



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Gestionale

A.A. 2022/2023

Tesi di Laurea Magistrale

Revisione bibliografica della Simbiosi industriale Urbana come strategia di sviluppo sostenibile

Relatori:

ALFIERI ARIANNA
CASTIGIONE CLAUDIO

Candidato:

CUCCIA ANTONIO
S282476

INDICE

Introduzione	4
Capitolo I	7
Dalla Simbiosi Industriale alla Simbiosi Urbana.....	7
1.1. Economia Lineare ed Economia circolare	7
1.2. Origini e sviluppo della simbiosi industriale.....	11
1.3. La simbiosi industriale urbana	16
Capitolo II.....	18
La Simbiosi Urbana Industriale: presentazione dei casi studio	18
2.1. Materiali e metodi: review della letteratura	18
2.2. Asia.....	21
2.2.1 Il caso Kawasaki.....	22
2.2.2 Il caso di Liuzhou e Jinan.....	31
2.2.3 Il caso di Guiyang.....	41
2.2.4 Il caso di Midong.....	47
2.2.5 Il caso di Yongcheng	52
2.2.6 Il caso di Rubber City.....	59
2.2.7 Il caso di Ulsan	65
2.3. Europa	69
2.3.1 Il caso di “Rotterdam Energy Approach and Planning (REAP)”	69
2.3.2 Il caso di Göteborg in Svezia.....	72
2.3.3 <i>Caso studio della città di Zakopane in Polonia</i>	79
2.4 Africa.....	84
Capitolo III.....	87
ANALISI SWOT	87

3.1. Strengths and opportunities	88
3.2. Weaknesses and Threats	90
Conclusioni	92
Bibliografia	94

Introduzione

Negli ultimi anni le aziende dei diversi settori economici hanno investito tempo, denaro, forze ed energie per diminuire gli impatti sull'ambiente e, nel far questo, hanno considerato in misura sempre maggiore le economie che promuovono lo sviluppo sostenibile (Castiglione & Alfieri, 2020). Gli obiettivi perseguiti da queste aziende prevedevano di evitare il depauperamento del sistema ambiente attraverso la creazione di un modello economico che ammetta al suo interno il ritorno delle risorse disponibili già usate, in modo da ottenere un significativo risparmio energetico e di risorse materiali.

Questo piano di recupero nasce anche da un'esigenza di carattere economico, in quanto il riciclo delle risorse e dei materiali prevede un significativo abbattimento dei costi di gestione. Le aziende che non perseguono un progetto di sviluppo sostenibile, infatti, sono soggette a costi di gestione più elevati (Halati & He, 2018), in quanto devono continuamente procurarsi da zero le risorse di cui hanno bisogno, compromettendo la loro posizione di vantaggio (Cantele & Zardini, 2018). Gli scarti derivati dalle attività di produzione e l'aumento dei costi di acquisto delle materie prime hanno messo a dura prova i profitti delle aziende, sebbene le nuove tecnologie disponibili sul mercato tendono a aumentare l'efficienza delle risorse e ridurre, in questo modo, la produzione dei rifiuti.

In questo scenario va sottolineato che la rivoluzione industriale ha trasformato radicalmente il modello di business tradizionale in un sistema di mercato digitale che include tecnologia, abilità umane, metodi, macchine, materiali, denaro, cultura sociale e ambientale (Khan & Abonyi, 2022). Queste caratteristiche non solo hanno cambiato il modo in cui le persone scelgono, acquistano e promuovono i prodotti, ma hanno anche aumentato tra i consumatori l'aspettativa sulla qualità della produzione, che si richiede sempre più elevata.

L'eco-innovazione tecnologica ha un ruolo determinante nel migliorare le performance economico – ambientali, in quanto migliora l'efficienza delle risorse (Castiglione, Yazan, Alfieri, & Mes, 2021). La proposta tecnologica dovrebbe essere accompagnata da una strategia relazionale, capace di mettere a contatto diversi stakeholder, interessati a collaborare tra di loro per ridurre ogni singolo spreco e farlo rientrare all'interno di un'economia circolare (CE).

Quest'ultima si concentra principalmente sul potenziale valore che lo spreco di un'azienda potrebbe assumere per un'altra realtà aziendale, prendendo in considerazione diversi aspetti

come i prezzi, il consumo di risorse e utilizzando una prospettiva olistica del business (Castiglione & Alfieri, 2020).

Il modello di ecologia industriale ciclica (CIEM) rappresenta un sistema economico più tecnico rispetto al modello CE grazie alla sua specifica attenzione agli scambi che avvengono tra le aziende. I modelli di ecologia industriale ("ciclico", "quasi-ciclico" e "lineare"), infatti, descrivono gli scambi di materiali e risorse tra l'ecosistema ambientale e quello industriale (Graedel, 1994). In questo scenario, lo spreco è considerato come oggetto di uno scambio che non aggiunge valore a chi lo riceve, anzi lo danneggia. Nel modello CIEM, l'ecosistema industriale ha bisogno di scambiare tra i suoi membri i suoi scarti e i suoi sottoprodotti fino a quando tutti i prodotti che risultano essere dannosi per l'ambiente siano convertiti in materiali non pericolosi (Castiglione & Alfieri, 2020).

Un approccio innovativo di sistema che riduce le emissioni di gas serra attraverso la promozione di scambi fisici di rifiuti industriali, energia e sottoprodotti tra impianti industriali è dato dalla simbiosi industriale (IS), che è data dalla relazione di scambio di rifiuti e sottoprodotti tra diversi stakeholder, per favorire il riutilizzo dei rifiuti come materia prima, anziché il loro smaltimento.

Il termine simbiosi in biologia rappresenta un fenomeno che si verifica quando due organismi diversi vivono entrambi in un rapporto di reciproco vantaggio. Egualmente la simbiosi industriale (IS) rappresenta la riproposizione di un contesto simile in ambito economico, in cui l'uso dei materiali e dell'energia è limitato all'utile e i rifiuti e l'inquinamento sono ridotti ai minimi termini. L'IS è diventata un'area facilmente riconoscibile nell'ambito dell'ecologia industriale (IE). Sebbene quest'ultima agisca a livello globale, regionale e aziendale, il termine IS è stato utilizzato soprattutto per riferirsi ai collegamenti aziendali, che cominciarono a svilupparsi spontaneamente a Kalundborg in Danimarca nel 1961.

L'IS è data dall'integrazione di settori che in genere sono separati, ma che in questo progetto collaborano in vista di un obiettivo comune che prevede lo scambio fisico di energia, di materiali, di sottoprodotti, di acqua e di ogni altro utile per ottenere un vantaggio competitivo e una migliore produzione. La collaborazione tra diversi partner industriali è essenziale in questo contesto affinché l'IS possa ottenere vantaggi economici e ambientali condivisi.

In seguito, nel 2009, il concetto di IS è stato esteso allo scambio di rifiuti urbani ed energia proveniente da complessi industriali e allo sviluppo del concetto di simbiosi urbana (UrS), un approccio sostenibile alla gestione dei rifiuti solidi urbani. L' UrS rappresenta

un'estensione della simbiosi industriale (IS) ed è considerata un percorso pratico per realizzare un'economia circolare.

La maggior parte degli studi si concentra sull'IS piuttosto che sull'UrS o su una combinazione di entrambe. Tuttavia, poiché sempre più città hanno problemi con le materie prime e poiché molti parchi industriali non sono solo aree industriali ma anche parte di un'area urbana in cui vivono persone, la simbiosi urbana è diventata un problema rilevante dal punto di vista sociale, in quanto il suo sviluppo favorirebbe non solo l'economia dell'agglomerato urbano, ma anche la vita stessa di chi lo abita e dell'ambiente circostante. La differenza tra IS e UrS è che la prima riconosce lo scambio di risorse di scarto e sottoprodotti tra imprese che normalmente non cooperano nello scambio delle risorse; UrS riconosce l'uso dei rifiuti solidi nelle città come fonti di input per le industrie che normalmente non accettano queste fonti. Tuttavia, sia IS che UrS si concentrano sul riciclaggio dei rifiuti e su una rete di simbiosi attraverso il risparmio di materie prime e/o la riduzione delle emissioni che offrono evidenti benefici alla società nel suo insieme. UrS rappresenta una sfida fisica, economica e politica, ma presenta diversi anche molti ostacoli, inclusa la complessità della gestione degli interessi di tutte le parti interessate coinvolte. L'obiettivo finale di quest'elaborato è quello di trattare il fenomeno della simbiosi urbana in rapporto ai principali casi studio presenti in letteratura.

