

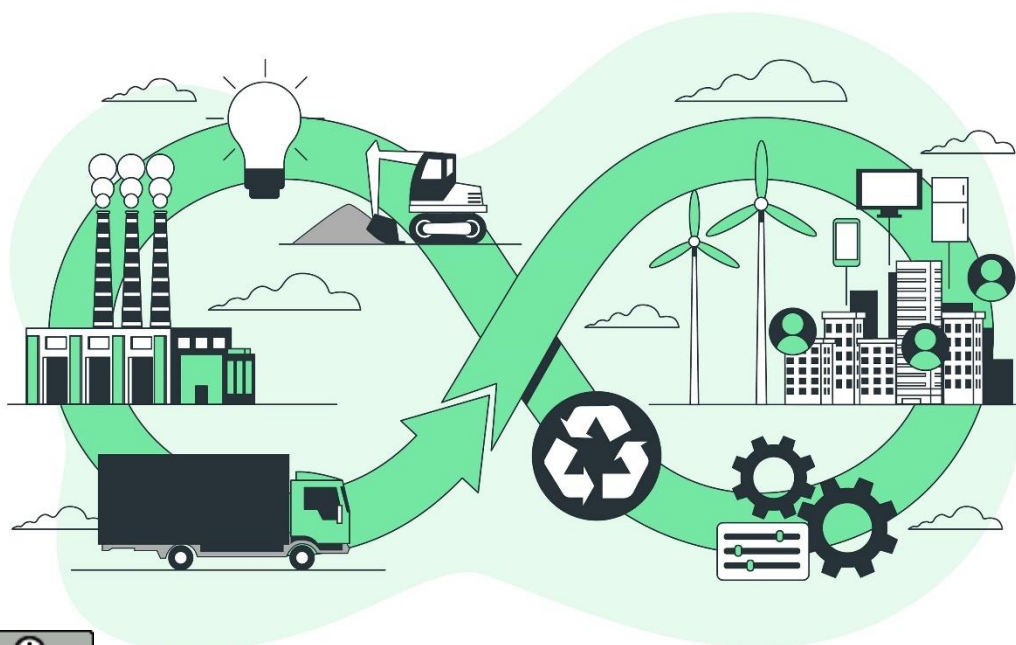


FReINDs

LA SIMBIOSI DIGITALE

Rapporto di ricerca sulla simbiosi industriale digitale

Work Package n°2



Quest'opera è rilasciata con licenza [Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Finanziato dall'Unione europea. I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia esclusivamente quelli dell'autore o degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione Europea né l'EACEA possono essere ritenute responsabili.



AUTHORS:

Valerij Dermol, International School for Social and Business Studies, Slovenia

Špela Dermol, International School for Social and Business Studies, Slovenia

Thomas Laudal, University of Stavanger, School of Business and Law, Norway

Ali Turkeyilmaz, University of Stavanger, School of Business and Law, Norway

Joanna Bać, Senior Project Manager, Danmar Computers, Poland

Valeria Lavano, EXEOLAB, Potenza, Italy

Diasozousa Anna Gryllaki, EXEOLAB, Potenza, Italy

Natālija Cudečka-Puriņa, BA School of Business and Finance, Riga, Latvia

Dzintra Atstāja, BA School of Business and Finance, Riga, Latvia



CONTENUTI

INTRODUZIONE AL RAPPORTO	6
PARTE I: RICERCA sul CAMPO - QUADRO TEORICO E CONCETTI CHIAVE	8
1 Informazioni sulla simbiosi industriale	8
1.1 Caratteristiche principali della simbiosi industriale	8
1.2 Differenze rispetto alla gestione tradizionale dei rifiuti	9
1.3 Strategie di implementazione della simbiosi industriale, sfide e considerazioni.....	10
2 Esempi di simbiosi industriale	11
2.1 Buone pratiche e lezioni apprese.....	11
2.1.1 Esempi riportati nella letteratura scientifica	11
2.1.2 Esempi di IS nelle PMI	13
2.1.3 Esempi di SI identificati in vari progetti finanziati dall'UE	14
2.1.4 Esempi forniti da un generatore di catene del valore supportato dall'intelligenza artificiale di un'azienda privata	15
2.2 Lezioni chiave e raccomandazioni	16
3 La tecnologia digitale nella simbiosi industriale.....	17
3.1 Migliorare la simbiosi industriale attraverso gli strumenti digitali.....	18
3.1.1 Strumenti di matchmaking	18
3.1.2 Piattaforme online	18
3.1.3 Sistemi di gestione intelligenti	18
3.1.4 Ingegneria ontologica.....	18
3.1.5 Piattaforme digitali Industria 4.0.....	18
3.1.6 Tecnologia Blockchain.....	19
3.1.7 Gemelli digitali.....	19
3.2 Le innovazioni digitali alla base della simbiosi industriale: Casi di studio pratici.....	19
3.2.1 Piattaforma SymbioSyS.....	20
3.2.2 FLOOW2.....	20
3.2.3 InduSym	20
3.2.4 SHAREBOX.....	20
3.2.5 e-Symbiosis	20
3.2.6 Piattaforma Symbiosis (ENEA)	21
3.2.7 E-Simbioza.....	21
3.2.8 Value Chain Generator (VCG.AI)	21
3.3 Ostacoli all'implementazione.....	22
3.4 Lezioni chiave e raccomandazioni	23
4 Riferimenti bibliografici	25
PARTE II: ANALISI QUANTITATIVA - INDAGINE condotta su AZIENDE in 5 PAESI.....	31
5 Introduzione	31
6 Obiettivi dell'analisi	31
7 Metodologia	32
8 Risultati e interpretazione	32
8.1 Consapevolezza e familiarità con la simbiosi industriale (IS)	32
8.2 Importanza percepita della sostenibilità.....	33

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



8.3	Interesse per l'apprendimento e la partecipazione	34
8.4	Risorse e materiali di scarto	35
8.5	Ostacoli alla partecipazione alle iniziative di IS	35
8.6	Esigenze di conoscenza e orientamento	36
8.7	Consapevolezza e sfide legali	37
8.8	Strumenti digitali e loro adozione	38
8.9	Fattori trainanti e determinanti della preparazione organizzativa per la SI	39
9	Discussione, limiti e ulteriori ricerche	40
10	Riferimenti bibliografici	42
	PARTE III: ANALISI QUALITATIVA - APPROFONDIMENTI TEMATICI DELLE INTERVISTE	43
1	Introduzione	43
2	Domande di ricerca	43
3	Metodologia	44
4	Risultati dell'analisi tematica	44
4.1	Tema 1: Ostacoli e sfide pratiche	44
4.2	Tema 2: Innovazione e visione strategica	46
4.3	Tema 3: Coinvolgimento e azione locale	47
4.4	Tema 4: Esperienze pratiche e feedback sui casi	48
4.5	Tema 5: Piattaforme e progettazione di ecosistemi	49
4.6	Tema 6: Integrazione e automazione digitale completa	51
5	Risposte alle domande di ricerca	52
5.1	RQ1: Qual è l'attuale livello di consapevolezza e comprensione della simbiosi industriale digitale (DIS) tra le PMI e le istituzioni?	52
5.2	RQ2: Quali sono i vantaggi e le opportunità che i partecipanti associano all'implementazione di soluzioni di simbiosi industriale digitale?	53
5.3	RQ3: Quali barriere o sfide ostacolano l'adozione di pratiche di simbiosi industriale digitale nelle PMI?	54
5.4	RQ4: Di quali tipi di formazione o supporto hanno bisogno i partecipanti per impegnarsi efficacemente con le soluzioni DIS?	56
5.5	RQ5: Come vedono i partecipanti il ruolo delle piattaforme digitali nel facilitare la collaborazione circolare e la condivisione delle risorse?	57
5.6	RQ6: Quali raccomandazioni politiche o cambiamenti sistemici suggeriscono i partecipanti per promuovere la DIS a livello locale o regionale?	58
6	Discussione	59
11	Conclusioni, limiti e ricerca futura	61
12	Riferimenti bibliografici	61
	PARTE IV: CASI DI STUDIO - ESEMPI DI SIMBIOSI INDUSTRIALE NELLA PRATICA	62
1	Dalle reti da pesca alla moda - Come AquafilSLO implementa l'economia circolare	62
2	Dalle bottiglie alle sedie: la strategia di design sostenibile di Donar	64
3	Dalle erbacce invasive ai quaderni - L'innovazione circolare di Lubiana	65
4	Trasformare i rifiuti in energia: L'approccio circolare di Balticovo alla gestione del letame di pollame in Lettonia	67
5	Trasformare gli scarti tessili e la carta riciclata in materiali da costruzione ecocompatibili	69

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



6	Creare valore dai residui: Il sistema di biogas e agricoltura a ciclo chiuso di Agrofirma Tērvete ...	70
7	Trasformare i rifiuti in crescita: Il modello circolare di Getliņi EKO per la coltivazione in serra.....	72
8	Trasformare le acque reflue in ricchezza: Il modello circolare del distretto conciario toscano.....	74
13	Reinventare il rifiuto come risorsa: Il Polo Simbiosi di Manfredonia	76
14	Carta senza rifiuti: Circuiti circolari nel distretto cartario lucchese	78
15	Radicati nella natura: Come Sylveco coltiva l'economia circolare nella cura della pelle polacca	79
16	Trasformare i rifiuti in risorse - L'approccio di Derewenda all'economia circolare.....	81
17	Chiudere il cerchio: Come Dobis è pioniere dell'economia circolare negli imballaggi in carta	84
CONCLUSIONI FINALI		87
1	Sintesi dei risultati	87
1.1	Consapevolezza e comprensione della simbiosi industriale (IS) e dell'IS digitale (DIS).....	87
1.2	Vantaggi e opportunità	87
1.3	Ostacoli e sfide	87
1.4	Piattaforme e strumenti digitali.....	87
1.5	Sviluppo delle capacità e bisogni formativi	88
1.6	Supporto alle politiche e agli ecosistemi	88
2	Conclusioni e implicazioni per la pratica	88
2.1	Conclusioni	88
2.2	Implicazioni per la pratica.....	89
2.2.1	Per le PMI e le aziende.....	89
2.2.2	Per gli sviluppatori di piattaforme	89
2.2.3	Per i responsabili politici e le autorità pubbliche	89
2.2.4	Per gli enti di formazione e le istituzioni di supporto.....	89
3	Punti critici e piano d'azione per l'implementazione della simbiosi industriale digitale (DIS)	89
3.1	Punti critici.....	89
3.2	Piano d'azione.....	91



INTRODUZIONE AL RAPPORTO

Questo rapporto fornisce una valutazione completa e multimetodo dello stato dell'arte, del potenziale e delle sfide della **simbiosi industriale digitale (DIS)**, con un'attenzione specifica alle esperienze e alla disponibilità delle piccole e medie imprese (PMI) in Europa. Attingendo a fonti di dati complementari - ricerca sul campo, indagine transnazionale, interviste semi-strutturate e studi di casi pratici - offre una base ricca di dati per il processo decisionale strategico, le raccomandazioni politiche e la ricerca futura.

Parte I: Ricerca sul campo - Quadro teorico e concetti chiave

Questa ricerca sintetizza la letteratura scientifica attuale, i risultati dei progetti finanziati dall'UE e le pratiche reali in materia di simbiosi industriale (SI) e di economia circolare digitale. Stabilisce le basi concettuali della SI, delineandone le caratteristiche distintive, i benefici e l'integrazione con le tecnologie digitali. Inoltre, traccia una mappa degli strumenti digitali emergenti - come le piattaforme di matchmaking, i sistemi di pianificazione basati sull'intelligenza artificiale, la blockchain e i gemelli digitali - e valuta il loro ruolo nel facilitare la condivisione delle risorse e le partnership simbiotiche. Inoltre, questa sezione identifica le condizioni abilitanti e le barriere per l'implementazione delle SI, sia nelle grandi imprese che nelle PMI, ponendo l'accento sulla governance, sul supporto politico e sull'innovazione tecnologica.

Parte II: Analisi quantitativa - Indagine condotta su aziende in cinque Paesi

La seconda sezione presenta i risultati di un'indagine strutturata condotta tra 78 organizzazioni di Slovenia, Italia, Lettonia, Polonia e Norvegia. L'indagine analizza la consapevolezza dell'azienda, la preparazione digitale, l'uso delle risorse e l'interesse per le pratiche legate alla SI. L'analisi identifica i livelli di familiarità con la SI/DIS, i benefici percepiti, le barriere, le esigenze di formazione e i fattori istituzionali che influenzano l'impegno. Gli approfondimenti statistici rivelano che la consapevolezza è fortemente correlata alla preparazione e che le competenze digitali influenzano in modo significativo la volontà di partecipare alle iniziative di SI. Le differenze nazionali evidenziano l'influenza del contesto, mentre le sfide specifiche delle PMI (capacità limitata, mancanza di orientamento) sottolineano la necessità di interventi su misura.

Parte III: Analisi qualitativa - Approfondimenti tematici dalle interviste semi-strutturate

La terza parte si basa sull'analisi tematica di 16 interviste approfondite con rappresentanti di PMI, istituzioni pubbliche e stakeholder esperti in Slovenia, Polonia, Italia, Lettonia e Norvegia. Questa prospettiva qualitativa arricchisce i risultati statistici, offrendo approfondimenti contestualizzati su esperienze vissute, intenzioni strategiche, frustrazioni tecnologiche e sperimentazioni locali. Emergono sei temi chiave: (1) barriere e sfide, (2) innovazione e trasformazione strategica, (3) azioni e impegno a



livello locale, (4) esperienza utente e progettazione degli strumenti, (5) piattaforme e sviluppo dell'ecosistema e (6) integrazione e automazione digitale. Questi risultati offrono un feedback critico per migliorare gli strumenti della SI digitale, i modelli di governance e gli sforzi di sviluppo delle capacità.

Parte IV: Casi di studio - Esempi di simbiosi industriale nella pratica

Questa sezione presenta esempi reali di simbiosi industriale (IS) in diversi settori e regioni. Ogni caso evidenzia come le aziende e le comunità trasformano i rifiuti in valore, incorporano i principi dell'economia circolare e sfruttano l'innovazione e la collaborazione per la sostenibilità.

Strutturati per sintesi, contesto, soluzione, impatti, lezioni chiave e punti di discussione, questi casi illustrano i benefici pratici della SI, dalla riduzione delle emissioni ai risparmi sui costi e ai nuovi modelli di business. Essi forniscono spunti replicabili per le PMI, i responsabili politici e gli innovatori che cercano di implementare strategie circolari.

SEZIONE FINALE: CONCLUSIONI E IMPLICAZIONI PER LA PRATICA

La parte finale del rapporto sintetizza i risultati della ricerca sul campo, dell'indagine, delle interviste e dei casi di studio per evidenziare modelli chiave, lacune e spunti di riflessione. Il rapporto conferma che la consapevolezza della simbiosi industriale (IS) e dell'IS digitale (DIS) sta crescendo, ma rimane disomogenea, soprattutto tra le PMI. Nonostante la scarsa familiarità, vi è un chiaro riconoscimento dei potenziali vantaggi, tra cui i risparmi sui costi, l'innovazione e i guadagni in termini di sostenibilità.

Tuttavia, le barriere sistemiche, come la mancanza di regolamentazione, la scarsa interoperabilità delle piattaforme, le limitate competenze digitali e la bassa qualità dei dati, continuano ad ostacolare i progressi. Tutte le fonti di dati sottolineano l'urgente necessità di una formazione mirata, di un rafforzamento delle capacità e di un ambiente politico più favorevole.

Il rapporto si conclude con raccomandazioni personalizzate per le PMI, gli sviluppatori di piattaforme, i responsabili politici e i fornitori di formazione. Il rapporto invita a integrare la DIS nella pianificazione strategica, a migliorare l'usabilità degli strumenti digitali, a investire nelle infrastrutture digitali pubbliche e a sviluppare materiali di formazione pratici per colmare le lacune di conoscenza digitale e circolare.

Nella sezione finale, viene fornito un elenco dei punti critici, insieme a piani d'azione per affrontarli.



PARTE I: RICERCA SUL CAMPO- QUADRO TEORICO E CONCETTI CHIAVE

1 Informazioni sulla simbiosi industriale

La simbiosi industriale (SI) è un approccio collaborativo in cui le industrie scambiano risorse, come sottoprodotti, energia e acqua, per migliorare l'efficienza delle risorse e ridurre l'impatto ambientale. A differenza della gestione tradizionale dei rifiuti, che si concentra principalmente sullo smaltimento, la simbiosi industriale pone l'accento sul riutilizzo e sul riciclaggio dei materiali all'interno delle reti industriali, contribuendo a un'economia circolare (CE). Questo approccio non solo devia i rifiuti dalle discariche, ma crea anche valore economico dai materiali di scarto, riduce le emissioni di gas serra e diminuisce l'uso di materiali vergini. Il concetto di SI va oltre la gestione dei rifiuti e comprende l'ottimizzazione delle risorse, l'efficienza energetica e la collaborazione industriale, diventando una strategia fondamentale per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità nelle industrie moderne. Poiché le industrie riconoscono sempre più i vantaggi della SI, cresce l'esigenza di comprenderne le caratteristiche principali, le applicazioni, le sfide e il ruolo delle tecnologie digitali nella sua attuazione.

1.1 Caratteristiche principali della simbiosi industriale

La simbiosi industriale riduce i **rifiuti** consentendo l'intercettazione, il recupero e il riutilizzo di risorse che altrimenti verrebbero scartate. Questo processo riduce i rifiuti industriali e la necessità di estrarre nuovi materiali, contribuendo a un sistema produttivo più sostenibile (Biswas & John, 2022; Patricio et al., 2022).

Una delle caratteristiche che definiscono l'IS è la **condivisione e l'efficienza delle risorse**, in cui le industrie si scambiano risorse fisiche come sottoprodotti, acqua ed energia per ottimizzarne l'uso e ridurre al minimo gli sprechi (Ulusoy et al., 2024; "Industrial Ecology", 2022). Questo scambio favorisce una rete industriale più sostenibile, garantendo il riutilizzo di materiali che altrimenti verrebbero scartati, contribuendo alla conservazione dell'ambiente.

I **benefici economici e ambientali** giocano un ruolo cruciale nella SI, poiché le industrie che si impegnano in scambi simbiotici possono ridurre significativamente i costi energetici, di trasporto e di logistica. Inoltre, l'IS aiuta le industrie a **rispettare le normative ambientali** in modo più efficiente, riducendo al contempo l'inquinamento e il consumo di acqua industriale (Ulusoy et al., 2024; Mirata et al., 2024).

Un altro aspetto fondamentale della SI è la sua **integrazione con l'economia circolare**, che la rende un meccanismo vitale nella transizione da un'economia lineare a una CE. L'IS promuove modelli di produzione e consumo sostenibili, garantendo che i



materiali secondari vengano continuamente riutilizzati anziché smaltiti, migliorando così la sostenibilità industriale (Nyakudya et al., 2023; Nyakudya et al., 2022).

Inoltre, la SI si basa su **reti collaborative**, che richiedono alle industrie di lavorare insieme - spesso in prossimità geografica - per gestire collettivamente i rifiuti e l'utilizzo delle risorse. Questa cooperazione favorisce i vantaggi reciproci e migliora la stabilità operativa, in particolare nelle regioni con accesso limitato alle materie prime ("Industrial Symbiosis: Novel Supply Networks for the Circular Economy", 2022; Nyakudya et al., 2022).

La SI comprende **varie sinergie**, che consentono alle industrie di ottimizzare l'uso delle risorse e ridurre al minimo gli sprechi sfruttando diversi tipi di collaborazioni.

- **Le sinergie di sottoprodotti inorganici** prevedono lo scambio di materiali come scarti metallici, scorie o sottoprodotti chimici che possono essere riutilizzati da un'altra industria invece di essere scartati.
- **Le sinergie di utilità** si concentrano sulla condivisione di risorse come il calore in eccesso, il vapore o l'acqua tra partner industriali, riducendo il consumo di energia e migliorando l'efficienza complessiva.
- **Le sinergie di filiera o di mutualità** integrano le aziende all'interno di una rete produttiva, consentendo loro di condividere risorse logistiche, di trasporto o di imballaggio per snellire le operazioni e ridurre i costi. Queste sinergie assicurano che i sottoprodotti industriali siano effettivamente riutilizzati in varie applicazioni, favorendo la sostenibilità e la crescita economica e riducendo al contempo l'impatto ambientale ("Ecologia industriale", 2022).
- **Le sinergie di sostituzione** prevedono l'utilizzo dei flussi residui di un'azienda, come i rifiuti o i sottoprodotti, come input per i processi di un'altra azienda. Ad esempio, un impianto vicino può utilizzare il calore in eccesso di una struttura, riducendo così il consumo di energia e promuovendo l'efficienza delle risorse (Boquera & Marcos, 2023).
- **Sinergie della genesi**: Questo tipo si riferisce alla creazione di nuove attività o imprese specificamente progettate per utilizzare i flussi residui delle industrie esistenti. Ad esempio, la creazione di una nuova impresa per trasformare i materiali di scarto in prodotti di valore è un esempio di sinergia di genesi (Boquera & Marcos, 2023).

1.2 Differenze rispetto alla gestione tradizionale dei rifiuti

IS si differenzia in modo significativo dalla gestione tradizionale dei rifiuti, che si concentra prevalentemente sullo smaltimento dei rifiuti piuttosto che sul loro riutilizzo. L'attenzione al **riutilizzo e al riciclaggio** è un elemento critico di differenziazione, poiché la gestione tradizionale dei rifiuti privilegia lo smaltimento in discarica. L'IS enfatizza il riutilizzo e il riciclo dei materiali all'interno delle reti industriali, riducendo così l'estrazione di materiali vergini (Patricio et al., 2022; Kumar, 2022).

Un'altra distinzione chiave è la **gestione proattiva delle risorse**, in cui le industrie in una rete di IS cercano attivamente opportunità per sviluppare sinergie che riutilizzino i rifiuti



come risorsa, invece di trattarli semplicemente come un sottoprodotto da scartare (Mirata et al., 2024; Petrova, 2022).

Inoltre, la SI contribuisce alla **creazione di valore economico e sociale**, in quanto affronta le problematiche ambientali e genera valore economico riducendo i costi di produzione, favorendo la creazione di posti di lavoro verdi e sostenendo le comunità locali attraverso pratiche industriali sostenibili (Petrova, 2022).

L'IS si **integra** anche **con i principi dell'economia circolare**, garantendo che le industrie massimizzino l'uso sostenibile delle risorse e riducano al minimo l'impatto ambientale, a differenza della gestione tradizionale dei rifiuti, che spesso manca di un approccio olistico alla sostenibilità ("Industrial Symbiosis: Novel Supply Networks for the Circular Economy", 2022; Nyakudya et al., 2023).

1.3 Strategie di implementazione della simbiosi industriale, sfide e considerazioni

Per implementare con successo la simbiosi industriale, le imprese e i responsabili politici devono adottare quadri strutturati, sfruttare strumenti digitali avanzati e affrontare le sfide specifiche del settore.

Sono stati sviluppati diversi quadri e modelli per aiutare le industrie a stabilire relazioni simbiotiche efficaci. **I quadri di riferimento del valore aziendale**, ad esempio, valutano i benefici economici e ambientali delle iniziative di SI, tenendo conto dei potenziali compromessi. Questi quadri aiutano le industrie a bilanciare i risparmi sui costi, la generazione di ricavi e gli obiettivi di sostenibilità, assicurando che gli scambi simbiotici contribuiscano positivamente alle strategie aziendali a lungo termine (Mirata et al., 2024; Belykh, 2023).

D'altra parte, i modelli che descrivono la formazione e **l'evoluzione delle catene simbiotiche** aiutano le industrie a passare dai tradizionali modelli di produzione lineare a reti interconnesse di condivisione delle risorse. Questi modelli facilitano l'identificazione dei cluster industriali che possono beneficiare della SI e delineano le migliori pratiche per promuovere la collaborazione tra le imprese.

Gli strumenti digitali avanzati sono fondamentali per facilitare questi scambi simbiotici, ottimizzando l'allocazione delle risorse e riducendo al minimo gli sprechi. L'intelligenza artificiale (AI) e gli algoritmi di apprendimento automatico analizzano i dati sui flussi di rifiuti, le concentrazioni di materiali e i prezzi di mercato per identificare scambi di materiali redditizi, scoprendo in ultima analisi nuove opportunità economiche ed ecologiche (Makropoulos et al., 2024). Le piattaforme digitali di matchmaking aiutano le industrie a connettersi con partner adatti allo scambio di risorse, riducendo i costi di transazione e migliorando l'efficienza della catena di approvvigionamento. Inoltre, la tecnologia blockchain garantisce la trasparenza e la tracciabilità delle transazioni IS, attenuando i problemi di sicurezza dei dati e di conformità normativa.



Nonostante il suo potenziale, la simbiosi industriale presenta diverse sfide di implementazione che devono essere affrontate. Una sfida importante è l'**integrazione della SI nei processi industriali esistenti**. Molte aziende operano all'interno di sistemi di produzione rigidi che richiedono modifiche significative per accogliere gli scambi simbiotici. Questa sfida richiede investimenti in tecnologie di produzione adattabili e riprogettazioni dei processi che consentano una condivisione delle risorse senza soluzione di continuità.

Un'altra barriera significativa è la **necessità di migliorare la collaborazione e la fiducia** tra le industrie. Molte aziende esitano a condividere i dati sulle risorse per timore di svantaggi competitivi. La creazione di strutture sicure per la condivisione dei dati e di sistemi di verifica da parte di terzi può alleviare queste preoccupazioni e favorire una maggiore trasparenza nelle reti di SI. Inoltre, le **incoerenze normative** tra le diverse regioni possono complicare l'adozione delle pratiche di SI, rendendo necessario lo sviluppo di politiche standardizzate e di incentivi che incoraggino la partecipazione.

Le applicazioni di **simbiosi industriale specifiche per ogni settore** dimostrano la sua versatilità e il suo potenziale nel promuovere la sostenibilità in vari settori. Nel settore agroalimentare, ad esempio, durante la lavorazione degli alimenti si generano notevoli quantità di sottoprodotti organici. Integrando questi sottoprodotti nei sistemi eco-industriali, le industrie possono migliorare il recupero dei materiali e dell'energia, riducendo i rifiuti e creando nuovi flussi di reddito per le aziende agricole (Hamam et al., 2023). Nel settore manifatturiero, la simbiosi industriale consente di riutilizzare i residui di produzione, come gli scarti metallici o i rifiuti plastici, in materie prime per altre industrie, riducendo così la dipendenza dalle risorse vergini. Anche il settore energetico beneficia della SI attraverso sistemi di recupero di calore ed energia, in cui il calore di scarto di un impianto industriale viene utilizzato per alimentare impianti di produzione vicini, migliorando l'efficienza energetica complessiva.

Affrontare queste sfide di implementazione, sfruttando al contempo gli strumenti digitali e i quadri di riferimento personalizzati, sarà fondamentale per l'adozione diffusa della simbiosi industriale. Le industrie possono passare a modelli di produzione più sostenibili ed efficienti dal punto di vista delle risorse promuovendo collaborazioni più forti, standardizzando gli approcci normativi e investendo in soluzioni digitali innovative.

2 Esempi di simbiosi industriale

2.1 Buone pratiche e lezioni apprese

2.1.1 Esempi riportati nella letteratura scientifica

Nella letteratura scientifica, numerosi esempi reali dimostrano il successo dell'implementazione delle SI in vari settori.



Uno degli esempi più documentati è **Kalundborg, in Danimarca**, dove diverse industrie si impegnano in scambi sistematici di risorse. Il modello della simbiosi di Kalundborg dimostra come i rifiuti industriali e i materiali in eccesso possano essere trasformati in risorse preziose. Ad esempio, il calore in eccesso di una centrale elettrica viene utilizzato da un allevamento ittico per mantenere la temperatura ottimale dell'acqua, mentre un produttore di pannelli murali riutilizza il gesso proveniente da una centrale elettrica. Inoltre, le acque reflue trattate da un'azienda farmaceutica vengono reindirizzate per essere riutilizzate nei sistemi di raffreddamento, creando un ecosistema industriale a ciclo chiuso che riduce al minimo i rifiuti e migliora l'efficienza delle risorse (Ulusoy et al., 2024).

Un modello altrettanto efficace si trova nel **Parco Eco-Industriale di Śmítőwo in Polonia**, in particolare nel settore agroalimentare. Il parco è specializzato nella trasformazione degli scarti di produzione della carne in preziosi prodotti secondari, come biocarburante e fertilizzanti a base di farina di ossa di carne. L'impianto riduce significativamente le emissioni di CO₂ grazie all'impiego di tecniche di lavorazione innovative, generando al contempo una notevole quantità di bioenergia. Ogni anno, l'impianto tratta circa 300.000 tonnellate di scarti di carne, producendo 110.000 tonnellate di biocarburante e generando circa 460.000 GJ di bioenergia. Ciò contribuisce alla gestione sostenibile dei rifiuti e aumenta l'autosufficienza energetica, riducendo la dipendenza da fonti energetiche non rinnovabili (Kowalski et al., 2023).

