <https://doi.org/10.3390/su13094982>
- Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, Conservation and Recycling, 134*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>
- Mallawaarachchi, H., Sandanayake, Y., Karunasena, G., & Liu, C. (2020). Unveiling the conceptual development of industrial symbiosis: Bibliometric analysis. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 258). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120618>
- Mallick, P. K., Salling, K. B., Pigosso, D. C. A., & McAlloone, T. C. (2023). Closing the loop: Establishing reverse logistics for a circular economy, a systematic review. In *Journal of Environmental Management* (Vol.

328). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117017>

- Maqbool, A. S., Alva, F. M., & Van Eetvelde, G. (2019). An assessment of European information technology tools to support industrial symbiosis. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(1).
<https://doi.org/10.3390/su11010131>
- Marchi, B., Zanoni, S., & Zavanella, L. E. (2017). Symbiosis between industrial systems, utilities and public service facilities for boosting energy and resource efficiency. *Energy Procedia*, *128*.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.006>
- Martin H. Agteren , Sytze Keuning, D. B. J. (1998). *Handbook on Biodegradation and Biological Treatment of Hazardous Organic Compounds* (Springer (ed.)). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-015-9062-4>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth*, Club of Rome. In *New York, Universe*.
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *178*, 703–722.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
- Mirata, M. (2004). Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: Determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner Production*, *12*(8–10).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.031>
- Morganti, M., Favarin, S., & Andreatta, D. (2020). Illicit Waste Trafficking and Loopholes in the European and Italian Legislation. *European Journal on Criminal Policy and Research*, *26*(1).
<https://doi.org/10.1007/s10610-018-9405-2>
- Mortensen, L., & Kørnøv, L. (2019). Critical factors for industrial symbiosis emergence process. In *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.222>
- Mortensen, L., Kringelum, L. B., & Gjerding, A. N. (2023). How industrial symbiosis emerges through partnerships: actors, platforms, and stakeholder processes leading to collaborative business models in port industrial areas. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, *17*(1–2), 205–228. <https://doi.org/10.1504/ijisd.2023.127927>
- Motaei, E., & Ganat, T. (2023). Smart proxy models art and future directions in the oil and gas industry: A review. *Geoenergy Science and Engineering*, *227*. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211918>
- Natalia Alandete Lara, E. I. T. C.-K. (2020). Report on industrial symbiosis standardisation needs. *Deliverable4.5:2020, July*.
- Nellore, R., & Söderquist, K. (2000). Portfolio approaches to procurement: Analyzing the missing link to specifications. *Long Range Planning*, *33*(2).
- Neuwahl, F., Cusano, G., Benavides, J. G., Holbrook, S., & Serge, R. (2019). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment Industries. In *Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) Frederik*.
- Ngeno, E. C., Mbuci, K. E., Necibi, M. C., Shikuku, V. O., Olisah, C., Ongulu, R., Matovu, H., Ssebugere, P., Abushaban, A., & Sillanpää, M. (2022). Sustainable re-utilization of waste materials as adsorbents for water and wastewater treatment in Africa: Recent studies, research gaps, and way forward for emerging economies. *Environmental Advances*, *9*. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100282>
- Ossó, E., Grimaud, G., Christoud, J., & Aymard, V. (2023). DESIGN FOR RECYCLING OF A SKI: FROM A COMPREHENSIVE RECYCLABILITY STUDY TO THE DESIGN OF A COMMERCIAL PRODUCT. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, *9*(4), 961–971.
- Pakarinen, S., Mattila, T., Melanen, M., Nissinen, A., & Sokka, L. (2010). Sustainability and industrial

symbiosis-The evolution of a Finnish forest industry complex. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.015>