Capitolo I

Dalla Simbiosi Industriale alla Simbiosi Urbana

1.1. Economia Lineare ed Economia circolare

L'uomo in passato si è illuso che nel pianeta le materie prime fossero disponibili in proporzioni illimitate come se la natura potesse ovviare a ogni bisogno. Questa prospettiva ideologica è data dall'Economia Lineare, in cui il concetto principale è basato sul principio di “acquistare, produrre, smaltire” (Fatimah, Kannan, Govindan, & A., 2023) generando, quindi, un livello rilevante di scarti di produzione e rifiuti non riutilizzabili (Fig. 1).



Figura 1- Economia Lineare (LiberiDallaPlastica.it)

I beni hanno un ciclo di vita (estrazione delle risorse naturali, produzione, utilizzo e rifiuto) che si esaurisce nelle discariche, in cui la materia si accumula senza essere più usata, ma è destinata allo smaltimento mediante appositi inceneritori. L'accumulo di rifiuti, nonché i gas che fuoriescono dagli inceneritori rappresentano due campanelli di allarme per il problema ambientale a cui occorre trovar rimedio per non esaurire le risorse e ritrovarsi totalmente impreparati e sommersi dai rifiuti.

Nel 2010 è stato registrato che il consumo di materiale ha raggiunto i 65 miliardi di tonnellate e, sulla base delle tendenze recenti, si prevede che l'uso globale di materie prime raggiungerà i 190 miliardi di tonnellate nel 2060 (Oberle, Bringezu S, Hellweg, H, & Clement, 2019). La crisi delle risorse non è l'unico problema legato all'economia lineare,

in quanto in ognuna delle fasi del processo di produzione lineare sono generati gas serra, scarti di lavorazione, acque reflue e rifiuti, che hanno impatti dannosi sul clima e determinano anche una perdita di valore per tutta la filiera.

Ad incrementare l'accumulo di rifiuti contribuiscono diversi fattori, tra cui l'aumento della popolazione mondiale, la crescita della produzione delle risorse e la durata breve del ciclo di vita dei prodotti. Gran parte dei prodotti di uso quotidiano, infatti, ha una vita relativamente breve: si acquistano, si consumano e poi si butta via ciò che ne rimane. Questo capita, per esempio, con i tubetti di plastica che contengono il dentifricio, le penne per scrivere, le confezioni di plastica che racchiudono gli ortaggi, frutta o verdura, e così via. Qualsiasi oggetto presente nella nostra quotidianità è parte di un processo che prevede cinque passaggi fondamentali, che sono parte del modello "take-make-dispose", in cui le risorse sono estratte dalla Terra per la creazione di beni, che sono poi destinati a diventare rifiuti. Questi passaggi sono: il rifornimento delle materie prime; la trasformazione di queste materie in beni di consumo tramite l'utilizzo della forza lavoro e dell'energia necessaria per l'azionamento di macchine industriali; la distribuzione e la vendita dei prodotti finiti ai consumatori; il consumo da parte di questi ultimi e, infine, lo smaltimento degli scarti residui.

Una soluzione valida a questi problemi potrebbe essere data dall'economia circolare che è stata accolta dalle imprese come un sistema a circuito chiuso in cui i prodotti sono riutilizzati e trasformati in altri tipi di risorse (Dragomir & Dumitru, 2022). Essa, trasformando i prodotti fuori uso in materiali riutilizzati, offre l'opportunità di risparmio sui costi fino a 380 miliardi di dollari, un importo che dovrebbe salire a 639 miliardi di dollari nei settori industriali dell'Unione Europea (Macarthur, 2020).

In Fig. 2 è possibile vedere le varie fasi di un modello di produzione e consumo che segue la logica dell'Economia Circolare, che da una fase di progettazione passa poi al rapporto concreto attraverso le fasi di produzione, distribuzione e consumo. La logica del riciclaggio, infine, consente un movimento ciclico, prevenendo il ritorno delle risorse utili all'interno del ciclo economico e lo scarto dei rifiuti residui. L'aspetto circolare fa in modo che la gestione di tutto ciò che sia elaborato, modificato e prodotto all'interno del sistema economico, rimanga dentro di esso e sia gestito nel modo più efficiente possibile, allo scopo di non attaccare l'ecosistema.



Figura 2- Economia Circolare (Fonte: Parlamento Europeo)

Nel 2014, la Commissione Europea ha stimato che l'adozione di modelli di economia circolare garantirebbe al sistema economico un risparmio di circa 600 miliardi di euro e la creazione di circa 170.000 posti di lavoro solo nel settore della gestione dei rifiuti entro il 2035. Secondo uno studio di (Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, January 2017) per sviluppare l'economia circolare esistono fondamentalmente tre strategie: utile destinazione dei materiali, estensione della vita utile dei beni e dei loro componenti, intelligente utilizzo e lavorazione dei prodotti (Fig. 3). Nella visione dell'economia circolare, infatti, se le risorse vengono destinate, progettate a lunga durata e usate con consapevolezza senza creare sprechi è possibile non solo risparmiare denaro, ma anche ad aumentare l'efficienza e l'utilità del prodotto stesso. I cosiddetti oggetti "usa e getta", infatti, non fanno altro che aumentare la percentuale di rifiuti all'interno delle discariche, per cui è necessario seguire una prospettiva economica differente, attribuendo valore al bene acquistato, aumentando la sua durata e al contempo la sua utilità. L'economia circolare, in questo senso, risulta essere una valida soluzione in grado di proporre tutte e tre le strategie descritte nello studio di Potting et al., in quanto, attraverso le operazioni di raccolta e riciclaggio dei rifiuti, l'economia circolare reinserisce i materiali già usati all'interno del circuito industriale, attribuendo loro una nuova vita e aumentando al contempo il periodo di attesa dell'arrivo dei prodotti nelle discariche e negli inceneritori.



Figura 3 - Strategie EC (Fonte: *Quaderno Italiano Economia Circolare*)

Il concetto di “utile destinazione dei materiali” fa riferimento all’utilizzo di particolari processi tecnologici per ricavare – quanto possibile – valore dagli scarti di produzione non più riutilizzabili e destinati allo smaltimento. Il riciclo di materiali plastici e la produzione di energia per incenerimento di rifiuti organici sono esempi che si rifanno a questa strategia. Il livello di circolarità è basso perché nella maggior parte dei casi i prodotti recuperati non possono essere rilavorati per più cicli consecutivi.

Lo step successivo per migliorare la circolarità dei processi produttivi è l’estensione della vita utile dei beni o di loro componenti. L’obiettivo è quello di aumentare il più possibile il numero di cicli produttivi prima di esaurire la vita del prodotto e dei materiali che lo compongono. In questo senso, si progettano delle lavorazioni in grado di rendere riutilizzabili prodotti o sottoprodotti destinati allo smaltimento. È previsto il rinnovamento e la riparazione dei prodotti più vecchi ed inoltre il riutilizzo del prodotto da parte di altri consumatori.

L’ultima strategia proposta, infine, è in grado di ottenere ottimi risultati in termini di circolarità in quanto prevede dei ragionamenti che riguardano tutta la linea produttiva di un determinato prodotto per incrementarne l’efficienza ed addirittura – in alcuni casi – si

riprogetta il prodotto stesso. In tutti i casi, le aziende sono chiamate ad innovare le proprie attività.