Anche l'**industria ceramica spagnola**, che produce il 95% della ceramica nazionale, adotta i principi dell'IS incorporando i materiali di scarto come input, allineandosi ai modelli di economia circolare per estendere il ciclo di vita delle risorse (Castellet-Viciano et al., 2022). Questo settore ha integrato con successo vetro riciclato, fanghi ceramici e rifiuti edili nella produzione di piastrelle di ceramica, riducendo la dipendenza da materie prime vergini e diminuendo l'impatto ambientale (Castellet-Viciano et al., 2022). Inoltre, le innovazioni nel recupero del calore di scarto e nei sistemi di ricircolo dell'acqua hanno migliorato l'efficienza energetica, minimizzato le emissioni e ridotto i costi complessivi di produzione. Questi progressi dimostrano come la simbiosi industriale possa guidare la sostenibilità mantenendo la competitività industriale.

Un altro esempio degno di nota è il **settore russo del petrolio e del gas**, dove la SI viene impiegata per gestire il gas di petrolio associato (APG). Invece di bruciare il gas di petrolio associato - pratica che contribuisce al degrado ambientale - le industrie lo trattano e lo utilizzano per creare valore economico (Mironova et al., 2023). Le aziende del settore hanno sviluppato tecnologie di reiniezione del gas e di conversione da gas a liquido (GTL) per catturare e riutilizzare il GCA, riducendo così le emissioni e massimizzando l'efficienza energetica. Il gas catturato viene reiniettato nei giacimenti per migliorare il recupero del petrolio o convertito in preziosi combustibili liquidi e prodotti petrolchimici. Inoltre, le partnership tra le compagnie petrolifere e le industrie petrolchimiche hanno permesso di convertire il GAP in materia prima per la produzione di sostanze chimiche, riducendo al minimo i rifiuti e promuovendo la collaborazione intersettoriale. Questo approccio si allinea ai principi dell'economia



circolare, assicurando che i sottoprodotti vengano continuamente riutilizzati, riducendo la dipendenza da combustibili fossili vergini e diminuendo l'impronta ambientale dell'industria.

In Brasile, una rete agricola implementa la SI convertendo i rifiuti in fertilizzanti, migliorando la produttività delle colture, riducendo i rifiuti in discarica e sostenendo le economie locali (Sahu, 2023). Questi esempi evidenziano le diverse applicazioni della SI nei vari settori e regioni, dimostrando il suo potenziale per migliorare la sostenibilità e l'efficienza economica.

2.1.2 Esempi di IS nelle PMI

La simbiosi industriale tra piccole e medie imprese (PMI) è un'area di crescente interesse, soprattutto nelle regioni in cui l'ottimizzazione delle risorse e la riduzione dei rifiuti sono fondamentali. Questo concetto prevede la collaborazione di diverse industrie per utilizzare i reciproci sottoprodotti, riducendo così al minimo i rifiuti e migliorando la sostenibilità. Numerosi esempi in tutto il mondo illustrano come le PMI si impegnino nella simbiosi industriale per raggiungere questi obiettivi. Di seguito sono riportati alcuni esempi significativi di simbiosi industriale tra PMI, che evidenziano le loro strategie e i loro risultati.

A Muzaffarnagar, in India, un cluster di cartiere e zuccherifici e altre PMI manifatturiere si impegnano in una simbiosi industriale attraverso lo scambio di sottoprodotti. Ad esempio, gli scarti degli zuccherifici vengono utilizzati come materia prima nelle cartiere, riducendo i rifiuti e migliorando l'efficienza delle risorse (Chattopadhyay et al., 2016). I forti legami comunitari tra i proprietari delle industrie facilitano questi scambi, dimostrando l'importanza delle reti sociali nel consentire la simbiosi industriale (Chattopadhyay et al., 2016).

Zona industriale di Rusayl, Oman. Le PMI della zona industriale di Rusayl stanno esplorando le opportunità di scambio dei rifiuti. L'obiettivo è sviluppare un modello di gestione dei rifiuti che supporti la simbiosi industriale, con lo scopo di preservare le risorse e ridurre l'inquinamento, aumentando al contempo i benefici economici (Al-Harrasi et al., 2017). La fattibilità di questi scambi viene valutata attraverso un'analisi economica, per garantire che le relazioni simbiotiche siano finanziariamente sostenibili (Al-Harrasi et al., 2017).

Uso del Material Flow Cost Accounting (MFCA). Il metodo MFCA viene utilizzato per progettare la simbiosi industriale tra PMI analizzando i flussi di materiali, energia e costi. Questo approccio aiuta le PMI a valutare efficacemente la loro efficienza ambientale e a pianificare gli scambi simbiotici (Astuti et al., 2018). La MFCA è stata utilizzata per valutare e migliorare le prestazioni dei cluster di PMI, dimostrando la sua utilità nel facilitare la simbiosi industriale (Astuti et al., 2018). Sebbene la MFCA non sia ancora ampiamente utilizzata dalle PMI, il suo potenziale di risparmio sui costi e di miglioramento della sostenibilità la rende uno strumento interessante. Una maggiore consapevolezza, i progressi tecnologici e il sostegno politico sono fattori chiave che possono favorire una maggiore adozione nel settore delle PMI.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Sebbene questi esempi evidenzino il successo della simbiosi industriale tra le PMI, rimangono delle sfide, come la necessità di quadri normativi solidi e di incentivi economici per incoraggiare la partecipazione. Inoltre, l'integrazione delle risorse e dei mercati locali è fondamentale per la sostenibilità di questi sistemi simbiotici (Ristola & Mirata, 2007). Lo sviluppo di modelli e piattaforme di simbiosi industriale, come quello visto in questi casi, offre spunti preziosi per superare queste sfide e promuovere pratiche industriali sostenibili.

La simbiosi industriale è una componente fondamentale dell'economia circolare. Essa pone l'accento sull'uso collaborativo e strategico delle risorse per ridurre al minimo i rifiuti, ottimizzare l'efficienza energetica e promuovere la sostenibilità a lungo termine. Promuovendo la cooperazione interindustriale, la simbiosi trasforma i sistemi tradizionali di produzione e gestione dei rifiuti in reti interconnesse ed efficienti dal punto di vista delle risorse.

2.1.3 Esempi di SI identificati in vari progetti finanziati dall'UE

In tutta Europa e oltre, numerose iniziative finanziate dall'UE hanno dimostrato con successo l'efficacia della simbiosi industriale, producendo significativi benefici ambientali ed economici. Questi progetti dimostrano come le industrie possano riutilizzare i sottoprodotti, condividere le risorse energetiche e creare cicli produttivi a circuito chiuso.

I paragrafi che seguono evidenziano le pratiche esemplari di Slovenia, Finlandia, Italia e Regno Unito, fornendo approfondimenti sui loro approcci, sui risultati e sugli impatti più ampi. Questi casi di studio illustrano come il sostegno politico mirato, l'integrazione tecnologica innovativa e la collaborazione intersettoriale possano favorire il successo della simbiosi industriale.

Donar. Slovenia: Produzione sostenibile di mobili: Donar esemplifica la simbiosi industriale utilizzando feltro riciclato di polietilene tereftalato (PET) e poliestere (PES), trasformando i rifiuti in mobili sostenibili. Il loro processo riduce l'utilizzo di materie prime primarie di 15 tonnellate all'anno, producendo al contempo prodotti pluripremiati come le sedie NicoLess e ChatLoop. La collaborazione con le aziende di riciclaggio assicura una fornitura costante di materie prime, ponendo l'accento sull'efficienza delle risorse e sulla gestione dell'ambiente (European Circular Economy Stakeholder Platform, 2024).

AquafilSLO, Slovenia: riutilizzo del calore per l'efficienza energetica. AquafilSLO dimostra la simbiosi industriale riutilizzando l'energia termica in eccesso proveniente dai suoi processi di produzione di fibre sintetiche. Questa energia viene utilizzata per riscaldare strutture come Vodno mesto Atlantis e HELLA Saturnus Slovenija, con una riduzione delle emissioni di CO₂ di circa 3.500 tonnellate all'anno. Le partnership con le organizzazioni locali evidenziano la scalabilità e la fattibilità economica dei modelli di condivisione dell'energia sostenibile (AquafilSLO, 2024).



Città di Lubiana, Slovenia: Riciclare le piante invasive. Con un approccio innovativo, Lubiana riutilizza l'alga giapponese, una pianta invasiva, in prodotti di carta riciclata. Questa iniziativa mitiga l'impatto ambientale e favorisce la collaborazione con le istituzioni locali, come il Pulp and Paper Institute, creando alternative sostenibili alla carta convenzionale (European Circular Economy Stakeholder Platform, 2024).

Cluster di simbiosi industriale Kemi-Tornio, Finlandia. L'iniziativa Kemi-Tornio integra industrie come quella forestale, mineraria ed energetica per riutilizzare i sottoprodotti industriali in bioenergia e materiali come i metalli recuperati. Questo approccio regionale crea nuovi mercati per le materie prime secondarie, riducendo le emissioni di CO₂ e generando un valore annuo di 200 milioni di euro (Interreg Europe Policy Learning Platform, 2024).

LABIO Ltd.: Biowaste-to-Biogas, Finlandia. LABIO Ltd., il più grande produttore di biogas della Finlandia, converte i rifiuti organici urbani e industriali in biogas e compost. L'utilizzo del calore di scarto dei processi di compostaggio aumenta l'efficienza energetica, mentre le partnership con enti pubblici e privati sottolineano la sostenibilità e la redditività economica del progetto (Interreg Europe Policy Learning Platform, 2024).

Il Finnish Industrial Symbiosis System (FISS) facilita le simbiosi mettendo in contatto gli attori regionali attraverso workshop e un database SYNERGie®. L'iniziativa ha coinvolto oltre 700 aziende, creato 2.500 opportunità di sinergia e promosso l'efficienza delle risorse e nuove iniziative imprenditoriali (Interreg Europe Policy Learning Platform, 2024).

Riciclaggio dei rifiuti da rivestimento termico a spruzzo per la ceramica. Italia. In Emilia-Romagna, gli scarti dell'overspray dei processi di rivestimento di zirconia vengono riutilizzati in fritte e smalti ceramici. Questa iniziativa riduce i costi delle materie prime e dell'energia per i produttori di ceramica, abbassando i costi di produzione fino al 40%. Gli sforzi di collaborazione evidenziano la trasferibilità di tali pratiche ad altre regioni (Interreg Europe Policy Learning Platform, 2024).

International Synergies Limited (ISL), Regno Unito. ISL ha aperto la strada alla simbiosi industriale a livello globale attraverso il suo National Industrial Symbiosis Programme (NISP®). Utilizzando la piattaforma SYNERGie®, ISL consente l'abbinamento delle risorse, riduce le emissioni di carbonio e sostiene le strategie net-zero. I loro progetti hanno permesso di risparmiare 42 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente solo in Inghilterra, dimostrando il potenziale di trasformazione della simbiosi industriale su scala globale (International Synergies Limited, 2024).

2.1.4 Esempi forniti da un generatore di catene del valore supportato dall'intelligenza artificiale di un'azienda privata

Lo strumento VCG.AI è stato determinante nel promuovere iniziative di economia circolare in varie regioni e settori. I loro casi di studio evidenziano le applicazioni



pratiche del Value Chain Generator® per trasformare i rifiuti in risorse preziose e promuovere modelli di business sostenibili (vedi [vcg.ai](#)).

Trasformare i rifiuti organici alimentari in un business circolare in Macedonia settentrionale. Nella Macedonia settentrionale, i settori dell'agricoltura e della trasformazione alimentare generano notevoli quantità di biomassa organica, gran parte della quale rimane sottoutilizzata. VCG.AI ha collaborato con la Camera di Commercio della Macedonia del Nord (ECM) per identificare i principali flussi residui, come la vinaccia e gli scarti della produzione di pomodori. Grazie alla loro analisi, VCG.AI ha proposto processi di conversione economicamente validi per trasformare questi residui in prodotti di alto valore come pectina, polifenoli e licopene, richiesti dall'industria farmaceutica e cosmetica. Questa iniziativa promuove pratiche sostenibili e apre nuovi flussi di reddito per le imprese locali.

Sviluppo di catene del valore per le bioraffinerie in sei regioni dell'UE. Le principali organizzazioni di sei regioni europee hanno collaborato con VCG.AI per sviluppare catene del valore per le bioraffinerie. Utilizzando il Value Chain Generator®, la collaborazione mirava a identificare e stabilire catene di valore sostenibili che convertissero la biomassa in prodotti di valore. Questo progetto sottolinea l'importanza della cooperazione regionale e il ruolo degli strumenti digitali nell'accelerare la transizione verso una bioeconomia circolare.

Guidare le aziende regionali verso la circolarità: WFG Heilbronn, Germania. A Heilbronn, in Germania, VCG.AI ha collaborato con l'agenzia di sviluppo economico regionale, WFG Heilbronn, per guidare le aziende locali verso le pratiche dell'economia circolare e la carbon neutrality. Sfruttando il Value Chain Generator®, hanno identificato le opportunità per le aziende di implementare strategie circolari, migliorando così la sostenibilità e la competitività della regione.

2.2 Lezioni chiave e raccomandazioni

Un'efficace implementazione della simbiosi industriale (IS) dipende da solidi quadri di collaborazione, dall'integrazione tecnologica e da politiche di sostegno. I partenariati tra industrie, governi e istituzioni accademiche sono essenziali per ottimizzare l'utilizzo delle risorse e promuovere l'innovazione. Strumenti digitali come SYNERGie® e workshop personalizzati migliorano l'abbinamento e il monitoraggio delle risorse, facilitando la scalabilità e l'adattabilità tra industrie e regioni diverse.

Gli incentivi e i finanziamenti governativi svolgono un ruolo cruciale nel sostenere le iniziative di SI. Progetti come LABIO Ltd. e il Finnish Industrial Symbiosis System (FISS) sottolineano l'importanza dei partenariati pubblico-privati nella promozione di ecosistemi industriali sostenibili. Queste collaborazioni dimostrano come gli approcci personalizzati possano essere adattati con successo a diversi settori e regioni, massimizzando il loro impatto.



Le best practice evidenziate illustrano il potenziale di trasformazione della SI nel promuovere l'economia circolare. Riducendo gli sprechi, conservando le risorse e promuovendo la collaborazione, queste iniziative stabiliscono parametri di riferimento per la sostenibilità e l'innovazione industriale. Le lezioni apprese da questi casi di studio forniscono una tabella di marcia per le parti interessate per implementare strategie di SI efficaci nei rispettivi contesti.

Tuttavia, per implementare con successo le SI è necessario superare le barriere finanziarie, tecnologiche, normative e sociali. L'adozione di tecnologie digitali può migliorare significativamente la SI, facilitando lo scambio di risorse e il processo decisionale. Il continuo sostegno politico, la cooperazione industriale e l'innovazione tecnologica saranno fondamentali per realizzare il pieno potenziale della SI su scala globale.

In sintesi, l'integrazione di strutture collaborative, strumenti tecnologici e politiche di supporto è fondamentale per implementare con successo la simbiosi industriale. Imparando dalle migliori pratiche esistenti e affrontando le sfide attuali, le parti interessate possono avanzare efficacemente verso un futuro industriale più sostenibile ed efficiente dal punto di vista delle risorse.

3 La tecnologia digitale nella simbiosi industriale

La tecnologia digitale migliora la SI facilitando l'identificazione e l'ottimizzazione delle opportunità simbiotiche (Makropoulos et al., 2024), consentendo lo scambio di informazioni in tempo reale (Akrivou et al., n.d.) e fornendo supporto alle piccole e medie imprese (PMI) attraverso piattaforme come e-Symbiosis (Cecelja et al., 2015). Inoltre, promuove lo sviluppo di ecosistemi di simbiosi industriale digitale (DISE) per migliorare l'adozione da parte degli utenti (Kosmol & Leyh, 2021) e sfrutta le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC) per creare sistemi di produzione più efficienti dal punto di vista delle risorse (Grant et al., 2010).

Sebbene le tecnologie digitali migliorino in modo significativo la simbiosi industriale, persistono problemi di disponibilità dei dati e di integrazione dei sistemi. Il superamento di queste barriere richiede una continua innovazione e collaborazione tra industrie, sviluppatori di tecnologie, e responsabili politici. Il potenziale degli strumenti digitali per trasformare la simbiosi industriale è vasto, ma per realizzarlo è necessario affrontare queste sfide e promuovere una cultura di cooperazione e apertura alle nuove tecnologie.

La tecnologia digitale migliora in modo significativo la simbiosi industriale, facilitando lo scambio di risorse, ottimizzando la gestione dei rifiuti e promuovendo la sostenibilità in vari settori. Questi progressi sono evidenti in diverse applicazioni chiave:



3.1 Migliorare la simbiosi industriale attraverso gli strumenti digitali

3.1.1 Strumenti di matchmaking

Le piattaforme digitali avanzate sono progettate per **identificare e quantificare il potenziale simbiotico tra le industrie**. Questi strumenti propongono scambi di materiali redditizi analizzando i dati sui volumi dei flussi di rifiuti, le composizioni dei materiali e i valori di mercato. Utilizzano algoritmi per valutare i benefici economici e ambientali, scoprendo potenziali connessioni tra produttori di rifiuti e consumatori di risorse. Ad esempio, uno strumento digitale all'avanguardia introdotto da Makropoulos et al. (2024) individua e quantifica le possibilità di simbiosi tra industrie con flussi di rifiuti liquidi, sottolineando le connessioni interindustriali più redditizie.

3.1.2 Piattaforme online

Le piattaforme digitali facilitano la simbiosi industriale **collegando industrie di regioni diverse**. Queste piattaforme utilizzano sistemi intelligenti per consigliare sinergie, migliorando il processo decisionale. Inoltre, affrontano sfide come la disponibilità di dati e la riluttanza a utilizzare materiali di recupero. Silva et al. (2022) sottolineano il ruolo di queste piattaforme nel promuovere la sostenibilità e l'efficienza economica.

Lo strumento SymbioSyS, presentato da Álvarez e Ruiz-Puente (2017), utilizza sistemi ICT-web per promuovere la sostenibilità delle risorse e facilitare la creazione di reti tra le aziende. Supporta l'individuazione delle sinergie e fornisce studi di fattibilità, migliorando la visualizzazione e la mappatura delle opportunità di simbiosi industriale.

3.1.3 Sistemi di gestione intelligenti

Le piattaforme che utilizzano i modelli di conoscenza della simbiosi industriale esistenti e analizzano le reti potenziali sono fondamentali per **scoprire nuove sinergie e ottimizzare gli scambi di materiali**. Chatzidimitriou et al. (2021) parlano di piattaforme di gestione intelligenti che supportano l'identificazione e l'implementazione di relazioni simbiotiche.

3.1.4 Ingegneria ontologica

Il progetto e-Symbiosis impiega l'ingegneria ontologica per modellare i flussi di simbiosi industriale e sviluppare servizi di matching. Questo approccio combina le conoscenze degli esperti con i dati dei partecipanti per creare **soluzioni sistematiche per le reti di simbiosi industriale**, a beneficio soprattutto delle piccole e medie imprese. Cecelja et al. (2015) spiegano come questo metodo migliori la scoperta e l'implementazione di opportunità simbiotiche.

3.1.5 Piattaforme digitali Industria 4.0

Le piattaforme digitali di Industria 4.0 supportano la sostenibilità ambientale attraverso la simbiosi industriale, **facilitando la co-creazione di valore e l'ottimizzazione delle risorse**, in linea con i modelli di business sostenibili. Aquilani et al. (2020) analizzano



come queste piattaforme consentano alle industrie di collaborare efficacemente, migliorando l'efficienza delle risorse.

3.1.6 Tecnologia Blockchain

La blockchain viene esplorata come tecnologia abilitante dell'Industria 4.0 per diffondere le pratiche di simbiosi industriale. La letteratura discute un approccio preliminare in due fasi, evidenziando il potenziale della blockchain per **facilitare transazioni sicure e trasparenti nelle reti di simbiosi industriale**.

3.1.7 Gemelli digitali

Un gemello digitale è una rappresentazione virtuale di un oggetto fisico, di un sistema o di un processo che viene continuamente aggiornato con dati in tempo reale per rispecchiare la sua controparte reale. Questo modello dinamico consente la simulazione, l'analisi e il controllo, **fornendo informazioni sulle prestazioni e sui potenziali problemi prima che si verifichino**.

L'utilizzo dei gemelli digitali supporta le reti di simbiosi industriale fornendo un quadro di riferimento per l'analisi della prospettiva dell'utente prima di sviluppare la collaborazione della catena di fornitura basata sui gemelli digitali. Questo approccio promuove la progettazione di gemelli digitali dal punto di vista dell'utente, migliorando la collaborazione e l'efficienza delle reti di simbiosi industriale.

Applicazioni in calcestruzzo:

- Produzione: Nelle linee di produzione, i gemelli digitali monitorano la salute delle apparecchiature, prevedono i guasti e ottimizzano le operazioni, riducendo i tempi di fermo e i costi di manutenzione.
- Pianificazione urbana: Le città sviluppano gemelli digitali di ambienti urbani per simulare il flusso del traffico, il consumo energetico e lo sviluppo delle infrastrutture, favorendo una pianificazione efficiente e la gestione delle risorse.
- Commercio al dettaglio: Rivenditori come Walmart utilizzano i gemelli digitali per ottimizzare il layout dei negozi e migliorare l'esperienza dei clienti, simulando diverse configurazioni prima di implementare le modifiche fisiche.
- Assistenza sanitaria: I gemelli digitali di dispositivi medici o addirittura di organi umani possono contribuire alla pianificazione di trattamenti personalizzati, alla diagnostica predittiva e al miglioramento dei risultati dei pazienti.

3.2 Le innovazioni digitali alla base della simbiosi industriale: Casi di studio pratici

Il digitale facilita l'IS collegando le imprese, ottimizzando lo scambio di rifiuti e migliorando il processo decisionale attraverso l'analisi dei dati (Álvarez & Ruiz-Puente, 2017; Silva et al., 2022), oltre a facilitare lo scambio di risorse, come materiali, energia e informazioni, tra le industrie per promuovere la sostenibilità e l'efficienza economica. Questi strumenti migliorano la trasparenza, l'efficienza e la tracciabilità all'interno degli



ecosistemi industriali. Di seguito viene presentata una panoramica di alcune piattaforme degne di nota:

3.2.1 *Piattaforma SymbioSyS*

Sviluppato dall'Università di Cantabria, lo strumento SymbioSyS aiuta a individuare le sinergie di simbiosi industriale tra le aziende. Consente di identificare e visualizzare potenziali collaborazioni basate sullo scambio di rifiuti e sulla condivisione di risorse. La piattaforma supporta la raccolta dei dati, la mappatura delle risorse e l'identificazione delle sinergie per promuovere pratiche sostenibili di economia circolare. La piattaforma è disponibile all'indirizzo <https://symbiosys.unican.es/>.

3.2.2 *FLOW2*

FLOW2 è una piattaforma online che consente alle imprese di collaborare scambiando flussi e materiali residui. Facilitando la condivisione di beni sottoutilizzati, le aziende possono acquisire materiali a costi inferiori senza consumare nuove materie prime, promuovendo così la simbiosi industriale e contribuendo all'economia circolare. La piattaforma è disponibile sul sito <https://www.floow2.com/en.html>.

3.2.3 *InduSym*

InduSym supporta la gestione delle aree facilitando le connessioni circolari di energia, acqua e materiali tra le aziende regionali. Raccogliendo dati sui flussi residui nelle aree industriali, InduSym identifica opportunità di collaborazione e consiglia e sostiene progetti orientati all'area per far progredire l'economia circolare. La piattaforma è disponibile all'indirizzo <https://www.indusym.nl/>.

3.2.4 *SHAREBOX*

SHAREBOX è una piattaforma online progettata per consentire la simbiosi industriale di nuova generazione. Fornisce alle aziende un ambiente sicuro per la gestione delle risorse condivise, tra cui materiali, energia e servizi. La piattaforma offre informazioni in tempo reale e strumenti decisionali per facilitare la gestione flessibile e l'ottimizzazione della condivisione delle risorse industriali. La piattaforma è disponibile all'indirizzo <https://sharebox-project.eu/>. (vedi anche aspire2050.eu)

3.2.5 *e-Symbiosis*

La piattaforma e-Symbiosis è uno strumento basato sul web che consente agli utenti di partecipare ad attività di simbiosi industriale per migliorare l'efficienza delle risorse e la sostenibilità. Facilita lo scambio di risorse sottoutilizzate tra le aziende, contribuendo alla realizzazione di un'economia circolare. La piattaforma è disponibile all'indirizzo [e-Symbiosis Platform](#). (vedi anche researchgate.net). Sfrutta la tecnologia per sostenere la simbiosi industriale tra le PMI utilizzando l'ingegneria ontologica per modellare i flussi simbiotici. Questo sistematizza lo sviluppo di servizi di matching, consentendo alle PMI di scoprire e implementare soluzioni simbiotiche innovative (Cecelja et al., 2015). La piattaforma è stata convalidata con dati reali, dimostrando il suo potenziale per migliorare le reti di simbiosi industriale (Cecelja et al., 2015).

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



3.2.6 Piattaforma Symbiosis (ENEA)

È la prima piattaforma di simbiosi industriale in Italia. Mette in contatto oltre 80 PMI, facilitando quasi 690 potenziali corrispondenze di risorse. La piattaforma aiuta le PMI a individuare le opportunità di sostituire le risorse con i prodotti di scarto e a condividere i servizi di gestione dei rifiuti (Cutaia et al., 2015). L'iniziativa sottolinea il ruolo dei quadri normativi e della partecipazione degli stakeholder per il successo dell'implementazione della simbiosi industriale (Cutaia et al., 2015).

Sviluppata dall'ENEA, l'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, la Piattaforma Symbiosis mira a mettere in contatto domanda e offerta di risorse, attivando trasferimenti tra aziende. È dotata di una struttura di esperti per l'identificazione di potenziali soluzioni di simbiosi industriale, di un sistema informativo completo che descrive le risorse disponibili e di una rete che collega i vari soggetti interessati. Gli obiettivi della piattaforma includono il miglioramento della valorizzazione dei rifiuti, la facilitazione della gestione territoriale dei rifiuti industriali e la promozione di schemi di simbiosi industriale. La piattaforma è disponibile all'indirizzo <http://www.industrialsymbiosis.it/piattaforma>. (vedi anche interregeurope.eu)

3.2.7 E-Simbioza

E-Simbioza è un'iniziativa volta a tracciare la strada verso un'economia circolare attraverso la simbiosi industriale in Slovenia. Fornisce approfondimenti sul livello di comprensione e implementazione della simbiosi industriale nella regione, promuovendo lo scambio di risorse sottoutilizzate tra le aziende per migliorare la sostenibilità. La piattaforma è disponibile all'indirizzo <http://esimbioza.fis.unm.si/> (vedi anche [researchgate.net](https://www.researchgate.net)).

3.2.8 Value Chain Generator (VCG.AI)

Anteja ECG è una società di consulenza internazionale con sede a Lubiana, in Slovenia, e altri uffici a Nairobi, in Kenya, Stoccarda, in Germania, e Boston, negli Stati Uniti. Fondata nel 2005, l'azienda è specializzata nello sviluppo sostenibile, concentrandosi sulla progettazione e l'implementazione di strategie di innovazione e modelli di business circolari, tra cui l'ottimizzazione delle catene del valore e la massimizzazione dell'efficienza delle risorse. Anteja ha sviluppato diverse soluzioni digitali per promuovere la sostenibilità e la trasparenza nelle catene del valore.

La piattaforma Value Chain Generator (VCG.AI) utilizza l'intelligenza artificiale e l'apprendimento automatico per collegare le aziende di diversi settori e Paesi in catene del valore circolari e resilienti. Un'altra soluzione, phy2app, è uno strumento di trasparenza e tracciabilità digitale che aiuta le aziende agroalimentari dell'Africa orientale a stabilire relazioni commerciali dirette con acquirenti regionali e globali. Inoltre, INATrace è un sistema di tracciabilità open-source basato sulla tecnologia blockchain che promuove la fiducia e la sicurezza tra i partner commerciali e migliora

l'efficienza della catena di approvvigionamento. Gli strumenti digitali sono disponibili sul sito <https://anteja-ecg.com/>.