- Parida, V., Burström, T., Visnjic, I., & Wincent, J. (2019). Orchestrating industrial ecosystem in circular economy: A two-stage transformation model for large manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.006>
- Patricio, J., Kalmykova, Y., Rosado, L., Cohen, J., Westin, A., & Gil, J. (2022). Method for identifying industrial symbiosis opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106437>
- Pereira, J., Revi, A., Rose, S., Sanchez-Rodriguez, R., Lisa Schipper Sweden, E. F., Schmidt, D. U., Schoeman, D., Shaw, R., Singh, C., Solecki, W., & Stringer, L. (2022). IPCC Report 2022. *International Panel on Climate Change*.
- Petti, S. (2013). *Simbiosi industriale a livello territoriale: il modello NISP*.
- Pieroni, M. P. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2020). From theory to practice: systematising and testing business model archetypes for circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105029>
- Pope Francis. (2015). ENCYCLICAL LETTER LAUDATO SI'. The Holy Father Francis On Care For Our Common Home. *Vatican Press*.
- Prosman, E. J., & Wæhrens, B. V. (2019). Managing waste quality in industrial symbiosis: Insights on how to organize supplier integration. *Journal of Cleaner Production*, 234, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.169>
- Ritzén, S., & Sandström, G. Ö. (2017). Barriers to the Circular Economy - Integration of Perspectives and Domains. *Procedia CIRP*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.005>
- Roberts, B. H. (2004). The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An Australian case study. *Journal of Cleaner Production*, 12(8–10). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.037>
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6). <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>
- Sahramäki, I. P., & Kankaanranta, T. T. (2021). Regulatory voids in the prevention of environmental crime in Finland. *European Journal of Criminology*. <https://doi.org/10.1177/14773708211020634>
- Sakr, D., Baas, L., El-Haggar, S., & Huisingh, D. (2011). Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: Global trends and Egyptian context. *Journal of Cleaner Production*, 19(11). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.01.001>
- Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. (2021). Critical factors for enhancing the circular economy in waste management. *Journal of Cleaner Production*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124339>
- Santa-Maria, T., Vermeulen, W. J. V., & Baumgartner, R. J. (2021). Framing and assessing the emergent field of business model innovation for the circular economy: A combined literature review and multiple case study approach. *Sustainable Production and Consumption*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.037>
- Schlüter, L., Mortensen, L., & Kørnø, L. (2020). Industrial symbiosis emergence and network development through reproduction. *Journal of Cleaner Production*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119631>
- Södergren, K., & Palm, J. (2021). The role of local governments in overcoming barriers to industrial