La rete di relazioni tra diversi attori industriali è quindi fondamentale per poter agire secondo i principi dell'economia circolare perché rappresenta una condizione favorevole alla condivisione e alla crescita del know-how aziendale. Gli autori del “Quaderno Italiano Economia Circolare” sostengono anche che i fattori principali che favoriscono lo sviluppo dell'economia circolare sono:

- Educazione
- Accesso al credito
- Regolamentazione
- Infrastrutture

Un'educazione adeguata è fondamentale per poter affrontare la complessità della transizione da un'economia lineare ad un'economia circolare perché permette agli attori coinvolti di avere un quadro generale sui temi di sostenibilità ed innovazione e di avere la capacità di sviluppare nuove soluzioni. Promuovere finanziamenti e investimenti mirati ad aziende che si impegnano nello sviluppo di progetti di economia circolare ne favorisce l'espansione e la crescita, e in tal senso sarebbe ancora più efficace se il legislatore semplificasse le regole per il recupero, la gestione e l'utilizzo di scarti e rifiuti e/o se venisse imposta una soglia minima di utilizzo di materiali di scarto.

Il fattore Infrastrutture si riferisce alla necessità di costruire impianti per il recupero e redistribuzione di scarti e rifiuti sul territorio, alla riprogettazione della rete logistica ed inoltre allo sviluppo di piattaforme informatiche in grado di raggiungere un elevato livello di condivisione di dati. In questo contesto, è chiaro che la strategia della Simbiosi Industriale gioca un ruolo fondamentale ed è necessario approfondire l'argomento analizzando quello che è stato fatto e le prospettive future.

1.2. Origini e sviluppo della simbiosi industriale

L'espressione “Simbiosi Industriale (IS)” ha origini nel campo della biologia, poiché con essa ci si riferisce ad un modello di collaborazione tra due o più specie viventi che scambiano risorse come energia, informazioni, materiali e «servizi» (Schwarz & Steininger, 1997).

I principi dell'Economia Circolare e della Simbiosi Industriale risiedono nel concetto di sviluppo sostenibile, che è possibile ricercare tra la fine degli anni Sessanta e gli inizi degli anni Ottanta. Tuttavia, il concetto di *Industrial Symbiosis* viene ufficializzato solo nel 2000 da Chertow, mentre l'espressione Economia Circolare inizia ad apparire dalla fine della prima decade del XXI secolo per indicare la collaborazione tra aziende, che spesso appartengono a settori produttivi diversi, al fine di conseguire dei benefici dallo scambio reciproco di materiali, energia, acqua e in generale tutto ciò che è sottoutilizzato, o non utilizzato affatto, da una realtà aziendale e può essere invece investito nel contesto produttivo di un'altra azienda (Chertow, 2000).

La Simbiosi industriale (IS) rappresenta una strategia dell'Economia Circolare (CE), promuovendo numerose connessioni tra aziende, per lo più collocate vicine tra loro, allo scopo di consentire lo scambio di materiali, di fonti d'energia, infrastrutture, conoscenze e servizi di ogni altro tipo (Chertow, 2000). Tuttavia, è possibile anche che lo scambio simbiotico avvenga all'interno di comparti diversi presenti nella stessa azienda, in cui le eccedenze e tutto il materiale di scarto vengono valorizzati all'interno (Azevedo, et al., 2021). L'applicazione dell'IS non solo riduce anche i costi di smaltimento dei rifiuti (Domenech & al., 2019) ma favorisce anche la collaborazione tra le parti coinvolte.

Negli ultimi dieci anni si è verificato un aumento del numero di ricerche e analisi scientifiche riguardanti le pratiche della CE e gli strumenti per sviluppare la Simbiosi Industriale (Marrucci & Daddi, 2019). Considerando il potenziale e i numerosi vantaggi della IS, infatti, sarebbe fondamentale incentivarne l'attuazione per favorire lo sviluppo sostenibile dell'industria (Lombardi, 2017). Ciononostante, esistono ancora oggi degli ostacoli di natura economico – finanziaria, tecnologica o semplicemente comunicativa che limitano l'implementazione della IS su larga scala (Golev & Giurco, 2015), rallentandone lo sviluppo.

Se si guarda esclusivamente al fenomeno dell'IS, negli ultimi anni è chiara la tendenza a sviluppare strumenti basati sulle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) che facilitano il matchmaking e le sinergie tra le diverse aziende (Cecelja, et al., 2015). Questi strumenti di ricerca scientifica che trattano della IS rispettano cinque fasi fondamentali: valutazione preliminare del business, ricerca di opportunità e sviluppo, determinazione della fattibilità, sviluppo delle transizioni e documentazione (Azevedo, et al., 2021).

La simbiosi industriale consente di ottimizzare l'uso delle risorse e di recuperare le sostanze di scarto, in una prospettiva economica circolare che agisce tutelando l'ambiente e tutte le

realtà che vi prendono parte. Questa strategia, pertanto, converte le esternalità ambientali negative sotto forma di rifiuti, in esternalità ambientali positive (minore inquinamento e minore necessità di importazioni di materie prime) (Yu, et al., 2023).

I fattori chiave per la simbiosi industriale sono la collaborazione tra agenti industriali e le possibilità sinergiche favorite dalla vicinanza geografica. A tal proposito si riconoscono tre tipologie di condivisione delle risorse: lo scambio di sottoprodotti, la condivisione di infrastrutture e il rifornimento condiviso di servizi. La caratteristica principale è che un gruppo di imprese si assume congiuntamente la responsabilità di fornire servizi o infrastrutture di pubblica utilità, come sistemi di approvvigionamento idrico, energetico o termico (ovvero impianti di cogenerazione) o impianti di trattamento delle acque reflue, un compito generalmente svolto dalle autorità municipali o società specializzate (Chertow, *Industrial Ecology in a Developing Context*, 2008).

Le disposizioni delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) hanno accettato i progetti della Simbiosi industriale e dell'uso dei Parchi Eco – industriali come mezzi per incoraggiare un sistema di produzione sostenibile che tenga in seria considerazione l'ambiente e le sue risorse. Il primo rapporto tecnico della UNEP risale al 1997 e riguardava la gestione ambientale delle zone industriali. Tale programma forniva delle linee guida per la creazione di nuovi parchi e la gestione di quelli già esistenti, indicando i diversi problemi ambientali e delle strategie per affrontarli.

L'attivazione della simbiosi permette di migliorare i processi industriali, di ottimizzare la logistica e favorire in questo modo il trasferimento delle conoscenze. Così facendo le aziende possono aumentare non solo la loro produttività, ma anche la loro competitività di mercato sia in ambito nazionale sia nel contesto comunitario (Wierzbicka, 2014). Le opportunità che si generano non sono rivolte solo alla singola impresa, ma anche per le aree in cui le aziende industriali operano e per i distretti industriali di cui fanno parte, per lo sviluppo del territorio e, in generale, per una valorizzazione delle risorse in forma aggregativa.

Nel contesto attuale, la simbiosi industriale è una strategia chiave per numerosi motivi:

- **Sostenibilità ambientale:** La simbiosi industriale è un approccio che promuove la riduzione dell'impatto ambientale delle attività industriali. Attraverso lo scambio e il recupero di risorse, si possono ridurre i rifiuti, il consumo di energia e le emissioni di gas a effetto serra. Ciò contribuisce a mitigare i cambiamenti climatici e a preservare le risorse naturali.

- **Efficienza delle risorse:** La simbiosi industriale consente di utilizzare in modo più efficiente le risorse disponibili. Attraverso la condivisione di materiali, energia, acqua e altre risorse, si possono ridurre i costi di produzione e ottimizzare l'utilizzo delle risorse non rinnovabili.
- **Competitività aziendale:** L'implementazione di pratiche di simbiosi industriale può migliorare la competitività delle imprese. La riduzione dei costi e l'ottimizzazione delle risorse consentono di migliorare l'efficienza produttiva e di aumentare la redditività aziendale. Inoltre, l'adozione di strategie sostenibili può essere un vantaggio competitivo nel mercato globale.
- **Creazione di valore economico:** La simbiosi industriale può creare nuove opportunità di business e promuovere lo sviluppo economico locale. Attraverso la collaborazione tra le imprese, si possono creare sinergie e nuovi modelli di business basati sullo sfruttamento delle risorse residue. Ciò può generare occupazione, aumentare gli investimenti e promuovere l'innovazione.
- **Responsabilità sociale:** La simbiosi industriale contribuisce alla responsabilità sociale delle imprese, poiché promuove la riduzione dell'impatto ambientale e il miglioramento delle condizioni di vita delle comunità locali. Le imprese che adottano pratiche di simbiosi industriale dimostrano un impegno nei confronti della sostenibilità e del benessere sociale.
- **Politiche e normative:** La simbiosi industriale può essere incoraggiata e supportata da politiche e normative a livello governativo. Molti governi e organizzazioni internazionali promuovono l'adozione di pratiche di economia circolare e di simbiosi industriale come parte delle strategie di sviluppo sostenibile.