La tabella seguente classifica le varie iniziative di simbiosi industriale in base agli strumenti e alle tecnologie digitali che utilizzano:

Iniziativa	Strumenti di matchmaking	Piattaforme online	Sistemi di gestione intelligenti	Ingegneria ontologica	Piattaforme digitali Industria 4.0	Tecnologia Blockchain	Gemelli digitali
Piattaforma SymbioSys	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
FLOW2	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
InduSym	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
SHAREBOX	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
e-Symbiosis	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Piattaforma Symbiosis (ENEA)	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
E-Simbioza	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Value Chain Generator (VCG.AI)	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗

3.3 Ostacoli all'implementazione

Sebbene le piattaforme descritte nella sezione precedente abbiano svolto un ruolo significativo nella simbiosi industriale, alcune di esse hanno cessato le attività a causa di problemi di governance, vincoli di finanziamento e adozione limitata da parte degli utenti.

Le sfide principali per l'implementazione degli strumenti digitali di IS includono questioni di governance e politiche, sfide di collaborazione dovute alla mancanza di fiducia, incertezze economiche e di mercato che influenzano la redditività delle IS, barriere tecniche e logistiche legate all'integrazione delle soluzioni digitali nei processi esistenti e preoccupazioni sociali e ambientali, tra cui la conformità alle normative e l'accettazione da parte della società (Michellini & Mattelin-Pierrard, 2023).

Le questioni di governance e di politica rappresentano una sfida significativa per la simbiosi industriale digitale, in quanto l'incoerenza delle normative e la mancanza di un chiaro sostegno governativo possono creare incertezza per le aziende che cercano di adottare pratiche di SI. Molte industrie hanno difficoltà ad orientarsi tra le complesse politiche ambientali che possono variare da una regione all'altra, rendendo difficile stabilire approcci standardizzati per lo scambio di risorse e il riutilizzo dei rifiuti.

Le sfide della collaborazione, in particolare la mancanza di fiducia tra i partner industriali, ostacolano ulteriormente l'adozione dei SI. Molte aziende sono riluttanti a condividere dati proprietari sui flussi di rifiuti e sui sottoprodotti, temendo potenziali rischi per il loro vantaggio competitivo. La creazione di canali di comunicazione trasparenti e di strutture sicure per la condivisione dei dati può aiutare a mitigare queste preoccupazioni e a promuovere una collaborazione più forte tra le industrie.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Le incertezze economiche e di mercato giocano un ruolo cruciale nell'implementazione delle SI, in quanto le industrie possono esitare a investire in nuovi strumenti digitali senza chiari incentivi finanziari o una comprovata redditività. I costi fluttuanti delle materie prime e dei servizi di gestione dei rifiuti possono influire sulla redditività degli scambi di SI, rendendo essenziale lo sviluppo di modelli di business solidi che evidenzino i benefici economici a lungo termine.

Anche le **barriere tecniche e logistiche** sono significative, poiché l'integrazione di soluzioni digitali nei processi industriali esistenti spesso richiede sostanziali aggiornamenti infrastrutturali. Molte aziende, in particolare le PMI, non hanno le competenze tecniche o le risorse finanziarie per implementare efficacemente strumenti digitali avanzati di matchmaking e monitoraggio. Affrontare queste lacune attraverso programmi di sostegno mirati e iniziative di formazione può accelerare l'adozione delle SI digitali.

Si devono considerare anche **gli aspetti sociali e ambientali**, tra cui la conformità alle normative e l'accettazione da parte della società. Alcune comunità possono opporsi alle iniziative di simbiosi industriale a causa dei rischi ambientali percepiti, come l'aumento dell'inquinamento o le pratiche di riutilizzo dei rifiuti che potrebbero influire sulla salute pubblica. Rafforzare il coinvolgimento degli stakeholder e garantire processi decisionali trasparenti può aiutare a costruire la fiducia del pubblico e a promuovere una maggiore accettazione delle iniziative di simbiosi industriale.

In conclusione, la simbiosi industriale rappresenta un percorso promettente per lo sviluppo industriale sostenibile, integrando i principi dell'economia circolare. Tuttavia, la sua attuazione richiede il superamento di barriere finanziarie, tecnologiche, normative e sociali. L'adozione di tecnologie digitali può migliorare significativamente la SI, facilitando lo scambio di risorse e il processo decisionale. Il continuo sostegno politico, la cooperazione industriale e l'innovazione tecnologica saranno fondamentali per realizzare il pieno potenziale della SI su scala globale.

3.4 Lezioni chiave e raccomandazioni

L'integrazione delle tecnologie digitali nella simbiosi industriale (IS) ha dimostrato un potenziale significativo nel migliorare l'efficienza delle risorse e la sostenibilità in diversi settori industriali. Piattaforme digitali avanzate, come gli strumenti di matchmaking, analizzano i dati sui flussi di rifiuti e sulla composizione dei materiali per identificare scambi vantaggiosi tra le industrie. Ad esempio, gli strumenti di Makropoulos et al. (2024) hanno sviluppato un focus sui flussi di rifiuti liquidi, individuando connessioni interindustriali redditizie. Le piattaforme online facilitano ulteriormente l'IS collegando le industrie tra le varie regioni, utilizzando sistemi intelligenti per raccomandare sinergie e affrontare sfide come la disponibilità di dati e la riluttanza a utilizzare materiali di recupero. Lo strumento SymbioSyS, presentato da Álvarez e Ruiz-Puente (2017), ne è un esempio, promuovendo la sostenibilità delle risorse e la creazione di reti tra le aziende attraverso i sistemi ICT-web.



I sistemi di gestione intelligente sfruttano le conoscenze esistenti della SI per modellare e analizzare le reti potenziali, il che è fondamentale per scoprire nuove sinergie e ottimizzare gli scambi di materiale. Chatzidimitriou et al. (2021) parlano di piattaforme che supportano l'identificazione e l'implementazione di relazioni simbiotiche. Come impiegato dal progetto e-Symbiosis, l'ingegneria ontologica modella i flussi di IS e sviluppa servizi di matching, combinando le conoscenze degli esperti con i dati dei partecipanti per creare soluzioni sistematiche, a beneficio soprattutto delle piccole e medie imprese (Cecelja et al., 2015).

Le piattaforme digitali di Industria 4.0 supportano la sostenibilità ambientale attraverso la SI, facilitando la co-creazione di valore e l'ottimizzazione delle risorse, in linea con i modelli di business sostenibili. Aquilani et al. (2020) analizzano come queste piattaforme consentano una collaborazione efficace, migliorando l'efficienza delle risorse. Anche la tecnologia Blockchain viene esplorata come tecnologia abilitante dell'Industria 4.0 per diffondere le pratiche di IS, offrendo transazioni sicure e trasparenti all'interno delle reti di IS. Inoltre, i gemelli digitali (), rappresentazioni virtuali di sistemi fisici aggiornate con dati in tempo reale, forniscono informazioni sulle prestazioni e sui potenziali problemi prima che si verifichino. L'utilizzo dei gemelli digitali supporta le reti di IS offrendo un quadro per l'analisi della prospettiva dell'utente prima di sviluppare collaborazioni di supply chain basate sui gemelli digitali, migliorando così l'efficienza e la collaborazione.

Le applicazioni pratiche di queste innovazioni digitali sono evidenti in diversi settori. Nel settore manifatturiero, i gemelli digitali monitorano la salute delle apparecchiature, prevedono i guasti e ottimizzano le operazioni, riducendo i tempi di fermo e i costi di manutenzione. La pianificazione urbana utilizza i gemelli digitali per simulare il flusso del traffico, il consumo energetico e lo sviluppo delle infrastrutture, contribuendo a una gestione efficiente delle risorse. Rivenditori come Walmart utilizzano i gemelli digitali per ottimizzare il layout dei negozi e migliorare l'esperienza dei clienti, simulando diverse configurazioni prima di implementare le modifiche fisiche. Nel settore sanitario, i gemelli digitali di dispositivi medici o addirittura di organi umani contribuiscono alla pianificazione di trattamenti personalizzati, alla diagnostica predittiva e al miglioramento dei risultati dei pazienti.

Nonostante questi progressi, diverse sfide ostacolano l'adozione diffusa degli strumenti digitali di IS. I problemi di governance e di politica, tra cui l'incoerenza delle normative e la mancanza di un chiaro sostegno governativo, creano incertezza per le imprese che prendono in considerazione le pratiche di IS (Michelini & Mattelin-Pierrard, 2023). Le sfide di collaborazione derivano dalla mancanza di fiducia tra i partner industriali, in quanto le aziende possono essere riluttanti a condividere dati proprietari sui flussi di rifiuti e sui sottoprodotti, temendo potenziali rischi per il loro vantaggio competitivo. Anche le incertezze economiche e di mercato giocano un ruolo fondamentale, in quanto le industrie possono esitare a investire in nuovi strumenti digitali senza chiari incentivi finanziari o senza una comprovata redditività. Le barriere tecniche e logistiche sono significative, poiché l'integrazione di soluzioni digitali nei processi industriali esistenti spesso richiede sostanziali aggiornamenti infrastrutturali. Molte

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



aziende, in particolare le PMI, non hanno le competenze tecniche o le risorse finanziarie per implementare efficacemente strumenti digitali avanzati di matchmaking e monitoraggio. Occorre inoltre considerare gli aspetti sociali e ambientali, tra cui la conformità alle normative e l'accettazione da parte della società. Alcune comunità possono opporsi alle iniziative di SI a causa dei rischi ambientali percepiti, come l'aumento dell'inquinamento o le pratiche di riutilizzo dei rifiuti che potrebbero influire sulla salute pubblica.

Per superare queste sfide, è essenziale stabilire regolamenti standardizzati, fornire incentivi finanziari e sviluppare solide infrastrutture digitali. Rafforzare il coinvolgimento delle parti interessate e garantire processi decisionali trasparenti può aiutare a costruire la fiducia del pubblico e a promuovere una più ampia accettazione delle iniziative di SI. Il continuo sostegno politico, la cooperazione industriale e l'innovazione tecnologica saranno fondamentali per realizzare il pieno potenziale della SI su scala globale.

4 Riferimenti bibliografici

Una rassegna completa della simbiosi industriale. (2019).

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>

Una revisione della simbiosi industriale nell'influenzare la produzione verde. (2022).

<https://doi.org/10.1109/icmimt55556.2022.9845273>

Akrivou, C., Łekawska-Andrinopoulou, L., Manousiadis, C., Tsimiklis, G., Oikonomopoulou, V., Papadaki, S., Krokida, M., & Amditis, A. (n.d.). Concetto di mercato di simbiosi industriale per i percorsi di valorizzazione dei rifiuti. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234911005>

Albu, A. (2017). *Simbiosi industriale: An Innovative Tool for Promoting Green Growth* (pp. 1-29). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45081-0_1

Al-Harrasi, A., Abu Qasida, A., Al-Qassabi, H., & Shamsuzzoha, A. (2017). *Studio della possibilità di simbiosi industriale all'interno di selezionate PMI omanite.* 2017. <https://journals.library.ryerson.ca/index.php/ictea/article/view/57>

Álvarez, R., & Ruiz-Puente, C. (2017). Sviluppo dello strumento SymbioSyS per supportare la transizione verso un'economia circolare basata su strategie di simbiosi industriale. *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), 1521-1530. <https://doi.org/10.1007/S12649-016-9748-1>

AquafilSLO. (2024). *Esempio di buona pratica in Slovenia.*

Aquilani, B., Piccarozzi, M., Silvestri, C., & Gatti, C. (2020). *Raggiungere la sostenibilità ambientale attraverso gli strumenti di Industria 4.0: Il caso della piattaforma digitale "Symbiosis"* (pp. 513-539). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1419-1.CH003>

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Astuti, R. S. D., & Astuti, A. D. (2018). *Progettazione preliminare di simbiosi industriali di pmi utilizzando il metodo della contabilità dei costi del flusso di materiali (MFCA)*. 31, 04008. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/20183104008>

Barile, S., Bassano, C., D'Amore, R., Piciocchi, P., Saviano, M., & Vito, P. (2021). Approfondimenti sui processi di trasformazione digitale nella simbiosi industriale a partire dall'approccio dei sistemi vitali (vSa). *Sostenibilità*, 13(17), 9696. <https://doi.org/10.3390/SU13179696>

Bauchat Grant, G., Seager, T. P., Massard, G. e Nies, L. (2010). La tecnologia dell'informazione e della comunicazione per la simbiosi industriale. *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), 740-753. <https://doi.org/10.1111/J.1530-9290.2010.00273.X>

Boquera, P., & Marcos, Á. (2023). *Linea guida sulla simbiosi industriale*. AIDIMME. Recuperato da <https://iproduce-project.eu/industrial-symbiosis-guideline/>

Castellet-Viciano, L., Hernández-Chover, V., Bellver-Domingo, Á., & Hernández-Sancho, F. (2022). Simbiosi industriale: A Mechanism to Guarantee the Implementation of Circular Economy Practices. *Sostenibilità*, 14(23), 15872. <https://doi.org/10.3390/su142315872>

Cecelja, F., Raafat, T., Trokanas, N., Innes, S., Smith, M., Yang, A., Zorgios, Y., Korkofygas, A., & Kokossis, A. C. (2015). *e-Symbiosis: technology-enabled support for industrial symbiosis targeting SMEs and innovation*. <https://epubs.surrey.ac.uk/804145/>

Chatterjee, A., Brehm, C. e Layton, A. (2021). Valutazione dei benefici delle architetture nidificate di ispirazione ecologica per la simbiosi industriale. *Resources Conservation and Recycling*, 167, 105423. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105423>

Chattopadhyay, S., Kumar, N., Fine, C. H., & Olivetti, E. (2016). *Simbiosi industriale tra piccole e medie imprese: Case of Muzaffarnagar, India* (pp. 173-177). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48768-7_25

Chatzidimitriou, T., Gentimis, T., Michalopoulos, C., Kokossis, A. C., & Dalamagas, T. (2021). *Piattaforma di gestione intelligente per l'ottimizzazione dello scambio di materiali e la simbiosi industriale* (Vol. 50, pp. 761-766). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88506-5.50119-4>

Cui, H., & Liu, C. (2017). *Applicazione della simbiosi industriale all'industria chimica: Una revisione della letteratura*. 1864, 020090. <https://doi.org/10.1063/1.4992907>

Cutaia, L., Luciano, A., Barberio, G., Sbaffoni, S., Mancuso, E., Scagliarino, C., & La Monica, M. (2015). L'esperienza della prima piattaforma di simbiosi industriale in Italia. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(7), 1521-1533. <https://doi.org/10.30638/EEMJ.2015.164>



Dolgova, O. e Nikitaeva, A. (2023). La simbiosi industriale come modo per risolvere i problemi ambientali nelle regioni (sull'esempio dell'area russa del Mar Nero). *BIO Web of Conferences*, 63, 03007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236303007>

Duan, Y. (2005). Modello di simbiosi: la scelta strategica delle PMI. *Giornale dell'Università di Economia e Finanza dello Yunnan*.

Piattaforma europea delle parti interessate all'economia circolare. (2024). *CEstakeholderEU - Piattaforma europea delle parti interessate all'economia circolare*.

Evans, S., Benedetti, M., & Holgado Granados, M. (2017). *Biblioteca di casi di simbiosi industriale e scambi collegati*. <https://doi.org/10.17863/CAM.12608>

Ferreira, I., Godina, R. e Carvalho, H. (2020). Valorizzazione dei rifiuti attraverso la produzione additiva in un contesto di simbiosi industriale. *Sostenibilità*, 13(1), 234. <https://doi.org/10.3390/SU13010234>

Golev, A. (2012). *Applicazione dei principi dell'ecologia industriale per migliorare l'efficienza delle risorse nelle aree industriali pesanti*. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:306125>

Haq, H. M. K. U., Välisuo, P. e Niemi, S. (2021). Modellazione di simbiosi industriali sostenibili. *Energies*, 14(4), 1172. <https://doi.org/10.3390/EN14041172>

Hariyani, D., Hariyani, P., Mishra, S., & Sharma, M. K. (2024). Sfruttare le tecnologie digitali per promuovere le pratiche dell'economia circolare e migliorare l'analisi del ciclo di vita: Una revisione sistematica della letteratura. *Bollettino sulla gestione dei rifiuti*. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.06.007>

Ecologia industriale. (2022). 167–190. <https://doi.org/10.1002/9781119721079.ch6>

Simbiosi industriale: Novel Supply Networks for the Circular Economy (pp. 29-48). (2022). Emerald Publishing Limited eBooks. <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-544-620221002>

International Synergies Limited. (2024). *International Synergies Limited (ISL)*.

Piattaforma di apprendimento delle politiche di Interreg Europe. (2024). *Piattaforma di apprendimento delle politiche di Interreg Europe*.

Isenmann, R. (2009). *Unire informatica ambientale ed ecologia industriale - Il ruolo delle TIC nei progetti di simbiosi industriale*. 213–216. <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/26314>

Isenmann, R. e Chernykh, K. (2009). *Il ruolo delle TIC nei progetti di simbiosi industriale - Applicazioni TIC ambientali per lo sviluppo eco-industriale*. 223–234. <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/26316>

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Islam, K., Rahman, Md. F., & Islam, K. N. (2016). Simbiosi industriale: A Review on Uncovering Approaches, Opportunities, Barriers and Policies. *Social Science Research Network*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2767107

Kosmol, L. e Leyh, C. (2021). *A Conceptual Design for Digital Industrial Symbiosis Ecosystems* (pp. 362-374). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82405-1_35

Kosmol, L. e Otto, L. (2020). Barriere all'implementazione della simbiosi industriale: A Systematic Review. *Conferenza internazionale delle Hawaii sulle scienze dei sistemi*, 1-9. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2020.741>

Kowalski, Z., Kulczycka, J., Makara, A., Mondello, G., & Salomone, R. (2023). Simbiosi industriale per la gestione sostenibile dei rifiuti di carne: Il caso del Parco Eco-Industriale di Śmítőwo, Polonia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5162. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065162>

Kumar, U. (2022). *Simbiosi industriale: Un'esplorazione del potenziale della gestione sostenibile dei rifiuti negli Emirati Arabi Uniti*. <https://doi.org/10.18502/aqf.0189>

Makropoulos, C., Kritikos, N.-A., & Pantazis, C. (2024). Matchmaking for industrial symbiosis: uno strumento digitale per l'identificazione, la quantificazione e l'ottimizzazione del potenziale simbiotico negli ecosistemi industriali. *Frontiere dell'ingegneria chimica*, 6. <https://doi.org/10.3389/fceng.2024.1363888>.

Michelini, L., & Mattelin-Pierrard, C. (2023). *Esplorare la simbiosi industriale: un'analisi delle criticità attuali per identificare tecnologie e opportunità digitali*. <https://doi.org/10.26481/mup.2302.14>

Mirata, M., Lindfors, A. e Kambanou, M. L. (2024). Un quadro di valore aziendale per la simbiosi industriale. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.13545>

Mironova, D. Yu., Baranov, I. V., Kapustin, D. S., Kozhukhov, Y. V., & Svinkin, I. A. (2023). Applicazione del concetto di simbiosi industriale al settore del petrolio e del gas sull'esempio della lavorazione del gas di petrolio associato. *Oil and Gas Business*, 21(3), 220-231. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-3-220-231>

Modelli di formazione di simbiosi industriali. (2023). *Upravlenie*, 11(1), 51-63. <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2023-11-1-51-63>

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. O. (2018). *Impatto ambientale, economico e sociale della simbiosi industriale: Methods and Indicators Review* (pp. 157-165). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14973-4_15

Nikitaeva, A. (2023). Tecnologie digitali e catene del valore circolari per lo sviluppo sostenibile. *Lecture Notes in Information Systems and Organization*, 169-179. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30351-7_14

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Nyakudya, P., Madushele, N. e Madyira, D. M. (2022). *Una revisione della simbiosi industriale nell'influenzare la produzione verde*. 80–84.
<https://doi.org/10.1109/ICMIMT55556.2022.9845273>

Nyakudya, P., Madushele, N., & Madyira, D. M. (2023). *Simbiosi industriale: Una panacea alle sfide della gestione dei rifiuti industriali ad Harare*. 238–243.
<https://doi.org/10.1109/icmimt59138.2023.10201222>

Patricio, J., Kalmykova, Y., Rosado, L., Cohen, J., Westin, A., & Gil, J. (2022). Metodo per identificare le opportunità di simbiosi industriale. *Resources Conservation and Recycling*, 185, 106437. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106437>

Perillo, G. (2024). Modelli di economia digitale e circolare. *Rivista di Ingegneria Civile e Scienze Ambientali*, 10(2), 061-062. <https://doi.org/10.17352/2455-488x.000085>

Petrova, V. (2022). *Simbiosi industriale nel settore delle materie prime come soluzione globale nell'economia circolare*, 3(3), 61-65.
<https://doi.org/10.58903/c16182120>

Rahman, Md. F., Islam, K., & Islam, K. N. (2016). *Simbiosi industriale: A Review on Uncovering Approaches, Opportunities, Barriers and Policies*. 2(1), 011-019.
<https://doi.org/10.17352/2455-488X.000009>

Ristola, P. e Mirata, M. (2007). Simbiosi industriale per sistemi industriali localizzati più sostenibili. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, 4, 184-205.
<https://doi.org/10.1504/PIE.2007.015186>

Sahu, R. K. (2023). Simbiosi industriale: Expanding Waste Reuse in a Brazilian Network of Agricultural Companies. *Sostenibilità e cambiamento climatico*, 16(1), 36-47.
<https://doi.org/10.1089/scc.2022.0099>

Silva, M., Carvalho, T., Gehrke Castagna, A., do Rocio Strauhs, F., & Piekarski, C. M. (2022). Il ruolo delle piattaforme online per abilitare il processo di simbiosi industriale: Un'analisi degli strumenti disponibili sul mercato. *Cleaner Production Letters*, 3, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2022.100021>

Il concetto di simbiosi industriale: esperienze di applicazione in vari Paesi e prospettive di attuazione in Russia sull'esempio della regione di Pskov. (2022). *Naučnyj Žurnal NIU ITMO*. <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2022-16-2-129-141>

Ulusoy, K., Doğan-Sağlamtimur, N., Çiner, F., Sternik, A., & Sekula, P. (2024). Pratiche di simbiosi industriale: A Case Study of Türkiye and Denmark. *Environmental Research & Technology*. <https://doi.org/10.35208/ert.1271679>

Vladimirova, D. e Miller, K. (2020). *Abilitazioni e barriere per la simbiosi industriale: lezioni apprese da venticinque casi di studio* (pp. 305-314). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780429346347-33>

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Weenen, H. (1999). *Progettazione per lo sviluppo sostenibile: esempi pratici di PMI*.
Fondazione europea per il miglioramento delle condizioni di vita e di lavoro, Ufficio
delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee.
<https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA40777083>.



PARTE II: ANALISI QUANTITATIVA- INDAGINE CONDOTTA SU AZIENDE IN 5 PAESI

5 Introduzione

La simbiosi industriale (SI) è ampiamente riconosciuta come una strategia chiave nella transizione verso un'economia circolare. Comporta lo scambio collaborativo di risorse, energia, informazioni e logistica tra organizzazioni con l'obiettivo di ridurre gli sprechi, migliorare l'efficienza delle risorse e generare vantaggi economici e ambientali reciproci (Chertow, 2007; Paquin & Howard-Grenville, 2013). Creando reti di aziende interconnesse che riutilizzano reciprocamente i sottoprodotti e le risorse sottoutilizzate, la SI facilita il passaggio da modelli di produzione lineari a sistemi più sostenibili e rigenerativi.

Negli ultimi anni, l'integrazione delle tecnologie digitali - come le piattaforme online, l'intelligenza artificiale (AI), l'Internet of Things (IoT) e la blockchain - è emersa come un potente fattore abilitante della SI. Queste tecnologie supportano l'identificazione di potenziali partner simbiotici, la tracciabilità in tempo reale dei flussi di materiali, una maggiore trasparenza dei dati e l'automazione dei processi contrattuali e di conformità (Yazan et al., 2021; Makropoulos et al., 2024). Ad esempio, le piattaforme digitali possono abbinare aziende con profili di rifiuti e risorse complementari, mentre la blockchain può garantire la tracciabilità e la fiducia negli scambi, soprattutto in catene di approvvigionamento complesse.

Questo rapporto presenta i risultati di un'indagine quantitativa condotta tra le aziende di cinque Paesi europei (Italia, Lettonia, Norvegia, Polonia e Slovenia), volta a valutare la consapevolezza, la disponibilità e l'interesse nei confronti della SI e degli strumenti digitali che ne supportano l'implementazione. L'analisi è contestualizzata attraverso la lente delle intuizioni teoriche della Digital Industrial Symbiosis: Literature Review (2025), che sintetizza i recenti progressi nella ricerca sulla SI, sulla trasformazione digitale e sulle transizioni di sostenibilità. L'analisi si basa su una crescente letteratura che richiede collaborazione intersettoriale, innovazione digitale e ambienti politici di supporto per sbloccare il pieno potenziale della SI in Europa e oltre (Bocken et al., 2022; Patricio et al., 2022; Michelini & Mattelin-Pierrard, 2023).

6 Obiettivi dell'analisi

Gli obiettivi principali dell'analisi sono stati quelli di valutare la consapevolezza e la disponibilità delle aziende nei confronti della SI, il loro interesse per gli strumenti digitali e l'identificazione dei benefici, delle sfide e delle barriere percepite. Il rapporto valuta inoltre l'influenza delle competenze digitali, dell'esperienza pratica, dei fattori

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



istituzionali e dell'intensità della collaborazione sul comportamento delle aziende nei confronti della SI.

7 Metodologia

Questa ricerca qualitativa si basa su un questionario sviluppato nell'ambito del progetto. I dati sono stati raccolti online utilizzando lo strumento di indagine online 1KA tra il 17 dicembre 2024 e il 19 marzo 2025. L'analisi si basa su un questionario strutturato distribuito alle aziende in Italia, Lettonia, Norvegia, Polonia e Slovenia. Il questionario comprendeva domande sulle caratteristiche dell'azienda, la consapevolezza e la disponibilità per la SI, l'uso di strumenti digitali, le esperienze pratiche, le pratiche di collaborazione e le barriere all'implementazione. I dati sono stati elaborati utilizzando statistiche descrittive, correlazione di Spearman, test di Kruskal-Wallis e test chi-quadro.

Il campione è composto da 78 risposte valide, che rappresentano una gamma diversificata di settori industriali. Le industrie tradizionali sono ben rappresentate, con il 19% degli intervistati provenienti dal settore manifatturiero, il 21% dal settore agroalimentare e il 22% da quello tecnologico. In particolare, il 38% ha selezionato "Altro", indicando un'ampia gamma di settori, tra cui consulenza aziendale, pubblica amministrazione, servizi finanziari, ricerca e sviluppo, biotecnologie, gestione dei rifiuti, edilizia e istruzione. Ciò suggerisce che la simbiosi industriale non coinvolge solo i settori produttivi principali, ma anche un'ampia gamma di industrie di supporto e basate sulla conoscenza.

Dal punto di vista delle dimensioni organizzative, il campione è composto prevalentemente da entità più piccole. Le microimprese (1-9 dipendenti) costituiscono il gruppo più numeroso, con il 44% degli intervistati, seguite dalle piccole imprese (10-49 dipendenti) con il 28%. Le organizzazioni di medie dimensioni (50-249 dipendenti) rappresentano il 18%, mentre le grandi organizzazioni (250+ dipendenti) sono le meno rappresentate, con il 10%. Ciò indica che il campione è ampiamente orientato verso le micro e le piccole organizzazioni.

Dal punto di vista dell'ubicazione della sede centrale dell'organizzazione, il campione comprende organizzazioni di cinque Paesi principali, la maggior parte delle quali ha sede in Slovenia (29% se si include l'unica risposta "Altro" indicata come Austria ma riferita a un'organizzazione slovena). Seguono l'Italia (22%), la Lettonia (21%) e la Polonia (21%), mentre la Norvegia rappresenta l'8% del campione. Nel complesso, le organizzazioni sono distribuite in modo uniforme tra questi Paesi, con una leggera prevalenza di entità con sede in Slovenia.