- symbiosis. *Cleaner Environmental Systems*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100014>
- Stahel, W. ., & Reday, G. (1976). The potential for substituting manpower for energy. *Report to the Commission of the European Communities.*, April.
- Stern, D. I., Common, M. S., & Barbier, E. B. (1996). Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 24(7). [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(96\)00032-0](https://doi.org/10.1016/0305-750X(96)00032-0)
- Tang, X., & He, Y. (2022). Supply Chain Coordination in Industrial Symbiosis Networks with Uncertain Waste Demand and Supply. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3579378>
- Taqi, H. M. M., Meem, E. J., Bhattacharjee, P., Salman, S., Ali, S. M., & Sankaranarayanan, B. (2022). What are the challenges that make the journey towards industrial symbiosis complicated? *Journal of Cleaner Production*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133384>
- The Ellen MacArthur Foundation. (2012). Towards a Circular Economy - Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. *Greener Management International*. <https://doi.org/2012-04-03>
- The Ellen MacArthur Foundation. (2014). Towards the Circular Economy: Vol. 1: Economic and business rationale for an accelerated transition. *Ellen MacArthur Foundation*, 1.
- Tombido, L., & Baihaqi, I. (2022). Dual and Multi-channel closed-loop supply chains: A state of the art review. *Journal of Remanufacturing*, 12(1), 89–123. <https://doi.org/10.1007/s13243-021-00103-4>
- Toniciolli Rigueto, C. V., Rosseto, M., Alessandretti, I., de Oliveira, R., Wohlmuth, D. A. R., Ferreira Menezes, J., Loss, R. A., Dettmer, A., & Pizzutti, I. R. (2022). Gelatin films from wastes: A review of production, characterization, and application trends in food preservation and agriculture. In *Food Research International* (Vol. 162). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112114>
- Tudor, T., Adam, E., & Bates, M. (2007). Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): A literature review. In *Ecological Economics* (Vol. 61, Issues 2–3). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.010>
- Turken, N., & Geda, A. (2020). Supply chain implications of industrial symbiosis: A review and avenues for future research. In *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104974>
- UNEP. (2020). The Role of Product Service Systems in Sustainable Society. *United Nations Environment Programme*.
- Urbinati, A., Chiaroni, D., & Chiesa, V. (2017). Towards a new taxonomy of circular economy business models. *Journal of Cleaner Production*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.047>
- Uusikartano, J., Saha, P., & Aarikka-Stenroos, L. (2022). The industrial symbiosis process as an interplay of public and private agency: Comparing two cases. *Journal of Cleaner Production*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130996>
- Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J. L., Gasol, C. M., Guillem, M., & Josa, A. (2013). Comparative LCA of sewage sludge valorisation as both fuel and raw material substitute in clinker production. *Journal of Cleaner Production*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.026>
- Van Beers, D., Corder, G., Bossilkov, A., & Van Berkel, R. (2007). Industrial symbiosis in the Australian minerals industry: The cases of Kwinana and Gladstone. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1161>
- van Berkel, R. (2006). *Regional Resource Synergies for Sustainable Development in Heavy Industrial Areas: an Overview of Opportunities and Experiences*.

- van Capelleveen, G., Amrit, C., & Yazan, D. M. (2018). *A Literature Survey of Information Systems Facilitating the Identification of Industrial Symbiosis*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65687-8_14
- van Capelleveen, G., van Wieren, J., Amrit, C., Yazan, D. M., & Zijm, H. (2021). Exploring recommendations for circular supply chain management through interactive visualisation. *Decision Support Systems*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113431>
- Vecchio, P. Del, Urbinati, A., & Kirchherr, J. (2022). Enablers of Managerial Practices for Circular Business Model Design: An Empirical Investigation of an Agro-Energy Company in a Rural Area. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3138327>
- Vegter, D., van Hillegersberg, J., & Olthaar, M. (2021). Performance measurement systems for circular supply chain management: Current state of development. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132112082>
- Velenturf, A. (2016). Analysing the governance system for the promotion of industrial symbiosis in the Humber region, UK. *People, Place and Policy Online*, 10(2). <https://doi.org/10.3351/ppp.0010.0002.0003>
- Williamson, O. E. (1987). Transaction cost economics. The comparative contracting perspective. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 8(4), 617–625. [https://doi.org/10.1016/0167-2681\(87\)90038-2](https://doi.org/10.1016/0167-2681(87)90038-2)
- Wu, J., Guo, Y., Li, C., & Qi, H. (2017). The redundancy of an industrial symbiosis network: A case study of a hazardous waste symbiosis network. *Journal of Cleaner Production*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.038>
- Zhang, A., Duong, L., Seuring, S., & Hartley, J. L. (2023). Circular supply chain management: a bibliometric analysis-based literature review. *International Journal of Logistics Management*. <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2022-0199>
- Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. In *Science of the Total Environment* (Vol. 803). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>
- Zhang, Y., Zheng, H., Chen, B., Su, M., & Liu, G. (2015). A review of industrial symbiosis research: theory and methodology. In *Frontiers of Earth Science* (Vol. 9, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s11707-014-0445-8>
- Zhu, J., & Ruth, M. (2014). The development of regional collaboration for resource efficiency: A network perspective on industrial symbiosis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.11.001>
- Zhu, Q., Lowe, E. A., Wei, Y. A., & Barnes, D. (2007). Industrial symbiosis in China: A case study of the Guitang Group. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.929>