Si tratta quindi di una strategia potenzialmente in grado di affrontare alcune delle sfide odierne fondamentali per lo sviluppo di un futuro sostenibile. Nonostante le opportunità offerte dalla simbiosi industriale bisogna tenere conto di possibili barriere che ne impediscono o limitano la corretta implementazione e/o sviluppo. Non sempre le aziende sono disposte a collaborare tra loro, soprattutto se si tratta di aziende in competizione diretta ed inoltre ciò è aggravato dall'elevata complessità del gestire al meglio un coordinamento tra diversi attori.

Le imprese coinvolte nella rete simbiotica possono avere dimensioni e caratteristiche diverse che possono comportare degli squilibri interni. Un ulteriore ostacolo è la complessità normativa presente in alcuni Paesi che complicano i processi e dilatano il tempo necessario alla crescita simbiotica. Infine, per poter valutare i benefici di una potenziale simbiosi industriale è necessario analizzare dettagliatamente gli attori e il flusso

di scambio di materiali previsto, ciò richiede determinate competenze e possibili costi aggiuntivi.

Negli anni i casi di IS sono aumentati in tutto il mondo, sia in paesi in via di sviluppo che in paesi economicamente avanzati. La differenza tra i vari paesi emerge nella varietà di caratteristiche riscontrate nei diversi casi di IS localizzati nel mondo.

Secondo uno studio di (Neves, Godina, Azevedo, & Matias, 2020), la maggior parte delle pubblicazioni sul tema IS riguardano l'Asia, a seguire l'Europa e il Nord-America con rispettivamente 102, 78 e 19 pubblicazioni (*Figura 4*). In particolare, il 70% dei casi pubblicati in Asia riguardano la Cina, che si posiziona come il primo Paese per numero di casi di IS riportate in letteratura. Ciò è dovuto alle politiche e ai piani di sviluppo che la Cina ha implementato nel corso degli anni, per lo più a partire dal 2014, con lo scopo di contrastare l'elevato consumo di energia ed emissioni di gas serra. La Cina ha quindi avuto un ruolo fondamentale per lo sviluppo della IS.

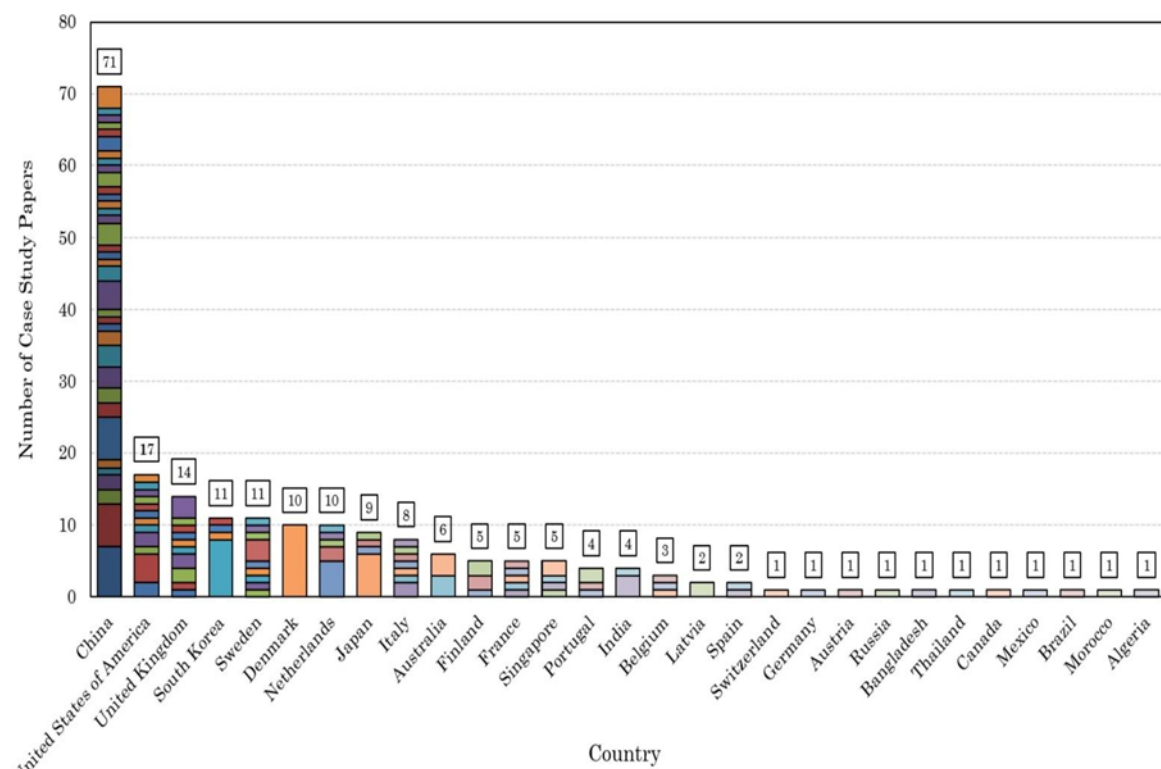


Figura 4- Numero di pubblicazioni per Paese (Fonte: "A comprehensive review of industrial symbiosis" Angela Neves et al. 2020)

1.3. La simbiosi industriale urbana

È possibile estendere il concetto della simbiosi industriale alla rete urbana (UrS), poiché anche la città, che è geograficamente vicina alla zona industriale, condivide con essa gli obiettivi di sostenibilità, come la riduzione del consumo delle risorse, la diminuzione delle emissioni di gas serra e la riduzione dei rifiuti e del costo della gestione di essi. Oltre la metà della popolazione mondiale oggi vive nelle città; tuttavia, sostenere la vita in città comporta irrimediabilmente dei dispendi energetici, che andrebbero individuati e analizzati sul nascere onde evitare inutili sprechi (Habitat, 2011). Rispetto ad altre zone territoriali, infatti, le città sono dotate di una dinamicità che amplifica il consumo delle risorse disponibili e, di conseguenza, anche la produzione di rifiuti e materiali di scarto. La rapida urbanizzazione e il continuo aumento dei livelli di consumo fa sì che sempre più città debbano affrontare la sfida di ritrovarsi «assiedate dai rifiuti». Questo episodio soprattutto si verifica nei paesi in rapido sviluppo (Dong H. , 2018). La Cina, il più grande paese in via di sviluppo, dal 2004 infatti è diventata anche il più grande paese produttore di rifiuti solidi urbani (RSU), con una quantità di rifiuti che ha raggiunto i 228 milioni di tonnellate nel 2018 (Xiao, April 2022).

Il termine «Simbiosi Urbana» è stato usato da alcuni autori riferendosi ad alcune industrie adiacenti all'area urbana, che utilizzavano nei loro processi di produzione degli scarti provenienti dalle città. Successivamente il termine «Simbiosi Industriale e Urbana (UIS)» è comparso in diverse pubblicazioni dove si verificavano delle sinergie tra la simbiosi industriale e la rete urbana. (Van Berkel, 2009) definendo la UIS come «l'utilizzo dei sottoprodotti (rifiuti) delle città (o delle aree urbane) come materie prime alternative o fonti di energia per le operazioni industriali».

Le ricerche scientifiche che hanno per oggetto il caso specifico della simbiosi urbana hanno dimostrato che integrando la parte urbana all'interno del fenomeno della simbiosi industriale si potrebbero ottenere vantaggi importanti che interessano entrambe le parti coinvolte (Yong, 2010). Le interazioni e le sinergie messe in atto attraverso i meccanismi della simbiosi industriale creano benefici economici, ambientali e sociali (si evitano, ad esempio, gli impatti ambientali e si ha al contempo un minore consumo di risorse) realizzando soluzioni in cui tutti gli attori che interagiscono all'interno di questo sistema possono trarre reciproco vantaggio dalle interazioni. (Fraccascia, 2021).