8 Risultati e interpretazione

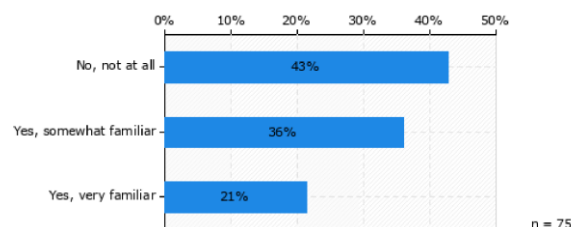
8.1 Consapevolezza e familiarità con la simbiosi industriale (SI)

Il 43% degli intervistati ha dichiarato di non conoscere il concetto di simbiosi industriale (SI), mentre il 36% ne aveva una certa familiarità e solo il 21% ha dichiarato di

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

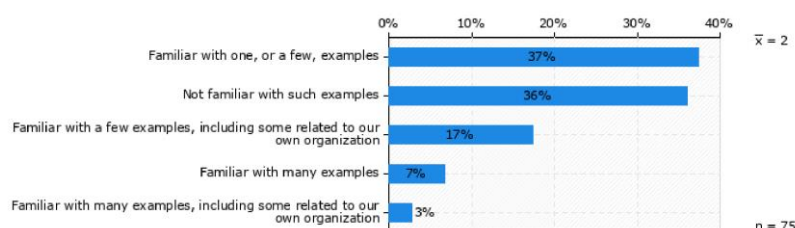
conoscerlo molto bene. In media, la consapevolezza ha ottenuto un punteggio di 1,8 su 3 ($SD = 0,8$), indicando una familiarità limitata nel campione.

Figura1 : Conoscenza del concetto di simbiosi industriale



Alla domanda sulla simbiosi industriale digitale, in cui le TIC vengono utilizzate per identificare opportunità di condivisione delle risorse, solo il 20% degli intervistati conosceva esempi relativi alla propria organizzazione, mentre il 36% ha dichiarato di non conoscerne affatto. Il punteggio medio è stato di 2,0 su 5 ($SD = 1,0$), suggerendo che la simbiosi industriale digitale è ancora un concetto relativamente nuovo o sconosciuto per molti.

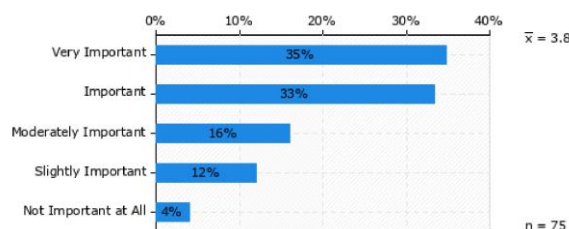
Figura2 : familiarità con esempi di simbiosi industriale digitale



8.2 Importanza percepita della sostenibilità

La sostenibilità e l'efficienza delle risorse sono considerate cruciali per la competitività e la redditività dalla maggior parte delle organizzazioni intervistate. Il 68% ha valutato questi fattori come "importanti" o "molto importanti", con una valutazione media di 3,8 su 5 ($SD = 1,2$). Ciò riflette un forte sostegno generale alle pratiche aziendali sostenibili.

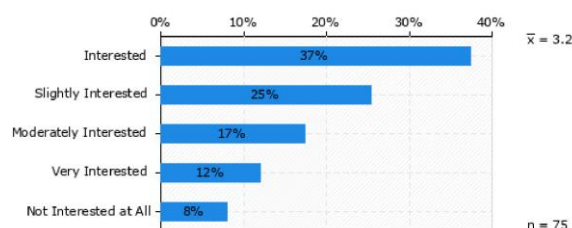
Figura3 : Importanza della sostenibilità e dell'efficienza delle risorse



8.3 Interesse per l'apprendimento e la partecipazione

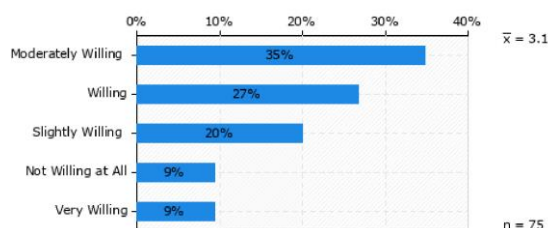
Nonostante i diversi livelli di familiarità, c'è un notevole interesse a saperne di più sulla simbiosi industriale. Quasi la metà degli intervistati (49%) ha dichiarato di essere interessato o molto interessato a come la condivisione delle risorse potrebbe avvantaggiare la propria azienda (media 3,2/5).

Figura4 : Interesse a saperne di più sulla condivisione delle risorse



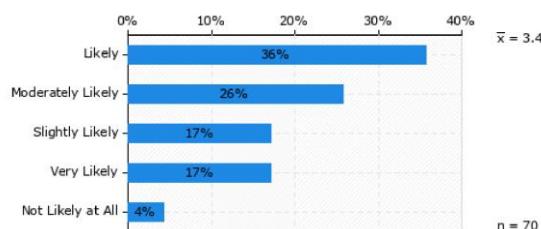
Allo stesso modo, il 62% ha espresso una disponibilità da moderata a elevata a partecipare a iniziative di SI digitale, con un punteggio medio di 3,1 (SD = 1,1).

Figura5 : Disponibilità a partecipare a iniziative di simbiosi industriale digitale



Alla domanda sulla probabilità di prendere in considerazione la condivisione delle risorse se potesse ridurre i costi o creare valore, il 53% ha risposto positivamente (probabile o molto probabile), con una media di 3,4 su 5 (SD = 1,1).

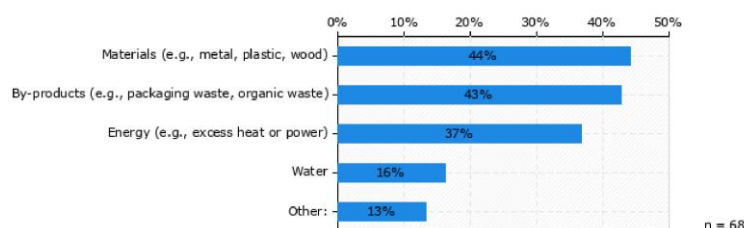
Figura6 : Probabilità di considerare la condivisione o il riutilizzo delle risorse



8.4 Risorse e materiali di scarto

I tipi più comuni di rifiuti o risorse residue che le organizzazioni trattano includono materiali come metallo, plastica o legno (44%), sottoprodotti come imballaggi o rifiuti organici (43%) ed energia (37%). Un numero minore di organizzazioni ha indicato l'acqua (16%) o altre risorse (13%) come scarti significativi.

Figura7 : Risorse o materiali attualmente prodotti



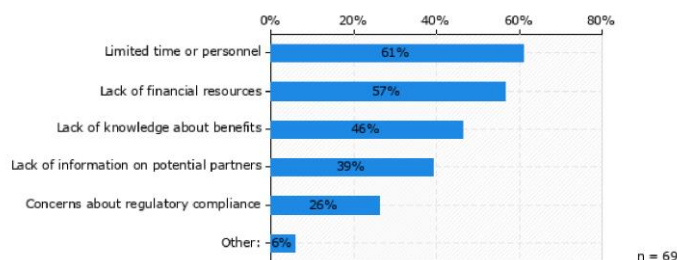
8.5 Ostacoli alla partecipazione alle iniziative di IS

I principali ostacoli identificati sono stati:

- Tempo o personale limitato (61%)
- Mancanza di risorse finanziarie (57%)
- Mancanza di conoscenza dei benefici (46%)
- Mancanza di informazioni sui potenziali partner (39%)
- Preoccupazione per la conformità normativa (26%)

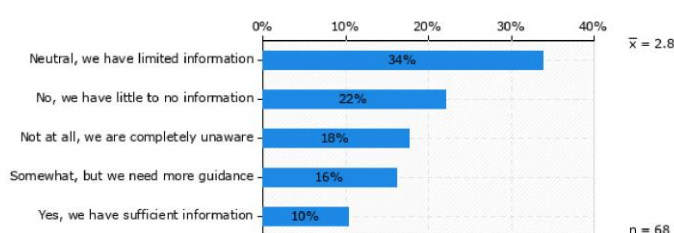
Ciò indica che sia le limitazioni di risorse che le lacune informative giocano un ruolo significativo nell'impedire l'impegno.

Figura8 : Ostacoli alla partecipazione a iniziative di SI e CE



8.6 Esigenze di conoscenza e orientamento

Figura9 : Informazioni sufficienti per prendere decisioni sulle pratiche sostenibili

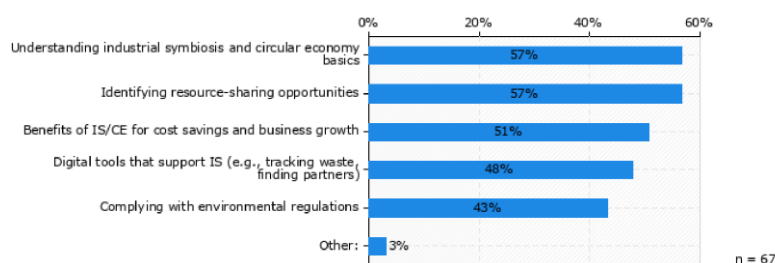


Solo il 10% degli intervistati ritiene di avere informazioni sufficienti per prendere decisioni sulla SI o sulle pratiche di economia circolare (CE), mentre il 74% ha dichiarato di avere informazioni limitate o nulle (in media 2,8/5).

L'interesse per la formazione è stato elevato nelle seguenti aree:

- Nozioni di base di IS/CE (57%)
- Identificare le opportunità di condivisione (57%)
- Risparmio di costi e vantaggi per la crescita (51%)
- Conformità alle normative ambientali (43%)
- Strumenti digitali per l'IS (48%)

Figura10 : Benefici derivanti dalla formazione o dall'orientamento in materia di SI o CE

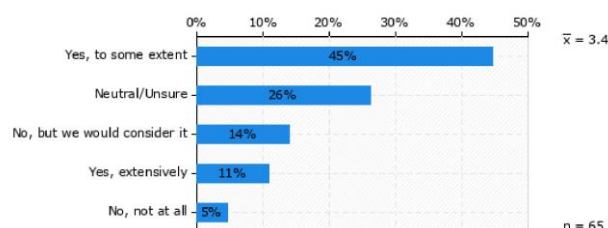


Alla domanda se linee guida chiare e semplificate sulla sostenibilità e sulla condivisione delle risorse aumenterebbero la probabilità di partecipazione della loro organizzazione, la maggioranza degli intervistati (56%) ha risposto positivamente. In

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

particolare, il 45% ha indicato che sarebbe più propenso a partecipare "in parte", mentre l'11% ha risposto "sì, in modo massiccio". Un altro 26% si è dichiarato neutrale o incerto e il 18% ha espresso un certo livello di esitazione, mentre solo il 5% ha dichiarato apertamente che linee guida chiare non avrebbero influenzato la loro partecipazione. Questi risultati suggeriscono che una guida accessibile e pratica potrebbe svolgere un ruolo chiave nell'incoraggiare un impegno più ampio.

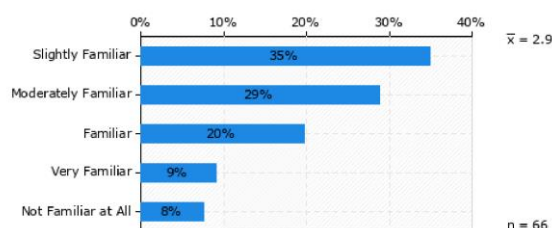
Figura11 : Probabilità di partecipare a iniziative di IS in caso di linee guida semplificate sulla sostenibilità e la condivisione delle risorse



8.7 Consapevolezza e sfide legali

La familiarità con i requisiti legali per la sostenibilità è stata moderata (in media 2,9/5). Solo il 29% si è dichiarato esperto o molto esperto.

Figura12 : familiarità con i requisiti legali per la riduzione dei rifiuti, la condivisione delle risorse o la sostenibilità

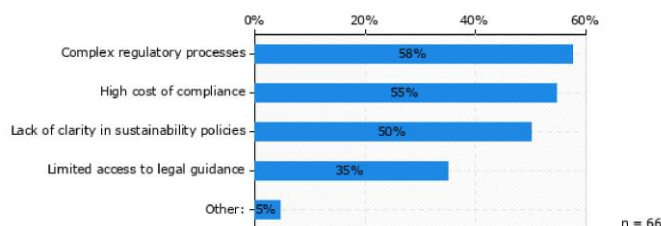


Tra le sfide più comuni vi sono:

- Processi normativi complessi (58%)
- Costi di conformità elevati (55%)
- Mancanza di chiarezza nelle politiche di sostenibilità (50%)
- Accesso limitato all'orientamento legale (35%)

Figura13 : Sfide nell'adozione di pratiche sostenibili

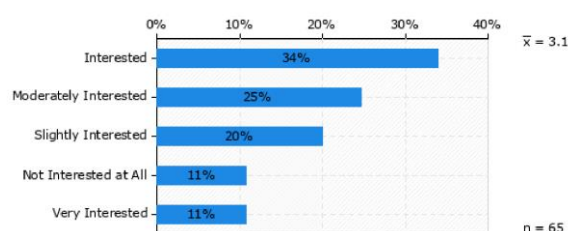
Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



8.8 Strumenti digitali e loro adozione

L'interesse per gli strumenti digitali per la gestione e la riduzione dei rifiuti è stato moderato (in media 3,1/5), con il 45% che si è dichiarato interessato o molto interessato.

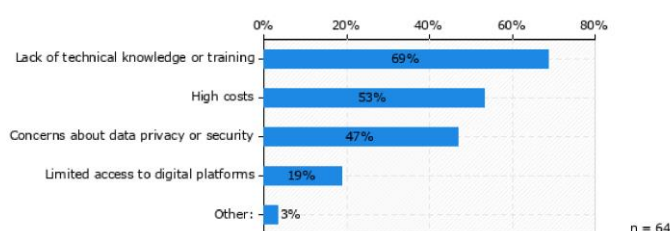
Figura14 : Interesse per gli strumenti digitali



Tuttavia, l'adozione è ostacolata da:

- Mancanza di conoscenze tecniche o di formazione (69%)
- Costi elevati (53%)
- Problemi di privacy dei dati (47%)
- Accesso limitato alle piattaforme (19%)
- Esigenze di formazione e informazione

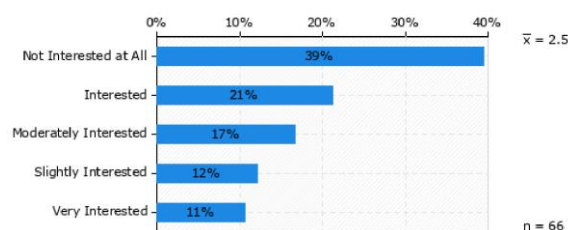
Figura15 : Sfide nell'adozione degli strumenti digitali



Gli intervistati hanno espresso un chiaro interesse a ricevere formazione o orientamento sui temi della simbiosi industriale e dell'economia circolare. Tuttavia, alla domanda diretta sull'interesse per la formazione sulla SI digitale e sul potenziale di mercato, le risposte sono state più divise: Il 39% non era affatto interessato, mentre il 32% ha mostrato un interesse da moderato a elevato (in media 2,5/5).

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

Figura16 : Interesse a ricevere maggiori informazioni o formazione sulla simbiosi industriale digitale e sul suo potenziale di mercato



8.9 Fattori trainanti e determinanti della preparazione organizzativa per la SI

L'analisi ha rivelato una forte correlazione positiva tra la consapevolezza e la disponibilità a impegnarsi nella SI ($r = 0,546$, $p < 0,001$), suggerendo che le aziende informate sono più propense a collaborare. Il test di Kruskal-Wallis ha indicato differenze significative nella consapevolezza tra i Paesi ($H = 14,72$, $p = 0,0053$). Le differenze di preparazione sono state marginalmente significative ($\chi^2 = 15,31$, $p = 0,053$). La Norvegia ha mostrato i punteggi più alti in termini di consapevolezza (3,06), disponibilità (3,92) e interesse digitale (4,50), mentre la Lettonia ha ottenuto il punteggio più basso.

L'interesse per gli strumenti digitali (Q24) non era significativamente correlato alle dimensioni dell'azienda ($p = 0,24$) o al settore ($p = 0,83$), ma sono state osservate differenze significative tra i Paesi ($H = 18,45$, $p = 0,001$). Le aziende che già applicano pratiche di SI (Q12) o collaborano con altri (Q13) hanno mostrato una maggiore disponibilità (ad esempio, $r = 0,23$ per gli scambi di materiale).

Anche la competenza digitale (Q16) e l'uso di strumenti informatici (Q17) sono stati correlati positivamente alla disponibilità (correlazioni fino a $r = 0,34$), indicando che le competenze digitali sono essenziali per l'implementazione della SI. È interessante notare che barriere come i costi elevati (Q25a), la mancanza di conoscenze tecniche (Q25b) e le preoccupazioni per la sicurezza dei dati (Q25d) non sono state correlate negativamente con la disponibilità. Anzi, hanno mostrato correlazioni positive, suggerendo che le aziende più esperte sono più consapevoli di tali sfide. I vantaggi riconosciuti (Q22) hanno avuto la correlazione più forte con la disponibilità ($r = 0,37$).

Figura17 : Confronto tra i Paesi partner del FReINDs

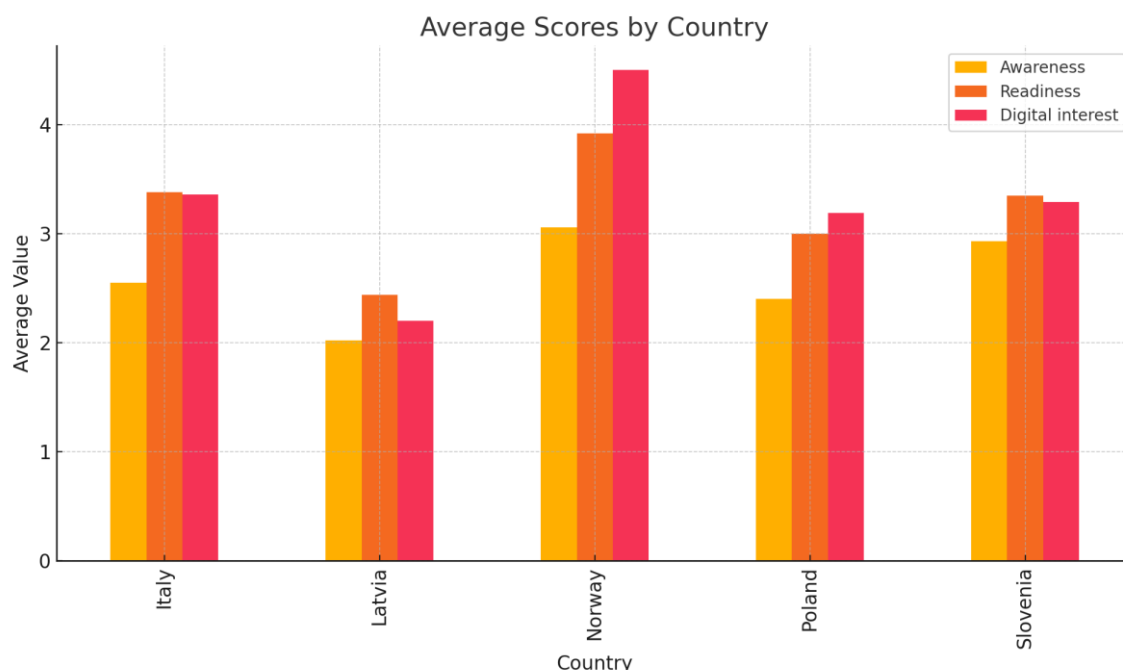


Figura17 mostra i punteggi medi relativi alla consapevolezza, alla disponibilità e all'interesse per gli strumenti digitali, suddivisi per Paese.

9 Discussione, limiti e ulteriori ricerche

I risultati di questo studio confermano diverse proposizioni teoriche sulla simbiosi industriale (SI). La forte relazione positiva tra consapevolezza e disponibilità a impegnarsi nella SI ($r = 0,546$, $p < 0,001$) è in linea con le ricerche precedenti che sottolineano il ruolo critico della conoscenza e della familiarità nel ridurre l'incertezza e nel promuovere la collaborazione inter-organizzativa (Ulusoy et al., 2024; Patricio et al., 2022). Le aziende informate appaiono significativamente più aperte alla cooperazione e alle pratiche di condivisione delle risorse, sottolineando l'importanza delle misure di sensibilizzazione e di un'attività di outreach mirata.

La correlazione significativa tra competenza digitale e disponibilità rafforza le affermazioni secondo cui la digitalizzazione, e in particolare le tecnologie di Industria 4.0, agiscono come fattori abilitanti della SI (Makropoulos et al., 2024). In particolare, l'uso di strumenti digitali (ad esempio, piattaforme di matchmaking dei partner e il monitoraggio delle risorse) e la competenza digitale (ad esempio, la consapevolezza delle pratiche legali e di sostenibilità) sono stati associati positivamente alla disponibilità delle aziende a partecipare alla SI, suggerendo che la maturità digitale è una condizione necessaria per rendere operative le strategie di SI.

Le differenze tra i Paesi in termini di consapevolezza, preparazione e interesse per il digitale evidenziano ulteriormente l'importanza del contesto nazionale e istituzionale. Ad esempio, le organizzazioni norvegesi hanno ottenuto i punteggi più alti in tutti e tre gli indicatori, mentre le organizzazioni lettoni hanno ottenuto i punteggi più bassi.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Questi risultati sono coerenti con le ricerche che sottolineano l'influenza delle strutture di supporto istituzionale, delle politiche nazionali e della disponibilità culturale nel plasmare l'adozione dei SI (Michellini & Mattelin-Pierrard, 2023). Potrebbero quindi essere necessari interventi nazionali o regionali su misura per promuovere le SI nei Paesi in cui la consapevolezza e la preparazione sono in ritardo.

È interessante notare che le barriere percepite, come i costi elevati, la mancanza di conoscenze tecniche e le preoccupazioni relative alla privacy dei dati, spesso citate come deterrenti, non sono state associate negativamente alla disponibilità. Al contrario, queste barriere hanno mostrato correlazioni deboli ma positive con la disponibilità, suggerendo che le organizzazioni con maggiore esperienza nelle pratiche di IS o di sostenibilità digitale sono più consapevoli delle complessità coinvolte. Ciò implica che livelli più elevati di impegno derivano da una maggiore consapevolezza delle sfide del mondo reale, e tale consapevolezza non riduce necessariamente la volontà di partecipare.

La correlazione più forte con la disponibilità è stata riscontrata nel riconoscimento dei benefici tangibili derivanti dalla SI e dalle pratiche di economia circolare ($r = 0,37$). Questo risultato rafforza l'idea che quando le organizzazioni vedono un chiaro caso commerciale - attraverso risparmi sui costi, guadagni di efficienza o vantaggi competitivi - sono più propense a impegnarsi in iniziative di SI.

Sebbene questi risultati forniscano indicazioni preziose, lo studio presenta anche diversi limiti. In primo luogo, la dimensione del campione ($N=78$) è relativamente modesta e il numero di intervistati per Paese potrebbe non cogliere sufficientemente le variazioni a livello nazionale. In secondo luogo, il fatto di basarsi su dati autodichiarati introduce la possibilità di distorsioni, tra cui l'eccesso di dichiarazioni sulle pratiche o sulla disponibilità alla sostenibilità. In terzo luogo, la natura trasversale dello studio limita la capacità di fare inferenze causali sulle relazioni tra consapevolezza, disponibilità e impegno digitale.

Per ovviare a queste limitazioni, le ricerche future potrebbero adottare disegni longitudinali che seguano i cambiamenti nell'impegno della SI nel tempo ed esaminino i percorsi causali. Anche l'ampliamento dell'ambito geografico per includere un insieme più diversificato di Paesi migliorerebbe la generalizzabilità dei risultati. Inoltre, l'integrazione di metodi qualitativi, come interviste o studi di casi, potrebbe far emergere approfondimenti sulle motivazioni organizzative, sugli ostacoli contestuali e sulle migliori pratiche per l'implementazione delle SI in contesti diversi.

Infine, è evidente la necessità di valutare ulteriormente gli strumenti digitali utilizzati a supporto della SI. Studi comparativi di diverse piattaforme e soluzioni ICT potrebbero aiutare a determinare cosa funziona meglio in diversi settori o contesti organizzativi. Inoltre, la ricerca futura dovrebbe esplorare il ruolo degli incentivi politici, dei quadri normativi e dei servizi di supporto nell'accelerare l'adozione delle SI e l'integrazione dei modelli di business circolari.



10 Riferimenti bibliografici

Bocken, N. M. P., Ritala, P., Albareda, L., & Verburg, R. (2022). Innovazione dei modelli di business per l'economia circolare: Opportunità crescenti per l'IS attraverso la digitalizzazione. *Journal of Cleaner Production*, 367, 132901. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132901>

Chertow, M. R. (2007). "Scoprire" la simbiosi industriale. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11-30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1150>

Makropoulos, C., Cecelja, F., & Yang, A. (2024). Trasformazione digitale della simbiosi industriale: Strumenti e percorsi di implementazione. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.13567> (Segnaposto DOI se non ancora disponibile).

Michelini, G. e Mattelin-Pierrard, M. (2023). Il sostegno istituzionale alla simbiosi industriale in Europa. *Sostenibilità*, 15(6), 2152. <https://doi.org/10.3390/su15062152>

Paquin, R. L., & Howard-Grenville, J. (2013). Appuntamenti al buio e matrimoni combinati: Processi longitudinali di orchestrazione della rete. *Organization Studies*, 34(11), 1623-1653. <https://doi.org/10.1177/0170840613495330>

Patricio, J., Ferreira, M. S. e Costa, I. (2022). Vantaggi e barriere della simbiosi industriale: Una revisione sistematica della letteratura. *Journal of Cleaner Production*, 368, 132725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132725>

Ulusoy, A., Demirel, E., & Ciftci, M. (2024). I driver dell'economia circolare e dell'adozione di IS tra le PMI. *Resources, Conservation & Recycling*, 198, 106123. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106123>

Yazan, D. M., Romano, V. A., & Albino, V. (2021). Il ruolo delle tecnologie digitali a supporto della simbiosi industriale: Una revisione sistematica. *Risorse, Conservazione e Riciclaggio*, 164, 105190. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105190>

PARTE III: ANALISI QUALITATIVA- APPROFONDIMENTI TEMATICI DELLE INTERVISTE

1 Introduzione

Questa parte del rapporto presenta un'analisi tematica approfondita di 16 interviste semi-strutturate condotte con PMI, istituzioni pubbliche ed esperti del settore coinvolti nelle pratiche di simbiosi industriale digitale (DIS) e di economia circolare. Le interviste sono state condotte tra l'ottobre 2023 e il febbraio 2025 nell'ambito delle attività del progetto Erasmus+ che esplora il potenziale di scalabilità della DIS in Europa.

Gli intervistati rappresentano uno spaccato eterogeneo di stakeholder provenienti da Slovenia, Polonia, Italia e Norvegia, sia per quanto riguarda le fasi iniziali di adozione che gli attori avanzati del settore. Il campione di intervistati norvegese, in particolare, comprende organizzazioni dei settori dell'edilizia e dello sviluppo urbano, a testimonianza di una forte attenzione nazionale all'innovazione del riuso e alla transizione digitale nell'ambiente costruito. Le risposte provenienti dai Paesi dell'Europa centrale e meridionale, invece, colgono una gamma di prospettive che vanno dalle PMI, ai consulenti per la sostenibilità, agli sviluppatori di piattaforme e ai leader delle iniziative circolari.

Sulla base di questi dati qualitativi, supportati da approfondimenti teorici derivanti dalla ricerca desk svolta dal progetto FReIND (febbraio 2025), il rapporto esplora le opportunità, le barriere e le esigenze di sviluppo delle capacità relative all'implementazione di DIS in contesti reali. Particolare attenzione viene data all'integrazione di strumenti digitali come piattaforme, sistemi di tracciamento e IA nei processi di collaborazione circolare, con particolare attenzione alla costruzione, alla logistica del riutilizzo e al coordinamento inter-organizzativo.

L'obiettivo è quello di fornire risultati pratici e rilevanti dal punto di vista politico che possano sostenere una più ampia adozione dei principi della simbiosi industriale in linea con l'innovazione digitale, la sostenibilità ambientale e la trasformazione sistemica. Grazie alla sua portata multinazionale e agli approfondimenti intersettoriali, questo rapporto contribuisce a una comprensione più approfondita di come la DIS stia emergendo nella pratica e di cosa sia necessario per sostenerne un'attuazione efficace, inclusiva e scalabile.

2 Domande di ricerca

RQ1. Qual è l'attuale livello di consapevolezza e comprensione della simbiosi industriale digitale (DIS) tra le PMI e le istituzioni?

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

RQ2. Quali sono i vantaggi e le opportunità che i partecipanti associano all'implementazione di soluzioni di simbiosi industriale digitale?

RQ3. Quali barriere o sfide ostacolano l'adozione di pratiche di simbiosi industriale digitale nelle PMI?

RQ4. Di quali tipi di formazione o supporto hanno bisogno i partecipanti per impegnarsi efficacemente con le soluzioni DIS?

RQ5. Come vedono i partecipanti il ruolo delle piattaforme digitali nel facilitare la collaborazione circolare e la condivisione delle risorse?