Attraverso la simbiosi urbana le imprese geograficamente vicine alle aree urbane possono ottenere benefici dal riutilizzo dei rifiuti urbani e dalla condivisione delle infrastrutture pubbliche, mentre le amministrazioni comunali traggono vantaggi economici ed ambientali. Lo studio della simbiosi industriale urbana fornisce, quindi, strumenti e conoscenze fondamentali per affrontare le sfide legate all'urbanizzazione, all'efficienza delle risorse, all'inquinamento e al cambiamento climatico. Contribuisce altresì a promuovere un modello di sviluppo urbano sostenibile e a creare città più ecologiche, competitive e abitabili per le generazioni future (Van Berkel, 2009).

Nello sfondo dato dalla simbiosi urbana le aziende economicamente sono più competitive e ottengono il vantaggio dall'accesso a risorse a minor prezzo, evitando i costi di smaltimento e/o ottenendo ricavi dalla vendita dei sottoprodotti. Nella simbiosi urbana i contesti urbani sono tradizionalmente raffigurati come sistemi residenziali che includono principalmente attività di consumo; da una prospettiva di ecologia industriale, ciò implica una varietà limitata delle entità e dei flussi coinvolti e un insieme ancora più limitato di sinergie realizzabili.

Capitolo II

La Simbiosi Urbana Industriale: presentazione dei casi studio

2.1. Materiali e metodi: review della letteratura

Una strategia proposta per risolvere le attuali sfide ambientali è data dall'unione di simbiosi industriale e simbiosi urbana. Questa strategia, infatti, potrebbe potenzialmente ridurre l'inquinamento atmosferico, giovando alla salute dell'ambiente e dell'uomo stesso. Le domande, pertanto, che mi sono posto in merito a ciò è come sarebbe possibile attuare all'interno dello stesso territorio una strategia di simbiosi industriale urbana, quanti casi studio sono presenti in letteratura che affrontano questo tema, dove si concentrano maggiormente questi studi e perché in altre aree non si evince lo stesso interesse, infine quali benefici ambientali ed economici si potrebbero ottenere dallo sviluppo di questa strategia che punta verso un'economia circolare e quali limiti, minacce ed aspetti negativi potrebbero eventualmente manifestarsi. Per attuare la strategia di simbiosi industriale urbana sono necessari metodi di valutazione adeguati in modo da poter quantificare i potenziali benefici ambientali e gli interessi economici; pertanto, è stato tanto doveroso quanto necessario appellarsi ai diversi articoli che si trovano in letteratura.

Per stilare la revisione bibliografica è stato necessario eseguire un metodo articolato nelle seguenti fasi: identificazione dell'oggetto d'indagine e dello scopo, sviluppo di uno schema di revisione, ricerca degli articoli scientifici pertinenti al tema trattato, raccolta dei dati degli studi individuati, sintesi quantitativa e qualitativa dei risultati degli studi, documentando il metodo nel report della revisione.

Nella prima fase della ricerca sono stati pre-esaminati i documenti che includono i concetti di IS, UrS ed economia circolare; analizzato le reti che promuovono IS e/o UrS e partecipano attivamente alla creazione di condizioni favorevoli al loro sviluppo; esaminato progetti o programmi europei basati su tematiche IS e/o UrS.

L'obiettivo della seconda fase è stato quello di scaricare e analizzare i dati disponibili su IS e/o UrS da database scientifici come "Scopus" attraverso opportuni filtri di ricerca.

La metodologia ha utilizzato la seguente procedura: scaricare la versione più recente dei documenti in file PDF dalle loro fonti originali e catalogare gli articoli in base alla lettura dell'abstract. Questa revisione è stata effettuata ricercando ed analizzando studi pertinenti al fenomeno della simbiosi urbana. La ricerca è stata eseguita attraverso dei filtri opportunamente impostati per facilitare l'analisi della letteratura. Le parole chiave usate nella ricerca sono state: "Industrial Symbiosis"; "Urban Symbiosis"; "Urban Area"; "Eco-industrial Park"; "Urban Planning"; "Urban Growth"; "Urban-industrial Symbiosis"; "Urban Sustainability"; "Sustainable Urban Development", scegliendo articoli in lingua inglese attraverso la banca dati di letteratura scientifica SCOPUS. Per la ricerca è stato utilizzato l'operatore booleano "AND" per restringere e limitare la ricerca e "OR" per estendere la ricerca. Di seguito il dettaglio sulla stringa di ricerca usata:

"(TITLE-ABS-KEY (industrial AND symbiosis) AND TITLE-ABS-KEY (urban AND symbiosis)) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Urban Area") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Industrial Symbiosis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Eco-industrial Park") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Urban Planning") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Urban Growth") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Urban-industrial Symbiosis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Urban Sustainability") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Sustainable Urban Development")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))"

I risultati rivelano che il numero di articoli sulla simbiosi industriale è notevolmente aumentato dal 2007 e in questo novero la Cina rappresenta il Paese con il maggior numero di pubblicazioni e casi di simbiosi industriale. I metodi per quantificare gli impatti e analizzare le reti di simbiosi industriale sono stati i più utilizzati. L'analisi dei casi di studio pubblicati ha consentito una panoramica della simbiosi industriale nel mondo e ha mostrato che il potenziale di applicazione è enorme, sia nei paesi sviluppati che in quelli con economie in via di sviluppo, e sebbene le attività economiche più presenti nelle sinergie siano associate al settore manifatturiero, le possibilità di simbiosi industriale non si limitano solo a queste attività. Anche la simbiosi tra industria e territorio presenta un grande potenziale di sviluppo con numerosi vantaggi per entrambe le parti.

Numerosi casi di studio hanno verificato i benefici ambientali ed economici della simbiosi industriale urbana. Gli studi illuminanti includevano il già citato caso di studio su Kalundborg, Danimarca (Jacobsen, 2006); Porto Rico, Stati Uniti (Chertow e Lombardi,

2005); “progetto di eco-città” in Giappone (Berkel et al., 2009) e “progetto pilota di economia circolare” in Cina (Zhang et al., 2010). Dal punto di vista degli approcci analitici, la metodologia prevalente sono stati i metodi di valutazione ambientale, basati principalmente sull’analisi del flusso di materiali (Berkel et al., 2009) e sulla valutazione del ciclo di vita (LCA).

L’analisi dei casi presenti in letteratura è importante poiché permette di apprendere quali siano le condizioni favorevoli all’implementazione della simbiosi urbana. Si possono identificare le *best practice*, i successi e le principali barriere riscontrate. Analizzare la rete simbiotica presente nei casi reali, inoltre, fornisce la possibilità di convalidare e/o sviluppare teorie e modelli matematici in grado di studiarne il funzionamento e ottimizzare i processi (Yong, 2010). Ad oggi, ad esempio, ci sono diversi studi incentrati sulla valutazione energetica del riciclaggio dei rifiuti (Giannetti et al., 2013, Song et al., 2013, Yuan et al., 2011, Zhang et al., 2011a).

Nel capitolo successivo si presentano i casi studio di simbiosi urbana applicata alla città presenti in letteratura suddivisi per area geografica al fine di comprendere e confrontare i principali risultati di queste esperienze e prevedere i possibili risvolti futuri.

Il seguente elaborato finale si propone di analizzare i casi studio utilizzando come criteri di confronto e comparazione i seguenti aspetti:

- Area geografica
- Metodo di valutazione delle prestazioni
- Punti di forza e di debolezza

Una volta identificati i criteri per ogni caso studio, nel terzo capitolo si utilizzerà lo strumento dell’analisi SWOT per ottenere una visione d’insieme della strategia di simbiosi urbana industriale sulla base della letteratura revisionata in modo tale da poterne trarre delle conclusioni.