RQ6. Quali raccomandazioni politiche o cambiamenti sistemici i partecipanti suggeriscono per promuovere la DIS a livello locale o regionale?

3 Metodologia

L'analisi è stata condotta sulle risposte qualitative di 10 rappresentanti di PMI e istituzioni in tutta Europa - 1 intervista dalla Slovenia, 2 interviste dall'Italia, 4 interviste dalla Polonia e 3 interviste dalla Lettonia, integrate da sei interviste di esperti del settore edile norvegese. È stato utilizzato un approccio misto, combinando la codifica manuale e la modellazione automatica dei temi (TF-IDF + NMF)¹ per ricavare temi e codici dominanti. Le citazioni sono state estratte e tradotte in inglese. I risultati sono contestualizzati con la recente letteratura teorica sulla simbiosi industriale e le tecnologie digitali (Desk Research Report, febbraio 2025).

4 Risultati dell'analisi tematica

Dai dati sono stati ricavati sei temi generali. Ogni tema è descritto di seguito, con le principali parole chiave inglesi (codici) e gli estratti di intervista selezionati.

4.1 Tema 1: Ostacoli e sfide pratiche

Questo tema racchiude le barriere strutturali, tecniche e organizzative che limitano l'adozione e la scalabilità della simbiosi industriale digitale (DIS) nei vari settori. Una preoccupazione ricorrente tra gli intervistati è l'**assenza di quadri normativi** che impongano o incentivino il riutilizzo dei materiali, soprattutto nel settore delle costruzioni. Senza obblighi di legge, molte aziende vedono pochi motivi per investire in soluzioni circolari o piattaforme di condivisione dei dati.

¹ TF-IDF + NMF è un metodo utilizzato per identificare automaticamente argomenti importanti nei dati di testo, come le trascrizioni delle interviste. TF-IDF individua le parole che sono frequenti in una particolare intervista ma rare in altre, evidenziando termini unici e significativi. L'NMF (fattorizzazione della matrice non negativa) raggruppa poi queste parole in temi o argomenti in base alla frequenza con cui compaiono insieme. Insieme, questo metodo aiuta a rivelare i modelli di ciò di cui le persone parlano, supportando e arricchendo la codifica manuale nella ricerca qualitativa.



Inoltre, i partecipanti hanno spesso rilevato la **frammentazione delle infrastrutture esistenti, sia** fisiche che digitali. Molti sistemi di riuso sono ancora localizzati, mancano di connettività o operano manualmente, il che impedisce la loro integrazione in ecosistemi DIS più ampi. La mancanza di **interoperabilità tra gli strumenti** (ad esempio, piattaforme di riuso e software di pianificazione edilizia come il BIM) porta a inefficienze e duplicazioni di sforzi.

Anche la **qualità e la tracciabilità dei dati** emergono come problemi critici. Alcuni attori hanno riferito che gli inventari dei materiali disponibili sono incompleti, mal classificati o rapidamente obsoleti, rendendo inaffidabile la pianificazione del riutilizzo. Ciò influisce direttamente sulla fiducia e sui processi decisionali delle aziende che cercano di impegnarsi nella simbiosi digitale.

Le barriere legate ai costi sono particolarmente impegnative per le PMI, che spesso non hanno la flessibilità finanziaria necessaria per investire in soluzioni complesse o non collaudate. Il costo iniziale degli strumenti digitali, unito all'incertezza sul ritorno degli investimenti, scoraggia la sperimentazione.

La complessità logistica è un altro tema importante, in particolare nell'edilizia e nella produzione. Il trasporto, lo stoccaggio e il coordinamento del riutilizzo dei materiali richiedono nuovi flussi di lavoro e spesso nuove partnership, difficili da implementare senza un supporto sistemico.

Il tema 1 riflette come le **limitazioni tecniche, economiche e istituzionali interconnesse** agiscano da inibitori della simbiosi industriale digitale. Affrontare queste barriere richiede una risposta a più livelli che coinvolga la riforma delle politiche, la standardizzazione tecnologica, lo sviluppo delle capacità e le infrastrutture digitali condivise.

Parole chiave principali (codici):

- barriere, riutilizzo, mancanza di regolamentazione, mappatura, qualità dei dati, costi, integrazione, logistica, pianificazione, affidabilità

Citazioni esemplificative:

- "Il mandato di riutilizzo non esiste ancora. Senza di esso, molti attori non sono disposti a partecipare". - Asplan Viak (Norvegia)
- "La qualità dei dati nelle piattaforme esistenti è molto incoerente e ciò influisce sulla pianificazione". - Resirqel (Norvegia)
- "Riutilizzeremmo più materiali se ci fossero standard e sistemi stabili". - Rispondente al sondaggio (PMI)
- "La logistica è un ostacolo enorme. Coordinare il riutilizzo in più siti richiede molto tempo senza il giusto supporto digitale". - Sirkulær Ressurssentral (Norvegia)

4.2 Tema 2: Innovazione e visione strategica

Questo tema evidenzia il **potenziale lungimirante, creativo e di trasformazione** della simbiosi industriale digitale (DIS). Molti partecipanti vedono la DIS non solo come una soluzione tecnica, ma come un **fattore strategico per** il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità a lungo termine, modelli di business circolari e trasformazione organizzativa. Gli intervistati hanno sottolineato il valore di **ripensare i flussi di risorse**, non solo di ottimizzarli, indicando le opportunità per di **creare servizi, prodotti o modelli di cooperazione completamente nuovi** basati sui flussi di rifiuti e sui dati condivisi.

Al centro di questa visione c'è l'uso di **strumenti di simulazione digitale** e di **analisi predittiva**, che consentono alle aziende di prevedere il fabbisogno di risorse, di modellare gli impatti ambientali e di pianificare in modo più efficace gli scenari di riutilizzo. Queste tecnologie aiutano a passare da un **processo decisionale** reattivo a uno **proattivo**, supportando operazioni più resilienti e adattive.

I partecipanti hanno anche collegato la DIS all'**innovazione collaborativa**, dove la condivisione digitale di informazioni tra aziende, città e istituzioni può sbloccare sinergie precedentemente nascoste. In questo contesto, la creatività non si limita alla progettazione dei prodotti, ma si estende al **pensiero a livello di sistema**, in cui le aziende sviluppano insieme soluzioni a problemi condivisi, come la gestione delle eccedenze, l'ottimizzazione dello spazio o il coordinamento della logistica.

Diversi intervistati hanno parlato di come DIS si allinei con le loro **strategie di trasformazione a lungo termine**, in particolare nella transizione verso modelli aziendali a zero emissioni, a clima neutro o a basse emissioni di carbonio. L'enfasi sulla **creazione di valore dai residui** riflette il passaggio da un pensiero basato sulla conformità a un'innovazione guidata dalle opportunità.

In definitiva, questo tema posiziona il DIS come **catalizzatore per il riorientamento strategico**, consentendo alle organizzazioni di incorporare il pensiero circolare nei principali processi di pianificazione e innovazione, in particolare quando gli strumenti digitali sono resi accessibili, interoperabili e rispondenti alle esigenze degli utenti.

Parole chiave principali (codici):

- innovazione, idee, potenziale, simulazione, collaborazione, creatività, creazione di valore, ripensamento, trasformazione, lungo periodo

Citazioni esemplificative:

- "Gli strumenti digitali consentono la simulazione e la previsione. Ciò consente di risparmiare tempo e di prendere decisioni migliori". - PMI slovena
- "Stiamo esplorando modi per ripensare a come utilizzare i residui per creare nuovi servizi". - PMI circolare (sondaggio)
- "Vediamo il DIS come un'opportunità strategica, non solo per la conformità, ma anche per l'innovazione e la competitività". - FutureBuilt (Norvegia)

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



- "Non si tratta solo di riutilizzare ciò che resta. Si tratta di vedere i rifiuti come una risorsa per l'innovazione". - Intervistato (Polonia)
- "Utilizziamo i dati di pianificazione e i gemelli digitali per testare gli scenari di riutilizzo e migliorare l'efficienza prima ancora di iniziare la costruzione". - Asplan Viak (Norvegia)

4.3 Tema 3: Coinvolgimento e azione locale

Questo tema evidenzia l'**impegno attivo delle organizzazioni nell'applicazione dei principi della simbiosi industriale digitale (DIS) attraverso iniziative reali**, soprattutto a livello locale e regionale. A differenza dei temi incentrati sulla visione strategica o sul potenziale futuro, questo tema di enfatizza ciò che i partecipanti stanno già facendo, tra cui **progetti pilota, acquisti circolari, partnership e adozione di strumenti**.

Molti intervistati riferiscono di aver fatto parte di **esperimenti o progetti pilota di collaborazione incentrati sul riuso**, spesso sostenuti da istituzioni pubbliche, programmi di sviluppo regionale o progetti dell'UE. Questi sforzi dimostrano che anche le azioni su piccola scala - come la digitalizzazione dell'inventario di magazzino, la mappatura dei flussi di materiali o l'integrazione delle piattaforme di riutilizzo nella pianificazione urbana - possono servire come potenti ambienti di apprendimento e creatori di fiducia.

I partecipanti collegano spesso il loro **coinvolgimento nel DIS agli obiettivi di sostenibilità e di clima**, notando che l'impegno nel riutilizzo fa parte di missioni organizzative più ampie di responsabilità ambientale. Diversi casi mostrano come **l'azione locale sia spesso il punto di ingresso** in sistemi digitali più complessi. Ad esempio, una PMI edile che inizia con il riutilizzo dei materiali di scarto in loco può poi adottare un software di inventario, aderire a un mercato circolare o partecipare a reti di riutilizzo collaborativo.

Questo tema rivela anche che le **amministrazioni locali, gli istituti di ricerca e le ONG svolgono un ruolo catalizzatore** nella promozione del DIS, facilitando il finanziamento di progetti pilota, gli eventi di incontro e l'accesso agli strumenti. Questi intermediari spesso forniscono un contesto favorevole alla sperimentazione, soprattutto quando la fattibilità commerciale non è ancora dimostrata.

Inoltre, il tema sottolinea che **il coinvolgimento è guidato da qualcosa di più della conformità**: c'è un crescente senso di responsabilità etica e di mentalità innovativa che motiva l'azione. Tuttavia, i partecipanti sottolineano che la scalabilità di questi sforzi locali richiede un sostegno stabile, un allineamento politico a lungo termine e un rafforzamento delle capacità digitali adattato alle realtà di base.

Parole chiave principali (codici):

- riutilizzo, partecipazione, progetti pilota, progetti locali, sostenibilità, azione, sostegno, adozione, sforzi

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

Citazioni esemplificative:

- "Siamo già impegnati in un progetto pilota che prevede l'utilizzo di materiali riutilizzati. Fa parte dei nostri obiettivi di sostenibilità". - PMI del settore edile (sondaggio)
- "Abbiamo sviluppato un magazzino del riuso e ora vogliamo digitalizzarlo per migliorare il coordinamento". - Sirkulær Ressurssentral (Norvegia)
- "Per noi il DIS non è solo un'idea. Lavoriamo con la città per riutilizzare il legname e integrarlo nel nostro patrimonio edilizio". - Laboratorio di innovazione circolare (Norvegia)
- "Abbiamo iniziato in piccolo, ma far parte di un progetto di riutilizzo locale ci ha aiutato a capire il valore dei dati e della tracciabilità". - Rispondente al sondaggio (Italia)
- "La collaborazione con gli attori pubblici è essenziale. Essi forniscono l'infrastruttura e il coordinamento necessari per la scalabilità di questi sforzi". - Associazione NHO (Norvegia)

4.4 Tema 4: Esperienze pratiche e feedback sui casi

Questo tema cattura la prospettiva pratica e centrata sull'utente delle organizzazioni che si sono impegnate direttamente con gli strumenti e le pratiche della simbiosi industriale digitale (DIS). I partecipanti riflettono su cosa funziona, cosa non funziona e cosa è necessario per migliorare l'adozione nel mondo reale. Piuttosto che discutere strategie di alto livello, queste intuizioni provengono dall'esperienza concreta nell'uso di piattaforme digitali, sistemi di tracciamento e flussi di lavoro per il riutilizzo dei materiali.

Una questione fondamentale sollevata nelle interviste è l'**usabilità**. Molti strumenti sono considerati tecnicamente complessi e richiedono competenze digitali avanzate o una precedente esperienza con i sistemi di dati. Questo crea ostacoli per le organizzazioni piccole o meno esperte di tecnologia, in particolare per le PMI, che potrebbero non disporre di personale informatico dedicato o di risorse per la formazione. Di conseguenza, **molti intervistati chiedono piattaforme più semplici e intuitive**, con interfacce chiare e flussi di lavoro adatti ai non esperti.

La formazione e l'onboarding emergono come componenti essenziali per un'efficace implementazione di DIS. I partecipanti esprimono una forte esigenza di **istruzioni visive, passo dopo passo**, e di accesso all'**apprendimento basato su casi concreti**, dove esempi reali mostrano come organizzazioni simili hanno adottato strumenti, risolto problemi logistici o creato flussi di lavoro di riutilizzo. Alcuni intervistati sottolineano anche l'importanza di una **formazione specifica per il settore**, soprattutto per l'edilizia, dove i materiali, le normative e le tempistiche variano notevolmente.

I costi rimangono una preoccupazione costante: non solo quelli **finanziari dell'implementazione degli strumenti digitali**, ma anche quelli **nascosti** legati al tempo, alla gestione del cambiamento, alla formazione del personale e

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

all'integrazione del sistema. Alcuni intervistati si sono detti delusi da strumenti pilota troppo rigidi, poco documentati o che non hanno prodotto benefici misurabili.

Questo tema comprende anche il feedback sull'**integrazione del flusso di lavoro**, ovvero la necessità che gli strumenti DIS si inseriscano senza problemi nella pianificazione e nelle operazioni esistenti. Le applicazioni o le piattaforme autonome che non si collegano ai sistemi di approvvigionamento, alla pianificazione logistica o agli inventari dei materiali sono spesso percepite come un onere più che una soluzione.

Nel complesso, il tema sottolinea l'importanza di **progettare gli strumenti DIS dal punto di vista dell'utente**, garantendo che offrano un valore reale nella pratica quotidiana, non solo in teoria. Le voci di questo tema ci ricordano che il **successo della trasformazione digitale riguarda tanto le persone e i processi quanto la tecnologia**.

Parole chiave principali (codici):

- usabilità, strumenti, formazione, costi, passo dopo passo, apprendimento, esempi reali, flusso di lavoro, esperienza utente, barriere

Citazioni esemplificative:

- "Abbiamo bisogno di materiale formativo di base. Passo dopo passo, possibilmente visivi". - PMI (sondaggio)
- "L'usabilità dello strumento deve migliorare. Al momento richiede troppe conoscenze tecniche". - Intervistato norvegese
- "Abbiamo provato un cruscotto per il riutilizzo, ma non si collegava al nostro sistema di approvvigionamento, quindi l'abbiamo abbandonato". - Impresa di costruzioni (sondaggio)
- "I costi non riguardano solo le licenze, ma anche il tempo per formare il nostro personale e allinearsi al nostro flusso di lavoro interno". - Coordinatore del riutilizzo (Norvegia)
- "La cosa più utile è stata vedere cosa faceva un'altra PMI. Gli esempi pratici fanno la differenza". - PMI italiana intervistata

4.5 Tema 5: Piattaforme e progettazione di ecosistemi

Questo tema si concentra sul **ruolo centrale delle piattaforme digitali come fattori abilitanti della simbiosi industriale**, sottolineando l'importanza del pensiero a livello di sistema, dell'integrazione e dell'accessibilità. I partecipanti hanno costantemente descritto le piattaforme come **il pilastro della collaborazione circolare**, consentendo la visibilità, il coordinamento e la tracciabilità dei materiali riutilizzabili tra diversi attori e luoghi.

Un'intuizione chiave è che le piattaforme sono apprezzate non solo per **mettere in contatto domanda e offerta** (matchmaking), ma anche per sostenere la **fiducia e la trasparenza** nelle transazioni di riutilizzo. Gli intervistati hanno sottolineato che le piattaforme devono includere funzioni per la **documentazione dei materiali**, la



tracciabilità dell'origine e il controllo della qualità, soprattutto in settori come l'edilizia dove la conformità e la sicurezza sono fondamentali.

Gli intervistati auspicano piattaforme che vadano oltre i database di base, ovvero che integrino raccomandazioni supportate dall'intelligenza artificiale, dashboard per il processo decisionale e strumenti di analisi del ciclo di vita. Questo riflette il passaggio da archivi passivi a ecosistemi interattivi e intelligenti in grado di facilitare la collaborazione e l'ottimizzazione in tempo reale.

L'interoperabilità è emersa come un'esigenza cruciale. Molti partecipanti hanno sottolineato che le piattaforme devono essere in grado di **connettersi con altri sistemi**, in particolare con i sistemi informativi per la pianificazione e l'edilizia (ad esempio, BIM), con gli strumenti di approvvigionamento e con i registri di dati pubblici. Senza questa integrazione, anche le piattaforme ben progettate rischiano di essere sottoutilizzate o duplicate.

Un'altra idea ricorrente è la richiesta di **modelli di piattaforme pubbliche o semi-pubbliche**, sostenute dal governo, da cluster industriali o da consorzi. Queste piattaforme sono considerate infrastrutture essenziali per l'economia circolare, come le strade o le reti energetiche, e dovrebbero essere gestite in modo da garantire **l'accesso aperto, la standardizzazione dei dati e la manutenzione a lungo termine**.

I partecipanti hanno anche sottolineato l'importanza di progettare ecosistemi, non solo strumenti. Ciò include la gestione dell'**ambiente legale, finanziario e operativo** che circonda la piattaforma, garantendo che gli incentivi, i regolamenti e le strutture di supporto agli utenti siano allineati con gli obiettivi della piattaforma.

Nel complesso, questo tema sottolinea l'idea che **le piattaforme sono più che soluzioni tecniche**: sono **infrastrutture istituzionali e relazionali** che possono abilitare o inibire il successo della simbiosi industriale digitale.

Parole chiave principali (codici):

- piattaforma, ecosistema, tracciamento, matchmaking, integrazione, collaborazione, monitoraggio, trasparenza, sistemi di riutilizzo, accesso

Citazioni esemplificative:

- "Le piattaforme dovrebbero essere pubbliche e collegate a sistemi di pianificazione come il BIM". - FutureBuilt (Norvegia)
- "Utilizziamo piattaforme con strumenti di tracciamento e AI per ottimizzare la logistica del riuso". - Sirken (Norvegia)
- "L'ecosistema è importante. Una piattaforma è solo uno strumento se non è supportata dall'intero sistema". - Associazione NHO (Norvegia)
- "Abbiamo bisogno di un unico punto di ingresso, non di cinque diverse piattaforme di riutilizzo che non si parlano tra loro". - Rispondente al sondaggio (Polonia)
- "L'accesso a dati affidabili sul riutilizzo è fondamentale. Senza fiducia nei dati, nessuno utilizzerà la piattaforma". - Sviluppatore di piattaforme digitali (sondaggio)

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



4.6 Tema 6: Integrazione e automazione digitale completa

Questo tema rappresenta la **visione tecnologicamente più avanzata** della simbiosi industriale digitale (DIS) espressa dai partecipanti. È incentrato sull'**uso di tecnologie digitali all'avanguardia** - come l'intelligenza artificiale (AI), i sensori, i gemelli digitali e i cruscotti in tempo reale - per **automatizzare e ottimizzare i flussi di materiali, la logistica e i processi di riutilizzo** su scala.

Gli intervistati che si occupano di questo tema descrivono il DIS non come un processo manuale o semi-digitale, ma come un **sistema completamente integrato e guidato dai dati**. In questo sistema, i materiali possono essere monitorati continuamente dalla decostruzione alla riapplicazione, le decisioni sono supportate da algoritmi intelligenti e **l'apporto umano si concentra sulla supervisione strategica piuttosto che sui dettagli operativi**.

Diverse organizzazioni stanno già sviluppando o sperimentando **piattaforme supportate dall'intelligenza artificiale** in grado di far incontrare domanda e offerta, prevedere il potenziale di riutilizzo, suggerire itinerari logistici e segnalare opportunità di intervento circolare. Questi strumenti sono apprezzati per l'aumento dell'**efficienza, della reattività e della qualità delle decisioni**, in particolare in ambienti ad alto volume o a ritmo sostenuto come l'edilizia o la produzione.

Anche i **sensori e le tecnologie IoT** stanno diventando parte dell'ecosistema DIS. Alcuni partecipanti hanno menzionato le iniziative volte a dotare i materiali o i componenti di **codici QR o tag RFID**, consentendo di identificarli, registrarli e tracciarli automaticamente attraverso lo smontaggio, il trasporto e il riutilizzo. Se collegata a sistemi cloud o dashboard, questa infrastruttura consente di **monitorare in tempo reale l'inventario, la disponibilità e i flussi**.

Gli esempi più visionari si riferiscono all'uso di **gemelli digitali** - repliche virtuali di edifici o materiali che vengono aggiornati dinamicamente. Questi sistemi consentono la simulazione di scenari di riutilizzo, l'integrazione con i dati di pianificazione e la previsione dell'impatto, portando così il DIS nel regno del **processo decisionale predittivo e basato su scenari**.

La scalabilità è un tema ricorrente. I partecipanti notano che senza automazione e integrazione digitale, il DIS rimane ad alta intensità di lavoro e difficile da scalare. L'ambizione è quella di passare da progetti pilota frammentati a **infrastrutture di riutilizzo automatizzate e sistemiche**, inserite in strategie circolari regionali o nazionali.

Tuttavia, questo tema solleva anche preoccupazioni relative alla **governance dei dati, alla standardizzazione e all'accesso tecnico**. Sebbene la tecnologia esista, molte organizzazioni non hanno ancora la capacità o il budget per implementare questi strumenti. Pertanto, la piena integrazione digitale è vista come un obiettivo da raggiungere, che richiede investimenti congiunti, allineamento delle politiche e standard aperti.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Parole chiave principali (codici):

- automazione, AI, sensori, gemello digitale, dashboard, tempo reale, scalabilità, condivisione dei dati, ottimizzazione, integrazione

Citazioni esemplificative:

- "Stiamo sviluppando un cruscotto per collegare l'inventario e la logistica in modo digitale". - Sirkulær Ressursentral (Norvegia)
- "Gli strumenti di intelligenza artificiale ci aiutano a identificare opportunità di riutilizzo che altrimenti ci sfuggirebbero". - Sirken (Norvegia)
- "In futuro, speriamo di collegare dei sensori alla nostra piattaforma, in modo da poter monitorare il flusso di materiali in tempo reale". - Sviluppatore della piattaforma di riutilizzo (sondaggio)
- "I gemelli digitali ci permettono di testare gli scenari di riutilizzo prima che tutto venga costruito: cambia tutto". - Asplan Viak (Norvegia)
- "L'automazione è l'unico modo per scalare il riutilizzo senza enormi aumenti di personale o di tempo". - Esperto di costruzioni circolari (Norvegia)

5 Risposte alle domande di ricerca

5.1 RQ1: Qual è l'attuale livello di consapevolezza e comprensione della simbiosi industriale digitale (DIS) tra le PMI e le istituzioni?

L'analisi rivela che la consapevolezza e la comprensione della simbiosi industriale digitale (DIS) sta crescendo, ma rimane disomogenea e frammentata tra i tipi di organizzazione e le regioni. Tra le 16 entità intervistate, è emersa una chiara distinzione tra le istituzioni che stanno pilotando attivamente gli strumenti DIS e quelle che non hanno ancora familiarità con il concetto.

Diversi partecipanti, in particolare quelli delle grandi società di consulenza e delle piattaforme di riutilizzo specializzate, **dimostrano una profonda comprensione del concetto di DIS e della sua attuazione pratica**. Ad esempio, un rappresentante di Asplan Viak (Norvegia) ha osservato: "Stiamo usando piattaforme e simulazioni per gestire il riutilizzo nell'edilizia, ma molte PMI non vedono come gli strumenti digitali possano aiutarle". Ciò evidenzia un divario digitale non solo nell'uso degli strumenti, ma anche nella comprensione concettuale di ciò che comporta il DIS.

Dall'altra parte dello spettro, diverse PMI hanno dichiarato che, pur impegnandosi in pratiche di riutilizzo o circolari, **non hanno familiarità con il termine IS o con le sue componenti digitali (DIS)**. Come ha spiegato un intervistato polacco, "non conoscevo il termine, ma stiamo già cercando di riutilizzare gli avanzi con altre aziende, solo che non lo chiamiamo così". Ciò suggerisce che le attività rilevanti sono in corso, ma spesso al di fuori del vocabolario DIS o senza coordinamento digitale.

Un'altra PMI slovena ha rispecchiato questa **comprensione parziale**, affermando: "L'idea è molto utile, ma la nostra comprensione è ancora limitata, soprattutto per quanto riguarda il lato digitale". Questo commento illustra un modello più ampio: La

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



DIS è spesso percepita come un concetto astratto o tecnico e molte organizzazioni più piccole non hanno l'esposizione o la capacità di esplorarne i vantaggi strategici.

Inoltre, la **consapevolezza è influenzata dalla rilevanza percepita e dalle pressioni istituzionali**. Una PMI ha osservato: "Stiamo appena iniziando a esplorare la circolarità. La DIS sembra interessante, ma abbiamo bisogno di indicazioni più concrete". Analogamente, un rappresentante dell'Associazione NHO (Norvegia) ha sottolineato che "se il governo lo richiedesse, più persone presterebbero attenzione. Al momento, è ancora volontario e molti non ne vedono l'urgenza".

Dalle interviste **emerge una chiara apertura e interesse per l'idea della simbiosi digitale**, soprattutto tra coloro che già lavorano su obiettivi di sostenibilità o progetti di appalti pubblici. Tuttavia, il passaggio da una consapevolezza di base a un impegno consapevole è ancora in fase iniziale per molti. Gli ostacoli includono l'ambiguità concettuale, la mancanza di esposizione a strumenti funzionali e una comprensione limitata del ruolo dell'integrazione dei dati e delle piattaforme nel facilitare gli scambi materiali.

5.2 RQ2: Quali sono i vantaggi e le opportunità che i partecipanti associano all'implementazione di soluzioni di simbiosi industriale digitale?

Nel corso delle interviste, i partecipanti hanno identificato un'ampia gamma di vantaggi tangibili e strategici associati all'implementazione della simbiosi industriale digitale (DIS). Tali benefici riguardano l'efficienza dei costi, la sostenibilità, l'ottimizzazione operativa e l'innovazione. Anche se l'enfasi varia a seconda del tipo di organizzazione e del livello di maturità digitale, il tono generale è di ottimismo sul valore a lungo termine dell'adozione di soluzioni DIS.

Uno dei vantaggi più frequentemente citati è la **riduzione dei costi**, sia attraverso la minimizzazione degli sprechi sia attraverso un utilizzo più efficiente delle risorse. Come ha spiegato un rappresentante di una PMI polacca, "Risparmiamo denaro riutilizzando i materiali avanzati dai progetti precedenti. Con strumenti di pianificazione migliori, potremmo spingerci ancora oltre". Allo stesso modo, gli intervistati sottolineano come gli strumenti di tracciamento e previsione dei materiali possano ridurre gli ordini eccessivi e gli sprechi durante le fasi di approvvigionamento e costruzione.

Diversi intervistati hanno sottolineato l'importanza della **trasparenza e della prevedibilità** nei processi DIS. Ad esempio, uno stakeholder di Sirken (Norvegia) ha descritto come "gli strumenti di intelligenza artificiale ci aiutano a identificare opportunità di riutilizzo che altrimenti ci sfuggirebbero". La capacità di mappare digitalmente i materiali e di prevedere il potenziale di riutilizzo supporta un processo decisionale informato dai dati, che non solo migliora l'efficienza ma crea anche fiducia tra le parti interessate nelle catene del valore condivise.

L'ottimizzazione della logistica è un'altra area chiave di opportunità. Un partecipante ha osservato: "La pianificazione digitale ci permette di allineare la logistica del riuso con i programmi di produzione, risparmiando tempo ed emissioni". Ciò si allinea alla visione più ampia secondo cui gli strumenti DIS possono consentire operazioni più snelle e sostenibili, soprattutto se abbinati alla geolocalizzazione e ai feed di dati in tempo reale.

Da una prospettiva strategica, i partecipanti associano la DIS a **nuovi modelli di business e all'innovazione dei servizi**. Un intervistato di una PMI circolare ha dichiarato: "Stiamo esplorando modi per ripensare come utilizzare i residui per creare nuovi servizi". Altri vedono un potenziale nei mercati digitali, nelle reti di riutilizzo e nelle consulenze di progettazione circolare, dove il valore non viene creato dalla vendita di materiali, ma dall'orchestrazione e dall'ottimizzazione dei flussi.