Gli articoli presenti in letteratura con focus su valutazioni ed applicazioni a casi reali in contesi di simbiosi industria - città, e quindi, selezionati per il confronto sono 12 così suddivisi per zona geografica (Tabella 1):

Asia	8
Europa	3
Africa	1
Totale articoli	12

Tabella 1—Numero articoli per continente

2.2. Asia

La maggior parte degli articoli estratti riportano studi e analisi riguardanti la simbiosi industriale urbana applicata a città asiatiche. In particolare, sono stati trovati due articoli riferiti all'importante parco eco industriale di Kawasaki in Giappone, quattro articoli relativi a città cinesi altamente industrializzate, uno studio su Rubber City in Malesia ed uno su Ulsan in Corea del Sud (Tabella 2).

Kawasaki	Giappone
Kawasaki	Giappone
Liuzhou e Jinan	Cina
Guiyang	Cina
Midong	Cina
Rubber City	Malesia
Yongcheng	Cina
Ulsan	Corea del Sud

Tabella 2 - Articoli su città asiatiche

2.2.1 Il caso Kawasaki

CONTESTO	Kawasaki (Giappone)
OBIETTIVO	Creazione e gestione di impianti di riciclaggio per trattare i rifiuti solidi urbani allo scopo di ottenere benefici economici e ambientali.
METODOLOGIA	LCA
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Riduce le emissioni di carbonio: UrS riduce le emissioni di carbonio diminuendo la necessità di trasporto, consumo di energia e smaltimento dei rifiuti. • Migliora l'efficienza delle risorse: UrS migliora l'efficienza delle risorse riutilizzando materiali di scarto e sottoprodotti. • Riduce i costi: UrS riduce i costi per le industrie e le aree urbane, riducendo la necessità di risorse vergini e i costi di smaltimento, creando nuovi posti di lavoro nel settore della gestione dei rifiuti e promuovendo l'innovazione nelle tecnologie di termovalorizzazione e di riciclaggio. • Promuove la sostenibilità: UrS fornisce un approccio sostenibile alla gestione dei rifiuti solidi urbani, riducendo la dipendenza dalle discariche e promuovendo il recupero e il riutilizzo delle risorse.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Crescente interesse per la sostenibilità: c'è un crescente interesse per la sostenibilità tra imprese, governi e consumatori, il che potrebbe creare opportunità per una più ampia adozione di UrS. • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici, come le reti di sensori e l'analisi dei dati, possono identificare e implementare opportunità di simbiosi. • Incentivi governativi: i governi possono fornire incentivi, come agevolazioni fiscali e sussidi, per incoraggiare le imprese ad adottare pratiche UrS.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Richiede il sostegno del governo: UrS richiede il sostegno del governo per superare barriere quali i costi di investimento iniziale e gli ostacoli normativi. • Richiede costi di investimento iniziali: l'implementazione dell'UrS spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture, come impianti di smistamento e trattamento dei rifiuti e reti di trasporto. • Richiede la partecipazione dell'industria: UrS richiede la partecipazione attiva delle industrie per identificare e implementare opportunità di simbiosi. • Richiede il coinvolgimento della comunità: UrS richiede il coinvolgimento della comunità per garantire che le iniziative di simbiosi siano in linea con i bisogni della comunità.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Recessione economica: una recessione economica potrebbe rendere più difficile per le imprese investire in iniziative UrS. • Cambiamenti nelle normative governative: i cambiamenti nelle normative governative rendono più difficile o costosa l'attuazione delle iniziative UrS.

	<ul style="list-style-type: none"> • Modifica dei modelli di generazione dei rifiuti: i cambiamenti nella composizione dei rifiuti, come l'aumento delle quantità di materiali pericolosi o difficili da riciclare, possono rappresentare sfide per l'implementazione dell'UrS • Mancanza di consapevolezza pubblica: la mancanza di consapevolezza pubblica nei confronti dell'UrS potrebbe rendere difficile ottenere sostegno per l'attuazione.
--	--

La città di Kawasaki, in Giappone, ha ottenuto significative riduzioni delle emissioni di carbonio attraverso la simbiosi industriale e urbana (IS/URS). Kawasaki ha una lunga storia di IS/URS, che risale agli anni '70. Negli ultimi anni, la città si è concentrata sullo sviluppo di iniziative IS/URS in settori chiave, come l'acciaio, la chimica e l'elettronica. Il Giappone, infatti, è stato uno dei paesi che ha investito nella creazione di simbiosi industriale e industriale e urbana, creando il Programma Eco-Città giapponese applicato a ventisei città. Avviato nel 1997, l'obiettivo principale del progetto era quello di utilizzare i rifiuti industriali, urbani e commerciali in applicazioni industriali ed è nato dalla necessità di rilanciare l'economia e ridurre lo smaltimento dei rifiuti (Van Berkel, 2009).

Una delle città incluse in questo programma è stata la città di Kawasaki, la cui approvazione formale dello status di città ecologica è avvenuta al momento del lancio del programma nel 1997 (Van Berkel, 2009).

Alcune delle iniziative IS/URS che sono state implementate a Kawasaki includono:

- Un programma di scambio di rifiuti in cui le aziende possono scambiare i propri materiali di scarto con altre aziende che possono utilizzarli come input.
- Un programma di riciclaggio delle acque reflue in cui le acque reflue di un'azienda vengono utilizzate come acqua di raffreddamento per un'altra azienda.
- Un programma energetico da biomassa in cui le aziende generano elettricità dalla biomassa di scarto.
- Un sistema di teleriscaldamento e teleraffreddamento che fornisce riscaldamento e raffrescamento agli edifici nel centro della città.

Queste iniziative hanno portato a significative riduzioni delle emissioni di carbonio. Ad esempio, il programma di scambio dei rifiuti ha ridotto la produzione di rifiuti del 50% e le emissioni di carbonio del 20%. Il programma di riciclaggio delle acque reflue ha ridotto il consumo di acqua del 30% e le emissioni di carbonio del 10%. Il programma energetico basato sulla biomassa ha ridotto il consumo di combustibili fossili del 20% e le emissioni di carbonio del 15%.

Con la partecipazione di nove aziende, centri di raccolta e trattamento dei rifiuti urbani e un gruppo di società di gestione dei rifiuti industriali e commerciali, è stato possibile utilizzare i rifiuti sia come metodi alternativi di combustibili sia come materie prime. Oltre a questo vantaggio ambientale, grazie a queste sinergie ne sono stati ottenuti altri, come il risparmio di risorse e materie prime, la riduzione delle emissioni di carbonio e i guadagni economici (Dong, et al., 2014).

La città di Kawasaki appartiene alla Prefettura di Kanagawa, in Giappone, si trova sulla sponda occidentale della baia di Tokyo, a metà strada tra Tokyo e Yokohama, rispettivamente la più grande e la seconda città più grande del Giappone (Figura 5).



Figura 5 - Posizione di Kawasaki, Giappone (Fonte: Y. Geng et al. / Journal of Cleaner Production 18 (2010))

Secondo uno studio effettuato da Yong et al. il metodo di smaltimento dei rifiuti maggiormente utilizzato in Asia è rappresentato dall'incenerimento. Questa tecnica non permette di valorizzare appieno il potenziale dei RSU e, inoltre, gli impianti di incenerimento sono spesso visti dalla comunità urbana come fonti di inquinamento e, conseguentemente, vengono collocati in zone geograficamente distanti dal centro urbano, aumentando le inefficienze dovute al trasporto (Yong, 2010). Il governo giapponese, considerando queste ragioni, ha deciso di incentivare l'utilizzo da parte delle aziende locali dei RSU come risorsa per la produzione, adottando, quindi, strategie di simbiosi. Gli autori hanno analizzato il caso studio di Kawasaki con lo scopo di fornire una valutazione dei sistemi innovativi di gestione dei RSU da implementare nelle città giapponesi.

Nel 2007 la città di Kawasaki è citata come la nona città del Giappone per popolazione con un totale di 1,37 milioni di persone e con una superficie totale di 144,35 km². Secondo i

dati dell'amministrazione di Kawasaki il volume totale di RSU gestito nel 2006 è pari a 490.253 tonnellate.