Inoltre, la DIS è collegata a capacità di simulazione che supportano la **pianificazione proattiva e la verifica degli scenari**. Come ha detto una PMI slovena, "gli strumenti digitali consentono la simulazione e la previsione. Ciò consente di risparmiare tempo e di prendere decisioni migliori". Questi strumenti sono particolarmente preziosi nei progetti di costruzione complessi, dove le opzioni circolari devono essere soppesate rispetto ai vincoli di budget e di tempo.

Le interviste riflettono anche un crescente **allineamento tra la DIS e gli obiettivi di trasformazione organizzativa**. Per alcuni, il DIS è più di uno strumento: è parte della loro identità. "Vediamo il DIS come un'opportunità strategica, non solo per la conformità, ma per l'innovazione e la competitività", ha spiegato un rappresentante di FutureBuilt (Norvegia).

In sintesi, i partecipanti associano il DIS a una convergenza unica di valore ambientale, economico e tecnologico. Consente alle organizzazioni di raggiungere gli obiettivi di sostenibilità, ridurre i costi, sbloccare possibilità di riutilizzo creativo e rafforzare la collaborazione intersettoriale. Sebbene alcuni benefici siano già stati realizzati, molti vedono un potenziale ancora maggiore con la maturazione degli strumenti e l'evoluzione degli ecosistemi.

5.3 RQ3: Quali barriere o sfide ostacolano l'adozione di pratiche di simbiosi industriale digitale nelle PMI?

Sebbene la simbiosi industriale digitale (DIS) sia molto promettente, la sua adozione rimane limitata, soprattutto tra le piccole e medie imprese (PMI). Le interviste hanno rivelato una serie di sfide interconnesse, che comprendono lacune normative, vincoli finanziari, complessità tecnica e frammentazione sistemica.

Uno degli ostacoli più frequentemente citati è la **manca di normative o mandati legali per il riutilizzo e il coordinamento digitale**. In assenza di politiche applicabili o di norme sugli acquisti circolari, molte PMI rimangono riluttanti a investire in strumenti o flussi di lavoro orientati al riutilizzo. Come ha osservato un intervistato di Asplan Viak



(Norvegia), "il mandato per il riutilizzo non esiste ancora. Senza di esso, molti attori non sono disposti a partecipare". Questo sentimento riflette una preoccupazione più ampia, ovvero che l'adozione volontaria manchi di slancio in assenza di una spinta politica.

I limiti finanziari rappresentano un'altra grande barriera, sia in termini di costi iniziali che di ritorno sugli investimenti percepiti. Una PMI norvegese ha spiegato: "Vogliamo provare nuove soluzioni digitali, ma è difficile giustificare i costi quando i risparmi non sono garantiti". Per molte piccole imprese, il rischio di adottare tecnologie sconosciute e complesse senza un chiaro ritorno economico è troppo alto.

Anche la **complessità e l'usabilità degli strumenti attuali** sono emerse come una preoccupazione ricorrente. Diversi partecipanti hanno condiviso che le piattaforme disponibili non sono facili da usare e richiedono competenze tecniche che spesso le PMI non hanno. Come ha detto un partecipante al sondaggio, "L'usabilità degli strumenti deve migliorare. Al momento, richiede troppe conoscenze tecniche". L'assenza di un onboarding semplificato, di un design intuitivo e di una documentazione adatta alle PMI scoraggia un uso più ampio.

Un'altra barriera critica è la **mancanza di formati di dati e sistemi di classificazione standardizzati**, che rende difficile la condivisione, il confronto e la corrispondenza delle opportunità di riutilizzo tra le varie piattaforme. Un partecipante di Resirqel (Norvegia) ha dichiarato: "La qualità dei dati nelle piattaforme esistenti è molto incoerente e ciò influisce sulla pianificazione". Questa mancanza di fiducia negli inventari digitali - dovuta a voci non aggiornate, specifiche dei materiali mancanti o disallineamenti di formato - limita l'efficacia degli strumenti DIS.

Inoltre, molti flussi di lavoro per il riutilizzo sono ancora manuali e frammentati, con conseguenti **costi di coordinamento elevati**. Un coordinatore del riutilizzo norvegese ha dichiarato: "La logistica è un ostacolo enorme. Coordinare il riutilizzo in più siti richiede molto tempo senza il giusto supporto digitale". Questi attriti operativi rendono difficile scalare le iniziative di riutilizzo, soprattutto quando i materiali devono essere trasportati, immagazzinati o modificati prima di essere riapplicati.

Infine, diversi intervistati hanno evidenziato la **frammentazione tra i sistemi e gli attori**, notando che gli strumenti scollegati e le iniziative di riutilizzo in competizione tra loro spesso confondono gli utenti piuttosto che supportarli. Come ha detto un intervistato polacco, "abbiamo bisogno di un punto di ingresso, non di cinque diverse piattaforme di riutilizzo che non si parlano tra loro".

In conclusione, sebbene l'interesse per le DIS sia in crescita, le barriere sistemiche continuano a ostacolare un'adozione diffusa, in particolare tra le PMI. Per superare queste sfide sarà necessario un mix di allineamento delle politiche, incentivi finanziari, standardizzazione delle piattaforme e sviluppo di strumenti incentrati sull'utente, tutti basati sulle esigenze e sui vincoli specifici degli attori più piccoli.

5.4 RQ4: Di quali tipi di formazione o supporto hanno bisogno i partecipanti per impegnarsi efficacemente con le soluzioni DIS?

Uno dei risultati più chiari e coerenti emersi dalle interviste è che una formazione e un supporto efficaci sono prerequisiti essenziali per coinvolgere le PMI e le istituzioni nella simbiosi industriale digitale (DIS). I partecipanti hanno espresso un forte desiderio di formazione pratica, accessibile e specifica per il contesto, adattata alle capacità esistenti e ai flussi di lavoro quotidiani.

Una richiesta ricorrente è quella di **risorse formative di base, visive e passo dopo passo**. Queste aiuterebbero gli utenti, in particolare quelli delle organizzazioni più piccole, a capire non solo come usare gli strumenti digitali, ma anche perché sono importanti. Come ha osservato una PMI intervistata, "Abbiamo bisogno di materiali di formazione di base. Passo dopo passo, possibilmente visivi". Questa preferenza riflette il fatto che molti utenti che utilizzano DIS non sono professionisti dell'IT, ma personale tecnico o manager con un'alfabetizzazione digitale limitata.

Oltre all'usabilità, i partecipanti cercano anche una **formazione che si concentri su casi aziendali ed esempi reali**, non solo su manuali tecnici. Molti intervistati hanno dichiarato che sarebbero più disposti ad adottare soluzioni digitali se potessero vedere come altri lo hanno fatto con successo. Un partecipante italiano ha sottolineato: "La cosa più utile è stata vedere cosa ha fatto un'altra PMI. Gli esempi pratici fanno la differenza". Ciò evidenzia l'importanza dell'apprendimento tra pari, delle dimostrazioni basate su casi concreti e dello storytelling nei formati di formazione.

Un altro tema importante è la **necessità di una guida specifica per il settore**, in particolare nell'edilizia e nell'industria manifatturiera, dove i tipi di materiali, le normative e i flussi di lavoro variano. Un intervistato norvegese ha dichiarato: "La formazione dovrebbe essere adattata al nostro settore. Al momento è troppo generica e non riflette il funzionamento sul campo". Ciò evidenzia l'importanza di contestualizzare la formazione DIS all'interno di ambienti operativi reali.

I partecipanti chiedono anche una **formazione sul sistema in generale, non solo sulle interfacce degli strumenti**. Ciò include l'apprendimento di come interpretare i dati, collegare la pianificazione del riuso con la modellazione delle informazioni edilizie (BIM), navigare nei quadri legali e normativi e coordinarsi con più attori in una rete di simbiosi. Come ha detto un partecipante all'indagine, "dobbiamo capire l'intero sistema - non solo lo strumento, ma anche le regole, i partner e i processi".

Infine, gli intervistati hanno sottolineato il ruolo delle **istituzioni pubbliche, delle associazioni di categoria e delle organizzazioni di ricerca come facilitatori del trasferimento di conoscenze**. Il supporto continuo - attraverso linee telefoniche di assistenza, info hub, kit di strumenti o workshop regionali - è considerato fondamentale per costruire le capacità, soprattutto nei settori in cui le competenze digitali o circolari stanno ancora emergendo.



In sintesi, i partecipanti non chiedono più strumenti, ma modi migliori per comprendere e applicare tali strumenti in modo significativo e gestibile. Una formazione DIS efficace deve essere semplice ma strategica, accessibile ma ambiziosa e sempre fondata sulla realtà degli utenti e dei settori in prima linea nella trasformazione circolare.

5.5 RQ5: Come vedono i partecipanti il ruolo delle piattaforme digitali nel facilitare la collaborazione circolare e la condivisione delle risorse?

I partecipanti di tutti i settori e paesi hanno sottolineato in modo coerente che le piattaforme digitali sono fondamentali per consentire un'efficace simbiosi industriale digitale (DIS). Lungi dall'essere viste come strumenti opzionali, le piattaforme sono descritte come la base per la visibilità, il coordinamento e la collaborazione nei sistemi circolari.

Gli intervistati hanno evidenziato diverse funzioni fondamentali delle piattaforme digitali: la **tracciabilità del riutilizzo**, l'**abbinamento dei materiali** e il **monitoraggio dell'impatto**. Queste funzionalità sono considerate essenziali per trasformare le ambizioni circolari in realtà operative. Come ha spiegato un rappresentante di Sirken (Norvegia), "utilizziamo piattaforme con strumenti di tracciamento e intelligenza artificiale per ottimizzare la logistica del riutilizzo". Automatizzando l'identificazione dei materiali disponibili e il loro abbinamento con i potenziali utilizzatori, tali piattaforme riducono i costi di transazione e consentono un processo decisionale più rapido e intelligente.

I partecipanti hanno anche sottolineato che le piattaforme non devono operare in modo isolato. C'è una forte **richiesta di integrazione con i sistemi di pianificazione e gestione esistenti**, in particolare nel settore delle costruzioni. Ad esempio, un partecipante di FutureBuilt (Norvegia) ha dichiarato: "Le piattaforme dovrebbero essere pubbliche e collegate ai sistemi di pianificazione come il BIM". Questa integrazione è considerata fondamentale per incorporare il pensiero del riuso nei flussi di lavoro principali, come la progettazione, gli appalti e le autorizzazioni.

Una preoccupazione ricorrente tra i partecipanti è stata la **frammentazione delle attuali piattaforme di riutilizzo**. Molti hanno notato che il numero crescente di strumenti, spesso sviluppati per progetti o regioni specifiche, genera confusione e inefficienza. Una PMI polacca ha affermato: "Abbiamo bisogno di un punto di ingresso, non di cinque piattaforme di riuso diverse che non si parlano tra loro". Ciò evidenzia la necessità di interoperabilità e coordinamento tra i sistemi, idealmente guidati da standard condivisi o da una governance pubblica.

Anche la fiducia e la trasparenza sono emerse come temi chiave. I partecipanti hanno sottolineato che per funzionare come ecosistemi, le piattaforme devono offrire dati affidabili, una documentazione chiara e un accesso aperto. Uno sviluppatore ha osservato: "L'accesso a dati affidabili sul riutilizzo è fondamentale. Senza fiducia nei dati, nessuno userà la piattaforma". Altri hanno suggerito che le piattaforme pubbliche



o semi-pubbliche, sostenute da governi o alleanze industriali, hanno maggiori probabilità di guadagnare trazione tra i gruppi di utenti.

Un'altra intuizione importante è che **le piattaforme dovrebbero sostenere la creazione di un ecosistema, non solo le transazioni**. Un intervistato dell'Associazione NHO (Norvegia) ha commentato: "L'ecosistema è importante. Una piattaforma è solo uno strumento se non è supportata dall'intero sistema". Ciò riflette l'opinione che le piattaforme devono essere inserite in quadri giuridici, strutture di incentivi, reti di utenti e sistemi di supporto istituzionali per produrre un reale impatto circolare.

In conclusione, i partecipanti considerano le piattaforme non solo come strumenti per il riutilizzo digitale, ma anche come infrastrutture strutturali per la collaborazione industriale. Per avere successo, le piattaforme devono essere integrate, interoperabili, affidabili e progettate tenendo conto delle esigenze degli utenti e delle dinamiche dell'ecosistema.

5.6 RQ6: Quali raccomandazioni politiche o cambiamenti sistemici suggeriscono i partecipanti per promuovere la DIS a livello locale o regionale?

I partecipanti hanno fornito un'ampia gamma di raccomandazioni politiche concrete e attuabili volte a rimuovere le barriere strutturali e ad accelerare la diffusione della simbiosi industriale digitale (DIS). I loro suggerimenti spaziano tra mandati normativi, incentivi economici, infrastrutture digitali e riforme della governance, riflettendo la profonda consapevolezza che è necessario un cambiamento sistemico per consentire la DIS al di là di progetti pilota isolati.

Una raccomandazione centrale è l'**introduzione di requisiti legali o quote di riutilizzo**, in particolare in settori come l'edilizia dove il potenziale di riutilizzo è elevato ma sottoutilizzato. Diversi partecipanti hanno sottolineato che gli **approcci volontari sono insufficienti**. Come ha osservato un intervistato di Asplan Viak (Norvegia), "il mandato di riutilizzo non esiste ancora. Senza di esso, molti attori non sono disposti a partecipare". La definizione di percentuali minime di riutilizzo nei codici edilizi o nelle gare d'appalto pubbliche è stata considerata una leva potente per spingere l'adozione.

I partecipanti hanno inoltre auspicato **lo sviluppo di sistemi logistici nazionali o regionali** in grado di supportare l'aspetto operativo del DIS. Questi includono il trasporto condiviso, lo stoccaggio e il coordinamento della catena di approvvigionamento inversa, soprattutto per i materiali ingombranti o deperibili. Un rappresentante di Sirkulær Ressurssentral ha suggerito: "Abbiamo bisogno di sistemi nazionali che possano coordinare la logistica e garantire che i materiali non vadano sprecati solo perché nessuno può raccogliarli". Questi sistemi aiuterebbero a colmare il divario tra la disponibilità dei materiali e la fattibilità del loro riutilizzo.



Un'altra area ad alta priorità è la **standardizzazione della documentazione sul riutilizzo digitale**, comprese le **tassonomie per i materiali**, i **requisiti dei metadati** e i **protocolli di integrazione per le piattaforme**. La mancanza di una classificazione coerente è stata considerata un ostacolo importante alla scalabilità di DIS. Come ha spiegato uno sviluppatore di piattaforme, "non possiamo scalare il riutilizzo se ogni attore usa un nome o un formato diverso per lo stesso materiale". I partecipanti hanno esortato i politici a stabilire standard di dati aperti, co-creati con l'industria e le municipalità.

Gli incentivi finanziari sono stati un'altra raccomandazione ricorrente. Gli intervistati hanno chiesto sovvenzioni, sussidi e agevolazioni fiscali per sostenere i modelli di business circolari e gli investimenti digitali. Questi incentivi ridurrebbero il rischio iniziale per le PMI e incoraggierebbero una partecipazione più ampia. Una PMI intervistata ha dichiarato: "Se avessimo fondi per l'adozione di strumenti e la formazione, andremmo avanti molto più velocemente".

La politica fiscale è emersa come un argomento sorprendente ma critico. Diversi intervistati hanno sottolineato che gli attuali quadri fiscali penalizzano il riutilizzo, ad esempio tassando i materiali riutilizzati come se fossero nuovi o applicando l'IVA piena ai componenti secondari. Come ha spiegato un intervistato, "abbiamo bisogno di una riforma fiscale per rendere il riutilizzo economicamente conveniente: non può costare di più riutilizzare che comprare nuovo".

Infine, i partecipanti hanno sottolineato il ruolo degli **appalti pubblici e della leadership governativa**. L'imposizione di requisiti circolari e digitali nei progetti pubblici invierebbe un forte segnale al mercato. Un rappresentante dell'Associazione NHO (Norvegia) ha osservato: "I clienti pubblici dovrebbero dare l'esempio. Se i comuni chiedono il riutilizzo e il DIS, il resto del mercato li seguirà".

In sintesi, i partecipanti hanno chiesto un approccio politico a più livelli per sostenere la DIS, combinando chiarezza normativa, incentivi economici, investimenti in infrastrutture digitali e riforma strategica degli appalti. Questi cambiamenti sistemici non solo ridurrebbero le attuali barriere ma creerebbero anche condizioni di mercato stabili per la crescita dell'innovazione circolare.

6 Discussione

I risultati di questa analisi tematica forniscono un forte sostegno empirico e un ampliamento dei concetti teorici delineati nel Rapporto di ricerca (febbraio 2025). Sottolineano che la transizione dai modelli di produzione lineari a quelli circolari non è una sfida puramente tecnologica, ma fondamentalmente una trasformazione socio-organizzativa. La simbiosi industriale digitale (DIS) emerge come un facilitatore chiave in questo passaggio - offrendo strumenti, piattaforme e meccanismi di coordinamento che rendono la collaborazione circolare misurabile, gestibile e scalabile.



Un tema ricorrente nelle interviste è che le piattaforme DIS fungono da "oggetti di confine", come descritto in letteratura, colmando i divari tra attori diversi come comuni, PMI, reti industriali e fornitori di servizi digitali. Queste piattaforme mediano la fiducia, la trasparenza e l'allineamento operativo, consentendo alle parti interessate di visualizzare i flussi di risorse, coordinare gli sforzi di riutilizzo e monitorare gli impatti ambientali ed economici. Tuttavia, le interviste confermano anche che tali piattaforme non possono avere successo da sole: dipendono da tassonomie condivise, chiarezza giuridica e sostegno istituzionale, facendo eco all'idea di Baas e Boons (2004) secondo cui il successo della simbiosi industriale dipende tanto dalle norme sociali e dalle strutture di governance quanto dagli scambi fisici.

Un'altra intuizione rafforzata dai dati è la natura graduale della maturità del DIS, come proposto nel rapporto di ricerca. Alcuni attori rimangono nelle prime fasi sperimentali - impegnandosi in pratiche di riutilizzo informali e ad hoc senza coordinamento digitale - mentre altri stanno entrando in una fase di ecosistema mediato da piattaforme, in cui il tracciamento in tempo reale, il matchmaking dell'IA e l'integrazione BIM definiscono le loro operazioni. Questo sviluppo graduale suggerisce che i percorsi di implementazione del DIS devono essere flessibili, adattivi e rispondenti ai contesti settoriali e regionali.

È importante notare che le interviste fanno emergere le persistenti lacune tra potenziale e pratica. Nonostante il crescente entusiasmo, molte PMI non hanno ancora l'alfabetizzazione digitale, le risorse finanziarie o gli incentivi normativi per impegnarsi pienamente nelle DIS. Ciò riflette un'asimmetria a due livelli: uno tra il potenziale tecnologico delle DIS e l'effettiva capacità istituzionale, e un altro tra i primi adottatori e i settori o le regioni in ritardo. Queste lacune non sono solo tecniche, ma anche strutturalmente radicate negli attuali sistemi politici, economici e formativi.

Uno dei risultati più sorprendenti è l'assenza di meccanismi di valutazione coerenti per i materiali riutilizzati, una sfida sottolineata anche nel rapporto di ricerca. In assenza di standard chiari per la determinazione del prezzo, la valutazione e la certificazione dei materiali riutilizzati, in particolare in relazione ai nuovi materiali, la convenienza economica del riutilizzo rimane fragile. Questo scoraggia gli investimenti e rende le pratiche circolari vulnerabili alle fluttuazioni delle condizioni di mercato.

Inoltre, i dati empirici ampliano l'idea di piattaforme come infrastrutture, un punto brevemente discusso nella letteratura teorica. I partecipanti suggeriscono che le piattaforme DIS dovrebbero essere viste e governate non come strumenti privati ma come infrastrutture digitali pubbliche o semipubbliche, simili a strade, reti energetiche o sistemi di monitoraggio ambientale. Questa riconcettualizzazione avrebbe importanti implicazioni per la progettazione delle piattaforme, i modelli di finanziamento, le regole di accesso e i quadri di governance.

Infine, le interviste introducono una comprensione sfumata dell'agenzia e della motivazione nell'adozione dei DIS. Mentre alcune organizzazioni sono guidate da logiche di conformità o finanziarie, altre sono motivate da considerazioni etiche,



ambientali o di reputazione. Ciò conferma che l'impegno nei confronti dei DIS è motivato da diversi fattori e culturalmente radicato, e richiede strategie di comunicazione che non si limitino al solo valore economico.

In sintesi, questa discussione illustra che, sebbene la simbiosi industriale digitale abbia un enorme potenziale di trasformazione, la realizzazione di tale potenziale dipende da strategie integrate tra dimensioni tecniche, normative, istituzionali e culturali. Le intuizioni qui esposte offrono una solida base empirica per la definizione di tali strategie.

11 Conclusioni, limiti e ricerca futura

La simbiosi industriale digitale offre notevoli vantaggi in termini di efficienza, innovazione e prestazioni ambientali. Tuttavia, la sua adozione rimane disomogenea. Devono essere affrontate barriere sistemiche come l'incertezza normativa, l'interoperabilità limitata e l'alfabetizzazione digitale. Per realizzare appieno il potenziale della DIS, sono necessari sforzi coordinati tra autorità pubbliche, aziende private e fornitori di tecnologia.

Questo studio si basa su un campione non casuale di 16 interviste e potrebbe non cogliere appieno tutte le variazioni regionali o settoriali. La diversità linguistica e la codifica manuale possono inoltre introdurre errori di interpretazione. Nonostante questi limiti, i risultati offrono una solida base empirica per azioni future.

La ricerca futura dovrebbe concentrarsi sulla sperimentazione delle piattaforme DIS in contesti pilota reali, sulla valutazione dell'impatto economico dei mandati di riutilizzo e sull'esplorazione di approcci di progettazione incentrati sull'uomo per gli strumenti digitali. Inoltre, sono necessari studi longitudinali per valutare i cambiamenti a lungo termine nei modelli di collaborazione industriale consentiti dal DIS.

12 Riferimenti bibliografici

Baas, L. W., & Boons, F. A. (2004). L'introduzione e la diffusione della simbiosi industriale: uno studio esplorativo. *Economia ecologica*, 49(1), 1-13.

Chertow, M. R. (2007). Scoprire la simbiosi industriale. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11-30.

Paquin, R. L., & Howard-Grenville, J. (2012). L'evoluzione della simbiosi industriale facilitata. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 83-93.

Simbiosi industriale digitale: Revisione della letteratura. (2025). Rapporto di ricerca. Preparato per il progetto Erasmus+ (versione: 16.2.2025).



PARTE IV: CASI DI STUDIO- ESEMPI DI SIMBIOSI INDUSTRIALE NELLA PRATICA

1 Dalle reti da pesca alla moda - Come AquafilSLO implementa l'economia circolare

Sintesi:

AquafilSLO, parte del Gruppo Aquafil, è specializzata nella raccolta e nella prelavazione dei rifiuti di nylon, che vengono rigenerati in filati ECONYL® di alta qualità. Grazie a una tecnologia innovativa e a partnership strategiche globali, l'azienda ha creato una soluzione modello di economia circolare che trasforma i rifiuti in prodotti di valore.

Contesto e sfida:

I rifiuti di nylon, comprese le reti da pesca e i tappeti, contribuiscono in modo significativo all'inquinamento globale. AquafilSLO mira a ridurre questo impatto trasformando i rifiuti in risorse, chiudendo il cerchio dell'industria delle fibre sintetiche.

Soluzione - L'approccio di AquafilSLO:

Raccolta dei rifiuti:

- L'impianto di AquafilSLO ad Ajdovščina, in Slovenia, raccoglie rifiuti di nylon da tutto il mondo.

Le fonti includono:

- Reti da pesca abbandonate da ONG e comunità costiere (ad esempio, Healthy Seas),
- Rifiuti di moquette dei produttori (ad esempio, Interface),
- Sarti industriali dei processi produttivi.

Pre-elaborazione:

- In Slovenia i rifiuti vengono puliti e selezionati meccanicamente per prepararli alla rigenerazione chimica.

Rigenerazione:

- I rifiuti vengono inviati agli impianti Aquafil in Italia, dove vengono trasformati in ECONYL® - nylon rigenerato al 100% utilizzato nella moda, nell'abbigliamento sportivo e negli interni.



Co-funded by
the European Union



FReINDs

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Riduzione delle emissioni di CO ₂ fino al 90% rispetto al nylon vergine.
Economico	Creazione di valore dai rifiuti, partnership di marca globali
Sociale	Collaborazione con le comunità locali e le ONG

Punti chiave di apprendimento:

- L'innovazione tecnologica e la collaborazione sono fondamentali per i sistemi circolari.
- I rifiuti diventano un input prezioso se affrontati in modo strategico.
- I modelli aziendali circolari possono favorire sia la sostenibilità che la redditività.

Domande di discussione:

1. Quali sono i fattori critici di successo del modello di AquafilSLO?
2. In che modo la collaborazione esterna migliora la sostenibilità?
3. Questo modello potrebbe essere replicato in altri settori?

Risorse:

- AquafilSLO: <https://www.aquafil.com/locations/aquafil-slo-ajdovscina/>
- Mari sani: <https://www.healthyseas.org/>
- Progetto Interreg SYMBI: https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1583136065.pdf

2 Dalle bottiglie alle sedie: la strategia di design sostenibile di Donar

Sintesi:

Il produttore sloveno di mobili Donar trasforma il PET e il feltro di poliestere riciclati in mobili pluripremiati. Collaborando con aziende di riciclaggio, Donar integra la simbiosi industriale nel suo modello di produzione e smaltisce oltre 15 tonnellate di materie prime all'anno.

Contesto e sfida:

L'industria del mobile si basa in larga misura su risorse vergini come il legno e la plastica. Donar ha intravisto l'opportunità di riprogettare la catena di fornitura utilizzando materiali riciclati disponibili localmente e concentrandosi sulla progettazione circolare dei prodotti.

Soluzione - Pratica circolare di Donar:

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Uso del materiale:

- Utilizza bottiglie in PET riciclate e feltro PES come materie prime primarie.
- Riduce il fabbisogno di materiali vergini di 15 tonnellate all'anno.

Innovazione di prodotto:

Tra i prodotti di rilievo ricordiamo:

- NicoLess - una sedia minimalista senza colla.
- ChatLoop - una sedia da conferenza realizzata interamente con materiali riciclabili.

Simbiosi industriale:

- Collabora con le aziende di riciclaggio locali per garantire una fornitura coerente di materiale.
- Rafforza le catene del valore circolari locali.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Riduzione dell'uso di materie prime e riutilizzo dei rifiuti plastici
Economico	Risparmio sui costi e posizionamento di mercato unico
Sociale	Sensibilizzazione attraverso il design e la collaborazione locale

Punti chiave di apprendimento:

- La simbiosi industriale crea valore economico e ambientale.
- La progettazione per la circolarità va oltre i materiali e comprende il ciclo di vita del prodotto.
- La sostenibilità può essere integrata con l'estetica e l'innovazione.

Domande di discussione:

1. In che modo la simbiosi industriale contribuisce alla stabilità della produzione?
2. Questo approccio potrebbe essere adattato ad altri settori?
3. Che ruolo ha il design nella promozione dell'economia circolare?

Risorse:

- Donar: <https://www.donar.si>
- NicoLess: <https://donar.si/nicoless/>
- ChatLoop: <https://donar.si/chatloop/>

3 Dalle erbacce invasive ai quaderni - L'innovazione circolare di Lubiana

Sintesi:

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



La città di Lubiana riutilizza l'alga giapponese, una pianta invasiva, in prodotti cartacei grazie a una partnership innovativa con le istituzioni locali. Questa iniziativa affronta le sfide ambientali e produce alternative sostenibili alla carta tradizionale.

Contesto e sfida:

Il Knotweed giapponese è una delle piante invasive più aggressive d'Europa, che danneggia le infrastrutture e la biodiversità. Lubiana intendeva gestire questi rifiuti promuovendo al contempo un uso sostenibile dei materiali.

Soluzione - Lavorazione circolare di Knotweed:

Raccolta e lavorazione:

- L'alga viene raccolta durante le operazioni di manutenzione della città.
- La pianta viene essiccata, sminuzzata e preparata per la produzione di polpa.

Partenariati:

- Il Pulp and Paper Institute ha sviluppato un metodo per trasformare le fibre di nodi in pasta di carta utilizzabile.
- Le collaborazioni con i produttori locali danno vita a prodotti finiti.