Nel 2010, circa l'89,8% dei RSU viene smaltito tramite quattro inceneritori. Più del 60% del materiale incenerito a secco è composto da carta e da plastica. Gli altri rifiuti come metalli, vetro, e PET vengono stoccati e riciclati dall'amministrazione cittadina. L'obiettivo dello studio è quindi quello di trovare una soluzione al progressivo riempimento della capacità delle discariche e contemporaneamente diminuire le emissioni di gas inquinanti (Yong, 2010).

È stato anche studiato, inoltre, un metodo di gestione integrato dei RSU con le industrie locali attraverso una specifica pianificazione e coordinamento delle attività. Ci sono diverse relazioni tra la città e le industrie locali, ad esempio i metalli del centro di raccolta urbano vengono forniti all'industria siderurgica ed invece l'industria produttrice di cemento riceve dalla città le scorie dell'altoforno e i fanghi di depurazione per le proprie attività produttive. Il metodo utilizzato dagli autori del caso studio Kawasaki per valutare le prestazioni della simbiosi è il "Life Cycle Assessment (LCA)". Secondo la Società di Tossicologia e Chimica Ambientale, il metodo LCA comprende l'analisi dell'intero ciclo di vita del prodotto, del processo o dell'attività, includendo l'estrazione e la produzione delle materie prime, la manifattura, il trasporto e la distribuzione, l'uso/riuso, il riciclo e lo smaltimento finale. (Geng, Fujita, & Chen, 2010) hanno strutturato il modello LCA analizzando i seguenti aspetti della simbiosi urbana:

1. Processo di riciclaggio, dalla raccolta e trasporto dei rifiuti fino al pretrattamento
2. Processo di produzione attraverso la simbiosi urbana
3. Il valore ambientale dei prodotti sostituiti
4. L'impatto medio del trattamento e dello smaltimento dei rifiuti nell'ipotesi di non riciclo.

La quantità presa in analisi riguarda l'ammontare di rifiuti di carta, plastica per imballaggi e rifiuti organici provenienti dal settore commerciale della città di Kawasaki. Le categorie, invece, di valutazione analizzate riguardano le emissioni di gas serra, la riduzione delle discariche e dei costi. Inizialmente sono stati raccolti i dati intervistando direttamente le industrie locali, successivamente i dati sono stati categorizzati in un database e infine sono stati ipotizzati quattro scenari ognuno dei quali riportava determinati metodi di riciclaggio (Yong, 2010). Dai dati raccolti sono emersi cinque scenari differenti:

- Lo scenario zero si riferisce al processo base che non prevede alcun tipo di riciclaggio o riuso, ma solo l'incenerimento dei rifiuti misti.

- Lo scenario uno prevede che i rifiuti di carta vengano riciclati e trasformati in carta igienica dall'azienda Corelex Papers. Si ipotizza, a tal proposito, la costruzione di due nuovi impianti di pretrattamento, che sono necessari alla separazione e compattazione della carta.
- Lo scenario due prevede che gli imballi di plastica di scarto vengano riciclati dall'azienda JFE e utilizzati per il processo di produzione dell'acciaio. Anche in questo scenario è necessario ipotizzare la costruzione di due impianti di pretrattamento.
- Lo scenario tre prevede che i rifiuti organici provenienti dal distretto commerciale cittadino siano riciclati da un impianto di bio-gas locale e i residui vengano utilizzati nel processo di produzione del cemento.
- Lo scenario quattro infine prevede una combinazione di tutte e tre le opzioni di riciclo utilizzate dagli scenari precedenti.
- Il livello di riciclaggio ipotizzato per eseguire l'analisi è stato fissato al 62% per la carta, 69% per la plastica e 30% per i rifiuti organici. Gli autori dello studio hanno fissato questi parametri prendendo come riferimento gli obiettivi ambientali forniti dal governo giapponese. Nella Figura 7 che segue sono illustrati i processi relativi ai possibili scenari ipotizzati in precedenza.

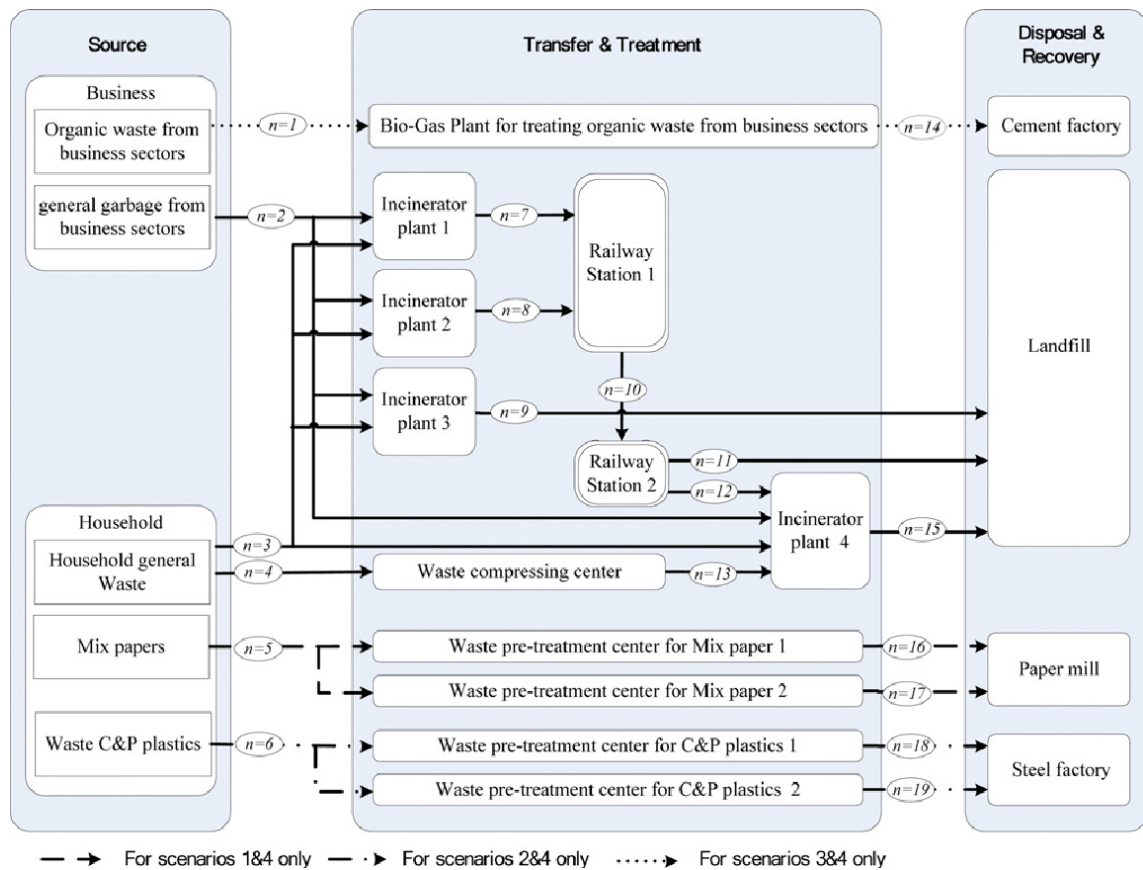


Figura 6- Mappa dei flussi per scenario (Fonte: Y. Geng et al. / Journal of Cleaner Production 18 (2010))

Per il calcolo delle emissioni di CO₂ è stata utilizzata la seguente formula:

$$Q_i = QT_i + QC_i + QO_i - QSub_i$$

Equazione 1 - Calcolo emissioni CO₂

- i : indice dello scenario ($i=0,1,2,3,4$).
- QT : Emissioni di CO₂ provenienti dalla raccolta dei rifiuti e dal loro trasporto. Per il calcolo di questa componente è stato considerato il percorso più breve basandosi sulla mappa di Kawasaki e preferendo l'utilizzo della linea ferroviaria dove possibile.
- QC : Emissioni di CO₂ provenienti dalla costruzione di nuovi impianti per il trattamento dei rifiuti. In particolare, ci si riferisce a due centri per il pretrattamento della carta, due centri per il pretrattamento della plastica e un impianto di bio-gas. Le emissioni sono state stimate sulla base della scala delle strutture da costruire utilizzando dei valori medi.