Prodotti:

- La carta riciclata viene utilizzata per quaderni, inviti, materiale promozionale, ecc.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Controllo delle specie invasive e riutilizzo della biomassa
Economico	Nuove linee di prodotti e sostegno alle imprese verdi locali
Sociale	Educazione pubblica e innovazione municipale

Punti chiave di apprendimento:

- Le sfide locali possono ispirare innovazioni circolari.
- Le istituzioni pubbliche possono guidare un cambiamento sostenibile attraverso i partenariati.
- I flussi di rifiuti naturali possono essere trasformati in prodotti di alto valore.

Domande di discussione:

1. Come si può applicare questo modello ad altri flussi di rifiuti biologici?
2. Qual è il ruolo delle città nella promozione dell'economia circolare?
3. Le specie invasive possono diventare risorse preziose?

Risorse:

- Piattaforma europea delle parti interessate all'economia circolare (2024)
- Istituto della cellulosa e della carta: <https://www.icp-lj.si>
- Città di Lubiana: <https://www.ljubljana.si>



4 Trasformare i rifiuti in energia: L'approccio circolare di Balticovo alla gestione del letame di pollame in Lettonia

Sintesi:

Balticovo, il principale produttore di uova della Lettonia e uno dei più grandi del Nord Europa, ha implementato pratiche innovative di economia circolare convertendo il letame del pollame in energia rinnovabile. Grazie a tecnologie avanzate e collaborazioni strategiche, l'azienda ha sviluppato un modello di simbiosi industriale interna che riduce l'impatto ambientale, aumenta l'efficienza operativa e sostiene l'indipendenza energetica nazionale. Questo studio di caso esplora la strategia circolare di Balticovo, le sfide affrontate, le soluzioni sviluppate e i risultati ottenuti.

Contesto e sfida:

Con oltre 3 milioni di galline ovaiole e la produzione di circa 700 milioni di uova all'anno, Balticovo genera ogni anno oltre 70.000 tonnellate di pollina. La gestione di questi rifiuti ha rappresentato una sfida importante:

- Gestione dei rifiuti: Gestione e smaltimento di grandi quantità di letame in modo responsabile dal punto di vista ambientale.
- Impatto ambientale: Mitigare le emissioni di gas serra e la lisciviazione dei nutrienti associati al letame non trattato.
- Domanda di energia: Cercare alternative più pulite e rinnovabili ai combustibili fossili per soddisfare le esigenze energetiche operative.

Queste sfide hanno spinto Balticovo a perseguire una soluzione circolare che trasformasse i rifiuti in valore.

Soluzione - L'approccio di Balticovo:

Produzione di biogas e biometano:

- Balticovo ha messo a punto un processo pionieristico per convertire le deiezioni avicole in biogas e poi raffinarle in biometano. Il sistema prevede:
- Impianto per la produzione di energia dalle uova: Dove il letame grezzo viene fermentato per generare biogas.
- Impianto di gas di Bovo (Iecava): Dove il biogas viene trasformato in biometano, un'alternativa rinnovabile al gas naturale.

Innovazione tecnologica:

- Il letame delle galline ovaiole ha un elevato contenuto di calcio, che in genere ostacola la produzione di biogas. Balticovo, in collaborazione con esperti, ha superato questa limitazione progettando un sistema di fermentazione su misura in grado di gestire in modo efficiente le deiezioni avicole.

Simbiosi industriale:

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



- Il letame, in precedenza un sottoprodotto, ora alimenta la produzione di energia rinnovabile, creando un sistema a ciclo chiuso tra le aziende agricole di Balticovo e l'impianto di biogas.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Riduzione significativa delle emissioni di CO ₂ e di metano. Riduzione del rischio ambientale dovuto al dilavamento dei nutrienti.
Indipendenza energetica	Sostituzione dei combustibili fossili con energia rinnovabile. Contribuisce agli obiettivi di energia rinnovabile della Lettonia.
Efficienza operativa	Consente a Balticovo di utilizzare energia verde autoprodotta nelle sue attività. Riduzione dei costi di smaltimento dei rifiuti. Riduzione dei costi energetici a lungo termine.
Reputazione e mercato	Posizionamento di Balticovo come leader della sostenibilità nel settore agroalimentare. Ha rafforzato l'immagine del marchio presso i consumatori attenti all'ambiente.

Punti chiave di apprendimento:

- I rifiuti possono diventare una risorsa - Il modello di Balticovo dimostra che anche i flussi di rifiuti più impegnativi possono essere preziosi input in un'economia circolare.
- L'innovazione supera gli ostacoli - Le sfide tecniche, come la composizione del letame, possono essere risolte attraverso la ricerca e lo sviluppo mirati e le partnership.
- La simbiosi industriale porta all'efficienza - L'allineamento degli output produttivi (rifiuti) con i sistemi di energia rinnovabile crea una sinergia economica e ambientale.
- La sostenibilità migliora la posizione di mercato - Le pratiche circolari non solo riducono l'impronta ambientale, ma aumentano anche il valore del marchio.

Domande di discussione:

1. Quali sono i potenziali rischi e benefici di affidarsi al biogas da letame per le operazioni su larga scala?
2. Come si può adattare questo modello alle aziende agricole più piccole o ad altri tipi di rifiuti agricoli?
3. Qual è il ruolo dei governi e delle sovvenzioni nel rendere questi sistemi redditizi?
4. In che modo la simbiosi industriale può andare oltre l'energia e includere il recupero di acqua, calore o nutrienti?

Risorse:

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

- Sito web di Balticovo: <https://>
- Progetto Balticovo sul biometano (copertura mediatica): <https://>
- Relazione sulla bioeconomia dell'UE (per il contesto): <https://>

5 Trasformare gli scarti tessili e la carta riciclata in materiali da costruzione ecocompatibili

Sintesi:

Balticfloc, un produttore lettone, trasforma carta riciclata e rifiuti tessili in materiali isolanti termici e acustici ad alte prestazioni. Balticfloc fornisce alternative ecologiche per i settori dell'edilizia e dell'automobile, riutilizzando materie prime secondarie che altrimenti verrebbero scartate. Questo studio di caso esplora l'approccio all'economia circolare dell'azienda, le sue innovazioni nella lavorazione dei materiali, le sfide affrontate e gli impatti economici e ambientali che ne derivano.

Contesto e sfida:

L'industria edilizia mondiale contribuisce in modo significativo al consumo di risorse e ai rifiuti. I materiali isolanti tradizionali si basano spesso su processi ad alta intensità energetica e su materiali vergini. Balticfloc mirava a:

- Ridurre la dipendenza da risorse non rinnovabili.
- Evitare che i rifiuti tessili e cartacei finiscano in discarica.
- Fornire soluzioni di isolamento economiche e sostenibili.
- Conformarsi alla crescente domanda di materiali eco-certificati nei mercati dell'UE.

Soluzione - L'approccio di Balticfloc:

Utilizzo di materiale riciclato:

- Balticfloc ricava le sue materie prime dai flussi di rifiuti tessili e cartacei post-consumo. L'isolamento in cellulosa viene prodotto a partire dai giornali, mentre i pannelli tessili utilizzano fibre riutilizzate.

Produzione eco-compatibile:

- La produzione evita gli additivi chimici e utilizza processi meccanici a basso consumo energetico per trasformare le materie prime in prodotti isolanti e in fibra sicuri e di alta qualità.

Applicazioni del prodotto:

- I prodotti di Balticfloc sono utilizzati nell'edilizia sostenibile per l'isolamento termico e acustico, nonché nei progetti di insonorizzazione automobilistica e di geotessile.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
---------	---------

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Ambiente	Riduzione significativa dei rifiuti in discarica grazie al riutilizzo di carta e tessuti. Impronta di carbonio inferiore rispetto ai materiali isolanti convenzionali.
L'innovazione	Dimostrazione della fattibilità tecnica della trasformazione di materie prime secondarie in input edilizi ad alte prestazioni.
Raggiungere il mercato	Fornisce prodotti certificati per l'ambiente nei mercati dell'edilizia del Baltico e dell'UE.
Efficienza delle risorse	Processo di produzione a ciclo chiuso che utilizza input non vergini e biodegradabili.
Marchio e conformità	Migliori credenziali verdi e allineamento con gli obiettivi di economia circolare dell'UE.

Punti chiave di apprendimento:

- I rifiuti come risorsa - Balticfloc dimostra che i materiali post-consumo possono offrire prestazioni di livello industriale.
- I materiali ecologici soddisfano la domanda del mercato - Le imprese edili attente all'ambiente cercano attivamente soluzioni di isolamento a basso impatto.
- Produzione semplice e scalabile - I processi a bassa tecnologia e a basso consumo energetico possono supportare innovazioni circolari di alto valore.
- Allineamento con le politiche dell'UE - La conformità agli standard verdi dell'UE rafforza le opportunità di mercato e l'accesso ai finanziamenti.

Domande di discussione:

1. Come possono i politici sostenere le imprese che convertono i rifiuti tessili in prodotti da costruzione?
2. Quali sono i limiti dell'isolamento in cellulosa e tessuto rispetto alle alternative in lana minerale o schiuma?
3. Come possono le piccole imprese entrare nel mercato dei prodotti circolari per l'edilizia?
4. In che modo si possono incoraggiare architetti e costruttori a scegliere soluzioni con materiali riciclati?

Risorse:

- Sito web di Balticfloc: <https://balticfloc.eu>
- Informazioni sull'isolamento in cellulosa: <https://celluloseinsulation.eu>

6 Creare valore dai residui: Il sistema di biogas e agricoltura a ciclo chiuso di Agrofirma Tērvete

Sintesi:

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Agrofirma Tērvete, una delle aziende agricole più diversificate della Lettonia, dimostra il successo della simbiosi industriale integrando allevamento, coltivazione e produzione di energia da biogas. Chiudendo i circuiti dei nutrienti e dell'energia, l'azienda trasforma il letame e i residui agricoli in energia rinnovabile e fertilizzanti organici, promuovendo un modello circolare che va a vantaggio sia dell'ambiente che dell'efficienza operativa. Questo studio di caso esplora i sistemi simbiotici di Agrofirma Tērvete, la loro implementazione e il loro impatto più ampio.

Contesto e sfida:

Agrofirma Tērvete opera in diversi settori, tra cui l'allevamento di bestiame da latte, la produzione di colture e la produzione di bevande. La sua vasta attività agricola genera volumi significativi di letame e residui di biomassa, ponendo sfide sia logistiche che ambientali:

- Utilizzo dei rifiuti: Trovare metodi sostenibili per gestire e valorizzare il letame e i residui delle colture.
- Fabbisogno di energia rinnovabile: Ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e migliorare l'autosufficienza energetica.
- Riciclaggio dei nutrienti: Migliorare la fertilità del suolo senza fertilizzanti sintetici.
- Conformità ambientale: Allineamento delle operazioni alle normative ecologiche dell'UE e agli obiettivi climatici.

Soluzione – L'approccio di Agrofirma Tērvete:

Produzione di biogas:

- Agrofirma Tērvete raccoglie letame e biomassa dalle sue attività lattiero-casearie e dai suoi campi per alimentarli in un impianto di biogas. Questo processo di digestione anaerobica produce biogas per l'elettricità e il calore.

Integrazione energetica:

- L'energia generata dal biogas viene utilizzata per alimentare le attività dell'azienda e i sistemi di teleriscaldamento, riducendo la dipendenza dalle fonti energetiche fossili.

Uso del digestato:

- Il sottoprodotto del processo di biogas - il digestato - viene applicato nuovamente ai campi come fertilizzante organico, chiudendo il ciclo dei nutrienti e migliorando la salute del suolo.

Circolarità sistemica:

- Questo modello di simbiosi industriale non solo riduce le emissioni e i costi di produzione, ma aumenta anche l'efficienza delle risorse e la sostenibilità locale.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
---------	---------

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Ambiente

Riduzione delle emissioni di gas serra grazie all'utilizzo del biogas.

Sicurezza energetica

Riduzione significativa dell'uso di fertilizzanti sintetici.

Miglioramento della struttura del suolo e della biodiversità.

Autosufficienza elettrica e termica per le attività agricole.

Contribuisce al teleriscaldamento locale.

Efficienza operativa

Riduzione dei costi di input e di gestione dei rifiuti.

Aumento della produttività grazie all'utilizzo di risorse a ciclo chiuso.

Conformità normativa

Soddisfa gli standard ambientali dell'UE e beneficia di incentivi per le energie rinnovabili.

Coinvolgimento della comunità

Sostiene i sistemi energetici locali e funge da modello di sviluppo rurale sostenibile.

Punti chiave di apprendimento:

- L'agricoltura circolare aumenta la resilienza - I sistemi integrati di biogas possono stabilizzare l'economia delle aziende agricole e ridurre la pressione ambientale.
- I loop di nutrienti migliorano il suolo e riducono le sostanze chimiche - Il digestato organico sostituisce i fertilizzanti sintetici e chiude i cicli dei materiali.
- I sistemi simbiotici sono scalabili - Il modello Tērvete può essere adattato ad aziende agricole di diverse dimensioni con investimenti adeguati.
- La sinergia energia-risorse spinge l'innovazione - Collegando i sistemi di energia, rifiuti e cibo si ottengono risultati di sostenibilità ad alto impatto.

Domande di discussione:

1. Quali sono gli ostacoli che impediscono a un maggior numero di aziende agricole di adottare sistemi circolari basati sul biogas?
2. Come possono le politiche pubbliche e i finanziamenti accelerare i modelli di simbiosi industriale agricola?
3. Che ruolo hanno le comunità locali nel sostenere i sistemi di risorse condivise?
4. Come possono le aziende agricole comunicare meglio i benefici delle operazioni circolari agli stakeholder?

Risorse:

- Agrofirma Tērvete Sito web: <https://tervete.lv/>
- Profilo di simbiosi (Sinergia): <https://>

7 Trasformare i rifiuti in crescita: Il modello circolare di Getliņi EKO per la coltivazione in serra

Sintesi:

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

Getliņi EKO, la più grande discarica di rifiuti solidi urbani della regione baltica, è diventata un esempio emblematico di simbiosi industriale interna grazie all'utilizzo del gas di discarica per alimentare le moderne operazioni in serra. Questo innovativo modello di economia circolare riduce gli impatti ambientali associati alla gestione dei rifiuti e supporta la coltivazione di ortaggi per tutto l'anno utilizzando energia rinnovabile.

Contesto e sfida:

Come discarica in crescita che gestisce migliaia di tonnellate di rifiuti urbani all'anno, Getliņi EKO ha dovuto affrontare la duplice sfida di ridurre le emissioni di gas serra e di generare valore dai sottoprodotti dei rifiuti. Le principali sfide sono state:

- Emissioni delle discariche: Gestione delle emissioni di metano, un potente gas serra rilasciato durante la decomposizione dei rifiuti.
- Recupero di energia: Conversione dei gas di discarica in una fonte di energia rinnovabile.
- Sostenibilità alimentare: Rispondere alla domanda della Lettonia di prodotti locali coltivati tutto l'anno, riducendo al minimo l'apporto energetico.

Soluzione - L'approccio di EKO:

Raccolta di gas di discarica e produzione di energia:

- Getliņi EKO cattura il gas ricco di metano dalla sua discarica e lo utilizza in unità di cogenerazione per produrre calore ed elettricità. Questa energia viene poi reindirizzata per alimentare le serre avanzate adiacenti alla discarica.

Agricoltura in serra ad alta efficienza energetica:

- Le serre coltivano pomodori e cetrioli tutto l'anno, grazie ad ambienti controllati alimentati dall'energia recuperata dai gas di discarica. Si tratta di un sistema a ciclo chiuso in cui la decomposizione dei rifiuti sostiene la produzione di cibo.

Integrazione circolare:

- Il modello di Getliņi collega la gestione dei rifiuti, la produzione di energia e l'agricoltura in un unico sistema sinergico, dimostrando i principi pratici dell'economia circolare su scala.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Riduzione significativa delle emissioni di metano grazie alla cattura e al riutilizzo.
	L'utilizzo di energia rinnovabile riduce la dipendenza dai combustibili fossili.
Recupero di energia	La generazione continua di energia dal gas di discarica consente il riscaldamento e l'elettricità autosufficienti per le serre.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



**Sicurezza
alimentare**

La produzione locale e sostenibile di ortaggi riduce la dipendenza dalle importazioni.
La raccolta durante tutto l'anno sostiene l'approvvigionamento alimentare regionale.

**Sinergia
operativa**

L'integrazione della gestione dei rifiuti e dell'agricoltura migliora l'efficienza e la sostenibilità.

**Percezione del
pubblico**

Getlini è riconosciuto come leader nelle pratiche circolari, rafforzando la sua credibilità pubblica e istituzionale.

Punti chiave di apprendimento:

- La termovalorizzazione dei rifiuti è un input agricolo redditizio - L'energia rinnovabile ricavata dal gas di discarica può alimentare operazioni agricole intensive.
- I sistemi integrati massimizzano il valore - La combinazione di gestione dei rifiuti, energia e sistemi alimentari dimostra un elevato potenziale di circolarità.
- L'innovazione verde rafforza il marchio - L'attuazione di pratiche visibili e sostenibili aumenta il sostegno pubblico e politico.
- L'economia circolare riduce le emissioni e i costi - Un uso efficiente delle risorse va a vantaggio sia dell'ambiente che dei bilanci operativi.

Domande di discussione:

1. Come possono altre discariche replicare il modello "waste-to-greenhouse" di Getlini?
2. Quali sono i limiti del gas di discarica come fonte di energia rinnovabile?
3. In che modo la produzione alimentare locale contribuisce agli obiettivi nazionali di sostenibilità?
4. È possibile applicare modelli simili di integrazione energetica all'agricoltura urbana o verticale?

Risorse:

- Getlini EKO Sito web: <https://www.getlini.it/>
- Informazioni sulla serra: <https://www.getlini.it/la-serra/>

8 Trasformare le acque reflue in ricchezza: Il modello circolare del distretto conciario toscano

Sintesi:

A Santa Croce sull'Arno (Toscana), oltre 250 aziende conciarie collaborano in un sistema regionale di economia circolare che trasforma le acque reflue e i rifiuti conciari in risorse preziose. Attraverso infrastrutture di depurazione condivise, monitoraggio digitale e valorizzazione dei fanghi, il distretto dimostra un modello di simbiosi industriale ad alte prestazioni.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

Contesto e sfida:

Il distretto conciario toscano ha dovuto affrontare un'elevata pressione ambientale a causa dell'uso intensivo di acqua e sostanze chimiche. I metodi di smaltimento tradizionali erano insostenibili e le normative europee richiedevano transizioni circolari.

Soluzione - L'approccio della simbiosi:

Riutilizzo dell'acqua:

- Il consorzio Aquarno tratta le acque reflue e ne riutilizza il 95% nei processi conciari.

Valorizzazione dei fanghi:

- I fanghi di depurazione vengono trasformati in fertilizzanti e materiali da costruzione.

Monitoraggio digitale:

- I sistemi SCADA monitorano i flussi, i parametri ambientali e la qualità in tempo reale.

Pilota Blockchain:

- Tracciabilità digitale della pelle sostenibile attraverso la blockchain, gestita dal Leather Tech Pole.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Risparmio idrico massiccio, riduzione degli sprechi e diminuzione dell'inquinamento.
Economico	L'infrastruttura condivisa riduce i costi operativi per le PMI.
L'innovazione	Nuovi biomateriali e sistemi digitali sviluppati nel Polo Tecnologico Conciario.
La reputazione	Riconoscimento come modello europeo per le filiere verdi della pelle.

Punti chiave di apprendimento:

- Le infrastrutture collettive riducono gli oneri ambientali individuali.
- I sistemi digitali garantiscono la conformità e ottimizzano l'uso delle risorse.
- La pelle sostenibile aumenta il valore nei mercati globali.
- Gli incentivi politici facilitano le transizioni circolari nelle industrie tradizionali.

Domande di discussione:

1. Come possono le industrie tradizionali passare alla circolarità senza perdere competitività?
2. Che ruolo hanno i consorzi e i poli di innovazione nella simbiosi industriale?

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



3. Come scalare la tracciabilità blockchain in settori frammentati come quello della moda?

Risorse:

- ENEA - Atlante della Simbiosi Industriale: <https://www.enea.it/it>
- Consorzio Aquarno: <https://www.aquarno.it/>
- Polo Tecnologico Conciario: <https://www.polotecnologico.it/>

13 Reinventare il rifiuto come risorsa: Il Polo Simbiosi di Manfredonia

Sintesi:

A Manfredonia (Puglia), un emergente ecosistema di simbiosi industriale sta trasformando l'economia locale attraverso un uso circolare di acqua, energia e residui organici. L'iniziativa coinvolge aziende agroindustriali, una bio-raffineria e servizi pubblici locali che scambiano sottoprodotti e servizi per ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre le emissioni e promuovere l'innovazione. Questo studio di caso esplora come la collaborazione intersettoriale abbia portato alla creazione di un cluster circolare che rivitalizza un'area industriale tradizionalmente fragile.

Contesto e sfida:

Manfredonia ospita un'area industriale mista storicamente colpita da fragilità ambientali ed economiche. Le principali sfide includono:

- Elevato consumo di risorse (acqua, gas, elettricità) da parte delle industrie agroalimentari e chimiche.
- Costoso smaltimento dei rifiuti e mancanza di infrastrutture di riciclaggio.
- Disconnessione tra le parti interessate che limita lo scambio di conoscenze e la cooperazione.
- Necessità di allinearsi ai piani regionali di economia circolare e al Green Deal dell'UE.

Soluzione - L'approccio della simbiosi:

Recupero del calore e dell'acqua di scarto:

- Un ex sito petrolchimico dell'ENI viene riconvertito per ospitare una bioraffineria e un impianto di trasformazione alimentare. Il calore di scarto e l'acqua depurata del processo di raffinazione vengono riutilizzati nelle fabbriche agroalimentari adiacenti, come quelle che lavorano pasta e pomodori.

Scambio di sottoprodotti organici:

- Buccie di pomodoro, parti esterne del grano e altre biomasse provenienti dalla produzione alimentare vengono inviate alla bio-raffineria per generare bioetanolo

e biogas. Il digestato ottenuto da questo processo viene trasformato in biofertilizzanti per le aziende agricole locali.

Sistema energetico condiviso:

- L'installazione di impianti fotovoltaici e contatori intelligenti collega diverse aziende in una comunità energetica locale (LEC) condivisa. Strumenti predittivi basati sull'intelligenza artificiale aiutano a monitorare i picchi di domanda e ad automatizzare il bilanciamento del carico.

Coordinamento digitale:

- Un cruscotto digitale della simbiosi mappa le risorse e suggerisce nuove sinergie in tempo reale. La blockchain viene utilizzata per la tracciabilità dei flussi di risorse.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Riduzione delle emissioni di CO ₂ del 25%; minor utilizzo di discariche; cicli nutritivi chiusi.
Economico	18% di risparmio sui costi energetici; nascita di nuove imprese circolari
Sociale	Creazione di 25 nuovi posti di lavoro "verdi"; formazione dei giovani su IS e competenze "verdi".
Conformità normativa	Pieno allineamento con la Strategia per l'Economia Circolare dell'Italia (2022)
Tecnologico	Test di corrispondenza tra risorse e IA abilitati dalla blockchain nei flussi circolari

Punti chiave di apprendimento:

- La collaborazione locale sblocca il valore nascosto - Costruire la fiducia tra le imprese è il primo passo verso lo scambio di risorse.
- Le piattaforme digitali migliorano la visibilità - Gli strumenti di mappatura consentono di identificare in tempo reale i potenziali legami simbiotici.
- Il sostegno politico è fondamentale - Gli incentivi regionali e i fondi UE hanno facilitato gli investimenti infrastrutturali.
- La flessibilità è la chiave della scalabilità - Il modello viene adattato per essere utilizzato in altre aree della Puglia e della Campania.

Domande di discussione:

1. Come possono gli strumenti digitali accelerare la simbiosi industriale nelle regioni rurali o periferiche?



2. Quali sono i modelli di governance che meglio supportano i cluster industriali intersettoriali?
3. Come replicare il modello di Manfredonia in regioni a bassa densità industriale?

Risorse:

- ENEA - Atlante della Simbiosi Industriale: <https://www.enea.it/it>
- Progetto BIONET - Cluster Tecnologico Nazionale Chimica Verde
- Regione Puglia - Piano per l'Economia Circolare 2022

14 Carta senza rifiuti: Circuiti circolari nel distretto cartario lucchese

Sintesi:

Il distretto cartario di Lucca, uno dei più grandi d'Europa, ha implementato una strategia di simbiosi industriale tra cartiere, impianti di riciclaggio e aziende energetiche. Grazie allo scambio di calore, rifiuti e materiali secondari, il distretto è diventato un punto di riferimento circolare per l'industria cartaria.

Contesto e sfida:

La produzione di carta genera grandi volumi di fanghi e domanda di energia. A Lucca, i tradizionali costi di smaltimento e di energia hanno spinto le aziende a sviluppare sistemi condivisi per la circolarità.

Soluzione - L'approccio della simbiosi:

Recupero dei fanghi:

- Oltre il 90% dei fanghi di carta viene trasformato in combustibile solido recuperato (CSS) o in compost.

Condivisione dell'energia:

- Il calore e l'energia prodotti dall'incenerimento dei rifiuti sono condivisi tra le cartiere.

Coordinamento digitale:

- Lucense ha sviluppato un sistema di mappatura delle risorse e una piattaforma di monitoraggio digitale.

Formazione circolare:

- Cartesio Network forma dipendenti e imprenditori sulle strategie di simbiosi.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Grande riduzione delle discariche e minore impronta di carbonio.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Economico	Riduzione dei costi energetici e valorizzazione dei sottoprodotti.
Sociale	Aggiornamento della forza lavoro e nuovi posti di lavoro nei servizi ambientali.
Replicabilità	Modello applicato ad altri distretti cartari in Italia e in Europa.

Punti chiave di apprendimento:

- La cooperazione a livello settoriale massimizza l'efficienza dei materiali.
- Il monitoraggio digitale rafforza la resilienza industriale.
- Le reti di condivisione della conoscenza amplificano l'innovazione.
- La circolarità attrae nuovi investimenti e migliora la reputazione.

Domande di discussione:

1. In che modo la produzione tradizionale può beneficiare della simbiosi industriale?
2. Quali sono gli ostacoli alla condivisione di energia tra aziende?
3. Come integrare le pratiche circolari nella gestione della catena del valore?

Risorse:

- Rete Cartesio: <https://www.retecartesio.it/>
- Lucense: <https://www.lucense.it/>
- Regione Toscana - Economia Circolare: <https://www.regione.toscana.it/>

15 Radicati nella natura: Come Sylveco coltiva l'economia circolare nella cura della pelle polacca

Sintesi:

Sylveco, un marchio polacco di cosmetici naturali, ha incorporato i principi dell'economia circolare nel suo modello aziendale, dall'approvvigionamento al packaging, fino all'educazione dei consumatori. Questo caso esplora il modo in cui Sylveco ha ridotto al minimo i rifiuti, ha dato potere alle economie locali e ha costruito la fiducia dei clienti, offrendo un potente esempio di come la circolarità possa essere una strategia di crescita fondamentale in un mercato competitivo.

Contesto e sfida:

Fondata nel 2006, Sylveco è entrata in un mercato sempre più attento alle questioni ambientali, alla trasparenza degli ingredienti e all'approvvigionamento etico. La sfida? Competere con i giganti della cosmesi globale rimanendo fedeli ai valori ecologici, senza compromettere la qualità, l'accessibilità e la crescita. All'epoca, molti marchi "naturali" praticavano il greenwashing. Sylveco vide un'opportunità: Essere veramente sostenibili. Non solo nei prodotti, ma anche nei processi.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Hanno affrontato domande fondamentali:

- Come approvvigionarsi in modo sostenibile di ingredienti in Polonia?
- Come ridurre al minimo l'uso della plastica pur rimanendo conservabili e sicuri?
- Come scalare senza diventare estrattivi?

Soluzione - L'approccio di Sylveco:

Sylveco ha adottato un approccio di economia circolare, concentrandosi sulla località, sulla longevità e sulla chiusura dei cicli:

Approvvigionamento:

- Ingredienti come la corteccia di betulla, la calendula e la camomilla sono coltivati localmente, riducendo le emissioni dovute al trasporto.
- I partenariati con gli agricoltori polacchi hanno creato catene di approvvigionamento tracciabili e a basso impatto.

Produzione:

- Produzione efficiente dal punto di vista idrico e linee di produzione a bassa produzione di rifiuti.
- Utilizzo di materiali biodegradabili o riutilizzabili quando possibile.

Imballaggio:

- Concentrarsi sui materiali riciclabili e sull'etichettatura semplificata per incoraggiare una corretta differenziazione.
- Passaggio a tubi di vetro e biodegradabili nelle linee premium.
- Collaborazione con i negozi a rifiuti zero per le ricariche e la restituzione delle confezioni.

Coinvolgimento dei consumatori:

- Etichettatura trasparente ed educazione agli ingredienti.
- Laboratori comunitari sulla cura della pelle naturale fai-da-te e sullo stile di vita sostenibile.
- Programmi di fidelizzazione che premiano le azioni ecologiche.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	Drastica riduzione dei rifiuti di imballaggio per unità di prodotto. Impronta di carbonio ridotta grazie all'approvvigionamento locale e alle catene di fornitura corte.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

Successo di mercato	Espansione in diversi sottomarchi (ad esempio Biolaven, Vianek, Aloesove) mantenendo i valori fondamentali. Una base di clienti fedeli ed eco-consapevoli. Presenza in oltre 1000 punti vendita in Polonia e in tutta Europa.
Sociale	Creazione di posti di lavoro nelle aree rurali attraverso partnership con piccoli agricoltori. Ruolo attivo nella sensibilizzazione ambientale in Polonia.

Punti chiave di apprendimento:

- L'economia circolare non è solo per la gestione dei rifiuti: può essere un motore di crescita.
- L'approvvigionamento locale crea valore sia ambientale che sociale.
- La trasparenza crea una profonda fedeltà al marchio.
- L'ecodesign deve essere facile da usare e in scala.
- Le piccole aziende possono guidare grandi cambiamenti.

Domande di discussione:

1. Quali sono stati i compromessi che Sylveco ha dovuto affrontare tra sostenibilità e scalabilità?
2. In che modo l'innovazione del packaging può sostenere ulteriormente l'economia circolare nei cosmetici?
3. Quali altri incentivi per i clienti potrebbero incoraggiare un comportamento circolare?
4. Come potrebbe evolvere il modello di Sylveco in presenza di normative UE più severe o di un'espansione globale?

Risorse:

- Sito web ufficiale di Sylveco [_](#)
- Intervista al direttore marketing di Sylveco [_](#)
- Interviste con Sylveco [_](#)

16 Trasformare i rifiuti in risorse - L'approccio di Derewenda all'economia circolare

Sintesi:

Derewenda, azienda polacca specializzata nel trattamento di rifiuti elettrici ed elettronici, ha integrato i principi dell'economia circolare nel proprio modello aziendale. Utilizzando tecnologie di riciclaggio avanzate, l'azienda massimizza il recupero delle risorse, riduce al minimo l'impatto ambientale e contribuisce allo



sviluppo sostenibile. Questo studio di caso esplora le strategie, le sfide e le soluzioni di Derewenda e il conseguente impatto sull'ambiente e sulla società.

Contesto e sfida:

Inizialmente Derewenda si è concentrata sui servizi professionali di gestione dei rifiuti. Nel 2003, l'azienda ha ampliato la propria offerta includendo soluzioni complete per la gestione dei rifiuti, in particolare per il riciclaggio e lo smaltimento di apparecchiature elettriche ed elettroniche. Con il rapido progresso della tecnologia e l'aumento del consumo di dispositivi elettronici, la Polonia ha dovuto affrontare una sfida crescente nella gestione dei rifiuti elettronici. Lo smaltimento improprio dei rifiuti elettronici comportava rischi ambientali significativi, tra cui la contaminazione del suolo e delle acque e la perdita di materiali preziosi.

Derewenda ha riconosciuto la necessità di un sistema efficiente per gestire i rifiuti elettronici in modo responsabile, con l'obiettivo di:

- Implementare le tecnologie per massimizzare il recupero dei materiali dai rifiuti elettronici.
- Allineare le operazioni alle normative ambientali nazionali e comunitarie.
- Educare le aziende e i privati sull'importanza di un corretto smaltimento dei rifiuti elettronici.

Soluzione – L'approccio di Derewenda:

Tecnologie avanzate di riciclaggio:

- L'azienda ha investito in impianti di trattamento all'avanguardia, dotati di tecnologie moderne per gestire in modo efficiente diversi tipi di rifiuti elettronici. Questi impianti consentono la separazione e il recupero di materiali preziosi come metalli, plastica e vetro, che possono essere reintrodotti nel ciclo produttivo, riducendo la necessità di risorse vergini.

Servizi completi di gestione dei rifiuti:

- Derewenda offre una gamma completa di servizi, tra cui la raccolta, il trasporto, il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti elettronici. Questo approccio olistico garantisce una gestione responsabile dei rifiuti in ogni fase, riducendo al minimo l'impatto ambientale.

Collaborazione con produttori e collezionisti:

- L'azienda collabora con i produttori di apparecchiature e gli addetti alla raccolta dei rifiuti per facilitare la corretta gestione dei rifiuti elettronici. Lavorando insieme, assicurano la conformità agli obblighi di legge relativi alla raccolta e al riciclaggio dei rifiuti, semplificando il processo per tutte le parti interessate. □

Conformità normativa e reporting

- Derewenda assiste i clienti nell'adempimento degli obblighi di rendicontazione previsti dalle leggi ambientali. Ciò include la preparazione di rapporti dettagliati

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



sulle quantità di apparecchiature introdotte sul mercato, sui rifiuti elettronici raccolti e sui tassi di riciclaggio e recupero raggiunti, garantendo trasparenza e responsabilità.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Impatto ambientale	Processi di riciclaggio efficienti hanno portato a un recupero significativo dei materiali, riducendo la domanda di risorse vergini. Una corretta gestione dei rifiuti elettronici ha ridotto al minimo il rilascio di sostanze pericolose nell'ambiente, proteggendo la qualità del suolo e dell'acqua.
Successo operativo	Derewenda ha diversificato i propri servizi per soddisfare un'ampia gamma di clienti, tra cui aziende e singoli consumatori. Assistendo i clienti nel reporting normativo, l'azienda ha rafforzato la propria reputazione di partner affidabile nel settore ambientale.

Punti chiave di apprendimento:

- Le iniziative educative hanno sensibilizzato l'opinione pubblica sull'importanza di un corretto smaltimento e riciclaggio dei rifiuti elettronici.
- La crescita dell'azienda ha contribuito a creare opportunità di lavoro nel settore della gestione e del riciclaggio dei rifiuti.
- Le tecnologie di lavorazione avanzate sono fondamentali per massimizzare il recupero dei materiali e ridurre al minimo i rifiuti.
- L'offerta di soluzioni end-to-end facilita la gestione corretta dei rifiuti elettronici in ogni fase.
- La collaborazione con i produttori e i raccoglitori snellisce i processi e garantisce il rispetto delle normative.
- L'assistenza ai clienti in materia di conformità favorisce relazioni solide e aumenta la credibilità dell'azienda.

Domande di discussione:

1. Come può Derewenda migliorare ulteriormente le sue tecnologie di riciclaggio per aumentare i tassi di recupero dei materiali?
2. Quali strategie possono essere messe in atto per incoraggiare un maggior numero di aziende e privati a utilizzare i servizi di gestione dei rifiuti elettronici di Derewenda?
3. Come può l'azienda espandere le sue iniziative educative per promuovere una maggiore consapevolezza del pubblico sulle questioni relative ai rifiuti elettronici?
4. Quali servizi aggiuntivi potrebbe offrire Derewenda per rafforzare la sua posizione nell'economia circolare?

Risorse:

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



- Sito web di Derewenda <https://derewenda.pl/>

17 Chiudere il cerchio: Come Dobis è pioniere dell'economia circolare negli imballaggi in carta

Sintesi:

Dobis, produttore polacco specializzato in sacchetti di carta e imballaggi per alimenti, ha integrato i principi dell'economia circolare nelle sue attività. Grazie a collaborazioni strategiche e all'impegno per la sostenibilità, Dobis ha ridotto il consumo di materiali, incorporato fibre riciclate e migliorato l'efficienza produttiva. Questo studio di caso esamina l'approccio di Dobis alla circolarità, le sfide affrontate, le soluzioni implementate e gli impatti risultanti.

Contesto e sfida:

Fondata con l'obiettivo di diventare il principale produttore europeo di imballaggi alimentari in carta, Dobis opera in un settore sempre più sotto esame per la sua impronta ambientale. La crescente domanda di soluzioni di imballaggio sostenibili ha rappresentato sia un'opportunità che una sfida:

- Efficienza dei materiali: Ridurre il peso dell'imballaggio senza compromettere la resistenza e la qualità.
- Approvvigionamento sostenibile: Incorporazione di materiali riciclati e garanzia di sicurezza e prestazioni del prodotto.
- Ottimizzazione della produzione: Migliorare i processi produttivi per ridurre al minimo gli sprechi e il consumo di risorse.

Per affrontare queste sfide è stato necessario trovare soluzioni innovative in linea con i principi dell'economia circolare.

Soluzione – L'approccio di Dobis:

Innovazione collaborativa:

- In collaborazione con Mondi, leader mondiale nel settore degli imballaggi sostenibili, Dobis ha ottimizzato i suoi tipi di carta per ridurre la grammatura, pur mantenendo la resistenza e la qualità di stampa. Questo ha portato allo sviluppo di shopper in carta più leggeri contenenti fibre riciclate.

Inclusione di materiali riciclati (utilizzando la gamma Eco/Vantage di Mondi):

- Eco/Vantage Light Fashion: 100% fibre riciclate, ideale per borse moda e borse regalo.
- Eco/Vantage Kraft Pro: 20% di contenuto riciclato con approvazione per la sicurezza alimentare, adatto per applicazioni in fast food e drogheria.

- Eco/Vantage Kraft Classic: 50% di contenuto riciclato, bilanciamento tra resistenza e stampabilità per imballaggi alimentari e di moda.

Ottimizzazione del processo (utilizzo di carte più leggere e inchiostri a base d'acqua):

- Riduzione del consumo di materiali: La minore grammatura della carta ha ridotto l'uso di materie prime.
- Qualità di stampa migliorata: Risultati più chiari con meno inchiostro.
- Riduzione dell'uso di colla: L'ottimizzazione della qualità della carta ha permesso di ridurre il consumo di colla durante l'assemblaggio del sacchetto.

Risultati e impatti:

Aspetto	Impatto
Ambiente	La significativa riduzione dell'uso di carta e inchiostro ha contribuito alla conservazione delle risorse naturali. L'incorporazione di fibre riciclate e l'ottimizzazione dei processi produttivi hanno ridotto al minimo la produzione di rifiuti. La produzione efficiente e la riduzione del trasporto dei materiali hanno diminuito le emissioni di gas serra.
Successo di mercato	Inclusione di diverse soluzioni di imballaggio eco-compatibili, che soddisfano le esigenze in continua evoluzione dei settori della moda, del fast-food e della vendita al dettaglio. Posizionarsi come leader nel settore degli imballaggi sostenibili, rafforzando le relazioni con i clienti attenti all'ambiente.
Efficienza operativa	La riduzione del consumo di materiale e di inchiostro ha comportato una diminuzione dei costi di produzione. La razionalizzazione dei processi ha portato a un'efficienza produttiva maggiore, ma ecologica.

Punti chiave di apprendimento:

- Le partnership strategiche amplificano l'impatto - La collaborazione con i leader del settore può promuovere l'innovazione e accelerare l'adozione di pratiche sostenibili.
- L'integrazione di materiali riciclati è fattibile e vantaggiosa - L'integrazione di contenuti riciclati senza compromettere la qualità del prodotto è fattibile e migliora la sostenibilità ambientale.
- L'ottimizzazione dei processi porta molteplici vantaggi - Il miglioramento dei processi produttivi può portare a benefici ambientali, risparmi sui costi e migliori prestazioni dei prodotti.
- Le pratiche dell'economia circolare aumentano la competitività - Le innovazioni sostenibili possono differenziare un'azienda sul mercato e attirare clienti attenti all'ambiente.

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Domande di discussione:

1. Come possono le aziende del settore degli imballaggi ridurre ulteriormente la loro impronta ambientale al di là della selezione dei materiali?
2. Che ruolo hanno le preferenze dei consumatori nel guidare le aziende verso soluzioni di imballaggio sostenibili?
3. Come possono le piccole e medie imprese (PMI) sfruttare le partnership per implementare efficacemente le pratiche dell'economia circolare?
4. Quali sfide possono sorgere quando si integrano i materiali riciclati nelle linee di produzione esistenti e come si possono affrontare?

Risorse:

- Sito web di Dobis: <https://www.dobis.com>
- Articolo sulla collaborazione tra Dobis e Mondi: <https://www.dobis.com/en/press-releases/2022/01/2022-01-10-dobis-and-mondi-launch-a-circular-economy-partnership>

CONCLUSIONI FINALI

1 Sintesi dei risultati

1.1 Consapevolezza e comprensione della simbiosi industriale (SI) e dell'IS digitale (DIS)

- **La ricerca sul campo** mostra che la SI è un concetto ben teorizzato con vantaggi pratici in tutti i settori, soprattutto se integrato con strumenti digitali come AI, IoT e blockchain.
- **I risultati del sondaggio** mostrano una consapevolezza limitata: Il 43% degli intervistati non conosceva la SI e solo il 21% la conosceva molto bene. Per quanto riguarda la DIS, solo il 20% aveva visto esempi rilevanti.
- **Gli intervistati** hanno confermato una comprensione disomogenea, con una particolare mancanza di familiarità da parte delle PMI. Eppure, molte di esse si impegnano inconsapevolmente in pratiche simbiotiche senza nominarle come tali.

1.2 Vantaggi e opportunità

- **I dati quantitativi** indicano forti vantaggi percepiti: risparmio di costi, efficienza delle risorse, vantaggio competitivo e maggiore conformità ambientale.
- **I dati delle interviste** lo confermano: i partecipanti apprezzano il DIS per la trasformazione strategica, l'innovazione e la simulazione di scenari tramite gemelli digitali e strumenti di pianificazione del riuso.
- La **ricerca documentale** fornisce prove di progetti UE (ad esempio Kalundborg, Donar, AquafilSLO) che dimostrano i benefici economici, ambientali e sistemici della SI.

1.3 Ostacoli e sfide

- **Tra tutte le fonti di dati**, emergono ostacoli coerenti:
 - Mancanza di regolamentazione o di incentivi per il riutilizzo
 - Vincoli di costo e di risorse (soprattutto per le PMI)
 - Piattaforme frammentate e scarsa interoperabilità
 - Bassa qualità e fiducia nei dati
 - Limitata alfabetizzazione digitale e legale, ecc.
- Questi riflettono lacune sia **tecniche** che **istituzionali**, che spesso impediscono la transizione dalle iniziative pilota all'attuazione sistemica. Per maggiori informazioni sui punti di blocco, consultare la sezione 0 di questo capitolo.

1.4 Piattaforme e strumenti digitali

- **La ricerca sul campo** sottolinea il ruolo degli strumenti di matchmaking, della blockchain e dei cruscotti in tempo reale nella scalabilità delle IS.
- **Gli intervistati** hanno sottolineato i problemi di usabilità, di integrazione e la necessità di piattaforme specifiche per il settore.

- **I dati del sondaggio** lo confermano: l'interesse per gli strumenti digitali esiste (45%), ma l'adozione è scarsa a causa della mancanza di competenze (69%) e dei costi (53%).

1.5 Sviluppo delle capacità e bisogni formativi

- Tutti i dati indicano un bisogno urgente di formazione:
 - Fondamenti di IS/CE
 - Uso e integrazione degli strumenti
 - Conformità ambientale e legale
 - Apprendimento basato su casi d'uso
- Sondaggio: Il 57% è interessato alle nozioni di base di IS/CE e ai vantaggi in termini di risparmio; gli intervistati chiedono risorse visive, passo dopo passo e un supporto localizzato.

1.6 Supporto alle politiche e agli ecosistemi

- I partecipanti auspicano **quadri politici più incisivi**, incentivi e investimenti pubblici nelle piattaforme.
- Si chiede la creazione di **piattaforme interoperabili e di interesse pubblico**, con un allineamento degli attori a livello di ecosistema (governo, PMI, università, intermediari).

2 Conclusioni e implicazioni per la pratica

2.1 Conclusioni

1. **La simbiosi industriale digitale (DIS) sta emergendo ma è frammentata.** La consapevolezza e l'impegno variano a seconda del settore, del Paese e delle dimensioni dell'organizzazione. Molte PMI partecipano in modo informale, senza una terminologia, degli strumenti e una direzione strategica.
2. **Il DIS non è solo una soluzione tecnica, ma un'opportunità strategica.** Supporta l'efficienza dei costi, l'innovazione circolare e la trasformazione organizzativa, se inserita in una pianificazione a lungo termine e supportata da strumenti digitali intelligenti.
3. **L'implementazione è ostacolata da barriere sistemiche, tecniche e culturali.** Mancanza di interoperabilità, competenze limitate, incentivi insufficienti e normative complesse impediscono la scalabilità. Il divario digitale è un problema critico di equità per le PMI.
4. **Le piattaforme digitali devono evolvere da strumenti pilota a infrastrutture pubbliche.** Il successo dipende da standard di dati condivisi, meccanismi di fiducia e modelli di governance che supportino la trasparenza, la tracciabilità e la collaborazione.
5. **La formazione e l'orientamento sono essenziali.** Un supporto pratico, accessibile e specifico per il contesto (soprattutto per le PMI) è fondamentale per passare dalla consapevolezza all'azione.

2.2 Implicazioni per la pratica

2.2.1 Per le PMI e le aziende

- **Incorporare il DIS nella pianificazione strategica**, non solo nella conformità.
- Iniziate dalle piccole cose: mappate i flussi di risorse interne, impegnatevi con le iniziative di riutilizzo locali e costruite una familiarità digitale.
- Collaborare con partner pubblici e accademici per ridurre i costi di apprendimento.

2.2.2 Per gli sviluppatori di piattaforme

- Privilegiare l'**usabilità**, l'**integrazione** e l'**interoperabilità**.
- Offrite supporto per l'onboarding, moduli di formazione e librerie di casi personalizzati per i flussi di lavoro delle PMI.
- Integrare le funzionalità di intelligenza artificiale, tracciamento e pianificazione per supportare le decisioni in tempo reale.

2.2.3 Per i responsabili politici e le autorità pubbliche

- Creare **incentivi normativi** per il riutilizzo (ad esempio, mandati negli appalti pubblici, agevolazioni fiscali per gli scambi simbiotici).
- Investire in **piattaforme di interesse pubblico** e in infrastrutture condivise per il DIS.
- Promuovere campagne di **sensibilizzazione e di sviluppo delle capacità** attraverso le camere di commercio, le agenzie di sviluppo regionale e gli istituti di formazione professionale.

2.2.4 Per gli enti di formazione e le istituzioni di supporto

- Sviluppare **programmi di formazione modulari** su IS/CE, strumenti digitali, quadri giuridici e analisi costi-benefici.
- Utilizzate esempi reali e storie di successo locali per costruire la rilevanza.
- Si rivolge sia al **personale tecnico che ai responsabili delle decisioni** nelle PMI e nelle istituzioni pubbliche.

3 Punti critici e piano d'azione per l'implementazione della simbiosi industriale digitale (DIS)

3.1 Punti critici

Come parte dei risultati finali della ricerca, questa sezione delinea i principali punti di blocco che ostacolano l'implementazione diffusa della simbiosi industriale (IS) e della simbiosi industriale digitale (DIS) nelle organizzazioni, soprattutto nelle piccole e medie imprese (PMI). Sulla base dei dati delle interviste qualitative e delle risposte alle indagini quantitative raccolte in cinque Paesi europei, sono stati identificati in totale 24 punti di blocco unici. Per ognuno di questi ostacoli è stato formulato un piano



d'azione corrispondente, insieme all'indicazione dell'attore o degli attori responsabili dell'esecuzione delle misure proposte.

I punti critici possono essere suddivisi in sei gruppi:

Ostacoli normativi e politici

- **Mancanza di mandati legali per il riutilizzo o la simbiosi** – La mancanza di applicazione significa che pochi agiscono volontariamente. (Qualitativo)
- **Procedure normative complesse e poco chiare** – Difficoltà di gestione della compliance. (Quantitativo)
- **Elevati costi di conformità** – I processi legali sono finanziariamente onerosi. (Quantitativo)
- **Mancanza di incentivi fiscali / tassazione sfavorevole** – I materiali riutilizzati sono tassati come se fossero nuovi, scoraggiando il riutilizzo. (Qualitativo)
- **Scarsa consapevolezza dei requisiti legali** – Solo il 29% degli intervistati ha compreso le politiche pertinenti. (Quantitativo)

Barriere economiche e finanziarie

- **Alti costi iniziali degli strumenti/piattaforme digitali** – Soprattutto per le PMI. (Entrambi)
- **Incerto ritorno sugli investimenti (ROI)** – Difficile giustificare gli investimenti senza risultati chiari. (Qualitativo)
- **Finanziamenti o sovvenzioni pubbliche limitate** – Pochi meccanismi di sostegno per compensare il rischio. (Qualitativo)
- **I materiali di riuso sono spesso meno competitivi di quelli nuovi** – A causa di problemi di valutazione e disponibilità. (Qualitativo)

Lacune nella consapevolezza e nella conoscenza

- **Scarsa consapevolezza dei concetti di IS/DIS** – il 43% degli intervistati non aveva alcuna conoscenza di IS. (Entrambi)
- **Non familiarità con gli strumenti o i casi d'uso della SI digitale** – Solo il 20% conosceva esempi dal proprio contesto. (Quantitativo)
- **Mancanza di linee guida chiare e semplificate** – Su come implementare IS/DIS. (Quantitativo)
- **Confusione dovuta all'ambiguità concettuale** – le PMI spesso non riconoscono i loro sforzi di riutilizzo come IS/DIS. (Qualitativo)

Barriere digitali e tecniche

- **Mancanza di competenze digitali o di personale informatico** – il 69% degli intervistati non dispone di conoscenze tecniche. (Quantitativo)
- **Scarsa usabilità degli strumenti esistenti** – Spesso troppo complessi o non adatti alle PMI. (Qualitativo)
- **Scarsa interoperabilità** – Gli strumenti e le piattaforme non si integrano con la pianificazione (ad esempio, BIM), gli appalti, ecc.
- **Problemi di privacy dei dati e di cybersicurezza** – identificati dal 47% degli intervistati. (Quantitativo)

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.

- **Frammentazione di strumenti/piattaforme** - Troppe soluzioni scollegate che generano confusione. (Qualitativo)
- **Qualità dei dati sui materiali scarsa o inaffidabile** - Dati obsoleti, non classificati o mancanti. (Qualitativo)

Barriere organizzative e operative

- **Mancanza di tempo e di personale** - L'ostacolo più citato nell'indagine (61%). (Quantitativo)
- **Processi di riutilizzo manuali e frammentati** - Elevato onere di coordinamento tra gli attori. (Qualitativo)
- **Incompatibilità con i flussi di lavoro esistenti** - Gli strumenti che non si adattano ai cicli di approvvigionamento o di pianificazione vengono abbandonati. (Qualitativo)
- **Mentalità a breve termine nelle organizzazioni** - Mancanza di impegno strategico verso modelli circolari a lungo termine. (Qualitativo)

Collaborazione e barriere dell'ecosistema

- **Mancanza di conoscenza dei potenziali partner** - il 39% degli intervistati ha indicato questo come un ostacolo. (Quantitativo)

3.2 Piano d'azione

No.	Punto critici	Azione raccomandata	Soggetto responsabile
1	Mancanza di mandati legali per il riutilizzo o la simbiosi	Sostenere una riforma della politica che introduca quote di riutilizzo e obbligo di rendicontazione.	Responsabili politici / Ministeri dell'Ambiente
2	Procedure normative complesse e poco chiare	Sviluppare guide e diagrammi di flusso semplificati e specifici per il settore.	Agenzie di regolamentazione / Ministeri settoriali
3	Costi di conformità elevati	Introdurre sussidi finanziari o esenzioni dalle tasse per le PMI che implementano le SI.	Dipartimenti finanziari governativi / Fondi di sostegno alle PMI
4	Mancanza di incentivi fiscali / tassazione sfavorevole	Fare pressione per riforme fiscali che riducano l'IVA sui materiali riutilizzati.	Autorità fiscali / Unità politiche per l'economia circolare
5	Scarsa consapevolezza dei requisiti legali	Creare campagne di sensibilizzazione e formazione sull'alfabetizzazione legale rivolte alle PMI.	Camere di commercio/organismi di formazione giuridica
6	Alti costi iniziali degli strumenti/piattaforme digitali	Offrire programmi di sovvenzione o cofinanziamento pubblico per l'adozione degli strumenti.	Agenzie di sovvenzione UE/Nazionali/Ministeri dell'Innovazione
7	Ritorno sull'investimento incerto (ROI)	Sviluppare e condividere casi di studio sul ROI e strumenti di simulazione.	Camere di commercio / Associazioni industriali

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



8	Finanziamenti o sovvenzioni pubbliche limitate	Aumentare la disponibilità di flussi di finanziamento pubblico mirati per i progetti di SI.	Agenzie di sviluppo regionale / Fondi strutturali UE
9	I materiali di riuso sono spesso meno competitivi di quelli nuovi	Stabilire standard di certificazione e di garanzia della qualità per i materiali riutilizzati.	Organismi di standardizzazione / Autorità di certificazione
10	Scarsa consapevolezza dei concetti di IS/DIS	Avviare campagne di sensibilizzazione regionali e settoriali.	Organizzazioni di supporto alle imprese / ONG per la sostenibilità
11	Poca familiarità con gli strumenti o i casi d'uso dell'IS digitale	Sviluppare e diffondere kit di strumenti pratici e video di presentazione.	Fornitori di tecnologia / Piattaforme di economia circolare
12	Manca di linee guida chiare e semplificate	Creare guide all'implementazione facili da seguire e adatte alle PMI.	Organizzazioni di supporto alle PMI / Hub circolari
13	Confusione dovuta all'ambiguità concettuale	Utilizzare una terminologia coerente ed esempi reali in tutti i materiali.	Fornitori di formazione / Team di diffusione del progetto
14	Manca di competenze digitali o di personale informatico	Fornire corsi di formazione sulle competenze digitali di base e bootcamp di alfabetizzazione digitale. Coinvolgere le PMI nella co-progettazione di piattaforme IS di facile utilizzo.	Istituti di formazione professionale / fornitori di competenze digitali
15	Scarsa usabilità degli strumenti esistenti	Stabilire standard per l'integrazione delle piattaforme e incoraggiare lo sviluppo di API.	Sviluppatori tecnici / Progettisti UX
16	Scarsa interoperabilità	Fornire framework e toolkit per la protezione dei dati conformi al GDPR.	Organismi di standardizzazione ICT / Sviluppatori di piattaforme
17	Problemi di privacy dei dati e di cybersicurezza	Sostenere iniziative di piattaforme di riutilizzo federate a livello nazionale o europeo.	Responsabili della protezione dei dati / Consulenti per la sicurezza informatica
18	Frammentazione di strumenti/piattaforme	Introdurre modelli standard per la registrazione e la verifica dei materiali.	Commissione europea / Autorità digitali nazionali
19	Qualità dei dati sui materiali scarsa o inaffidabile	Promuovere flussi di lavoro IS efficienti in termini di tempo e co-sviluppare servizi condivisi.	Sviluppatori di piattaforme / Consorzi di settore
20	Manca di tempo e di personale	Digitalizzare e automatizzare i flussi di lavoro per il riutilizzo tramite applicazioni mobili.	Consulenti di produttività / Reti di PMI
21	Processi di riutilizzo manuali e frammentati	Garantire l'integrazione dei nuovi strumenti con i sistemi ERP/di approvvigionamento.	Sviluppatori software / Ingegneri di processo
22	Incompatibilità con i flussi di lavoro esistenti		Fornitori di software aziendale / Sviluppatori di strumenti

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



23	Mentalità a breve termine nelle organizzazioni	Offrire workshop di previsione strategica e strumenti di visione a lungo termine.	Consulenti strategici / Coach di leadership
24	Mancanza di conoscenza dei potenziali partner	Creare piattaforme di matchmaking e centri di simbiosi locali.	Organizzazioni di cluster / Intermediari dell'innovazione

Il successo dell'implementazione di DIS non dipende solo dalle soluzioni tecnologiche, ma da una comprensione completa delle barriere strutturali, operative e cognitive che le organizzazioni devono affrontare. Il piano d'azione fornito in questo allegato presenta raccomandazioni mirate e attuabili che si allineano alle esigenze e ai vincoli reali identificati durante il lavoro sul campo. Il coinvolgimento di più parti interessate - dai politici agli educatori, dai fornitori di tecnologia alle reti di supporto alle PMI - è essenziale per superare queste barriere e consentire una transizione inclusiva verso un'economia circolare attraverso la simbiosi industriale digitale.



Co-funded by
the European Union



FReINDs

Numero del progetto:

2024-1-NO01-KA220-HED-000246621

Finanziato dall'Unione europea. I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia esclusivamente quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione Europea né l'EACEA possono essere ritenute responsabili.