- QO: Emissioni di CO₂ provenienti dagli impianti di trattamento dei rifiuti. I valori sono stati stimati in base alle performance di strutture già in funzione, interviste ai fornitori e ricerca in letteratura.
- QSub: Riduzione delle emissioni di CO₂ dovute alla sostituzione delle materie prime. La cellulosa è sostituita dai rifiuti di carta, il combustibile “coke” è sostituito dai rifiuti plastici, il calcare e l’argilla sono sostituiti dai residui dell’impianto di bio-gas.

In Tabella 3 i valori trovati:

	Scenario 0 [t/yr]	Scenario 1 [t/yr]	Scenario 2 [t/yr]	Scenario 3 [t/yr]	Scenario 4 [t/yr]
QT	1.651	1.810	1.937	1.792	2.225
QC	0	104	462	295	863
QO	112.789	97.025	51.912	95.526	53.331
QSub	0	-126,2	10.731	282	108.887
Q	114.441	99.067	43.582	97.332	45.532

Tabella 3- Emissioni di CO₂ per scenario (Fonte: Y. Geng et al. / Journal of Cleaner Production 18 (2010))

In modo analogo è stata utilizzata la seguente formula per il calcolo dei costi:

$$TC_i = CT_i + CC_i + CO_i + CM_i$$

Equazione 2 - Calcolo costi

- i: indice dello scenario (i=0,1,2,3,4).
- CT: Costi dovuti alla raccolta dei rifiuti e dal loro trasporto.
- CC: Costi per la costruzione degli impianti.
- CO: Costi operativi per il normale funzionamento degli impianti.
- CM: Costi di commissione.

In Tabella 4 sono riportati i costi per scenario:

	Scenario 0 [kJPY/yr]	Scenario 1 [kJPY/yr]	Scenario 2 [kJPY/yr]	Scenario 3 [kJPY/yr]	Scenario 4 [kJPY/yr]
CT	2,971,686	3,059,587	3,297,318	3,118,575	3,558,135
CC	842,348	823,624	911,181	879,066	929,284
CO	5,036,782	4,930,185	5,200,264	4,936,172	5,370,691
CM	0	105,205	62,912	50,903	219,020
TC [mJPY/yr]	8851	8919	9472	8985	10,077

Tabella 4- Costi per scenario (Fonte: Y. Geng et al. / Journal of Cleaner Production 18 (2010))

I risultati riportati in Tabella 4 mostrano che l'applicazione della simbiosi industriale nel caso Kawasaki comporta un abbattimento delle emissioni di CO₂. Gli scenari migliori sono il due e il quattro perché il riciclo della plastica ha un alto impatto sulla riduzione totale di emissioni. Alcune delle lezioni chiave apprese dal programma IS/URS di Kawasaki:

- La leadership del governo è essenziale: il governo Kawasaki ha svolto un ruolo chiave nel promuovere e sostenere le iniziative dell'IS e degli Stati Uniti.
- L'impegno del settore è fondamentale: le aziende devono essere disposte a collaborare e condividere informazioni affinché IS/URS abbiano successo.
- È necessario un impegno a lungo termine: lo sviluppo e l'attuazione delle iniziative IS/URS richiedono tempo e impegno.

Nel complesso, il programma IS/URS di Kawasaki è un esempio riuscito di come la simbiosi industriale e urbana possa essere utilizzata per ottenere riduzioni delle emissioni di carbonio e altri vantaggi in termini di sostenibilità.

Un ulteriore studio sul caso di Kawasaki è stato condotto nel 2013 da Dong (Dong, 2013) per valutare i benefici ambientali di una simbiosi industriale urbana usando come riferimento dei dati risalenti al 2009. È stato applicato un metodo ibrido basato sul "lifecycle" suddividendo l'analisi in sei parti:

1. Carbon footprint da consumo energetico diretto
2. Carbon footprint dei processi industriali
3. Carbon footprint dei materiali di input
4. Carbon footprint da ammortamento di attrezzature e edifici
5. Carbon footprint da consumo di elettricità e calore indiretto
6. Carbon footprint da trattamento dei rifiuti

Il principale vantaggio di questa suddivisione è quello di poter fare una valutazione dell'impatto ambientale su tutto il ciclo di vita del processo e ottenere dei risultati ben dettagliati e, quindi, facilmente comprensibili. Anche in questo caso sono stati presi in considerazione quattro scenari di simbiosi che fanno però riferimento rispettivamente al riuso-riciclo di rifiuti d'acciaio, scorie di altoforno, rifiuti di plastica e rifiuti di carta.

L'utilizzo di rifiuti d'acciaio riduce il fabbisogno di acciaio grezzo e quindi contribuisce a diminuire le emissioni di gas inquinanti. Le scorie di altoforno riducono notevolmente la produzione clinker (componente per la produzione del cemento) e diminuisce anche le emissioni indirette dei materiali necessari per la produzione del clinker stesso. I rifiuti di plastica vengono utilizzati per sostituire il coke nell'industria siderurgica e/o il carbone

nell'industria del cemento riducendo sia emissioni derivanti il consumo di energia e sia emissioni derivanti dalla produzione di coke e carbone. L'utilizzo dei rifiuti di carta per produrre carta riciclata diminuisce il consumo di materie prime come il legno e le emissioni dirette del processo di lavorazione.

Per promuovere un piano di simbiosi industriale, dal punto di vista economico, bisogna sostenere un aumento dei costi nel breve periodo, dovuti alla gestione del programma di raccolta differenziata e la costruzione degli impianti necessari al trattamento dei rifiuti. Per la città di Kawasaki si è rivelato conveniente investire nel progetto di simbiosi industriale urbana per ottenere ulteriori benefici ambientali come la conservazione di risorse non rinnovabili e il risparmio di spazio territoriale (Yong, 2010). La simbiosi industriale urbana permetterebbe di raggiungere risultati positivi in termini di società ed ambiente.

Lo studio dimostra che attraverso l'applicazione di simbiosi industriale urbana è possibile ridurre potenzialmente la "carbon footprint" di 2,76 Mt CO₂ nel campo dell'industria siderurgica, di 1,16 Mt CO₂ nell'industria del cemento e di 0,34 Mt CO₂ nell'industria della carta.

In **Tabella 5** e in **Tabella 6** i risultati dello studio.

	Con simbiosi	Senza simbiosi	Delta
Carbon footprint total [Mt CO ₂]	26,66	30,92	13,77%

Tabella 5- Confronto carbon footprint con e senza simbiosi (H. Dong et al. / Energy 64 (2014) 277-286)

IS/UIS scenario	Quantità di materiale riciclato [t]	Riduzione di CO ₂ [kt CO ₂]	Delta
Acciaio da rottamare	394,000	2481.75	58.28%
Scorie di altoforno	569,924	1146.48	26.92%
Rifiuti plastici	84,000	291.28	6.84%
Rifiuti di carta	77,000	338.75	7.96%

Tabella 6- Confronto carbon footprint per tipologia di rifiuto (H. Dong et al. / Energy 64 (2014) 277-286)

I risultati mostrano che la simbiosi industriale urbana rappresenta una soluzione efficace per abbattere le emissioni di CO₂. In particolare, si evidenzia il fatto che le industrie siderurgiche e del cemento hanno delle grandi capacità di assorbire i rifiuti industriali e urbani e quindi sarebbero dei partner ideali per lo sviluppo di reti simbiotiche.

2.2.2 Il caso di Liuzhou e Jinan

CONTESTO	Liuzhou e Jinan (Cina)
OBIETTIVO	Lo studio ha analizzato e confrontato i benefici dei casi studio dell'industria siderurgica cinese dovuti allo scambio di materiali attraverso IS.
METODOLOGIA	MFA
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Benefici ambientali: la simbiosi industriale (IS) può ridurre significativamente l'inquinamento ambientale e il consumo di risorse nell'industria del ferro/acciaio. Ad esempio, l'IS può essere utilizzato per riutilizzare il calore di scarto, l'acqua e i materiali, riducendo così le emissioni di gas serra, l'inquinamento dell'aria e dell'acqua e la produzione di rifiuti solidi. • Benefici economici: l'IS può generare benefici economici per le aziende siderurgiche riducendo i costi di smaltimento dei rifiuti, aumentando le entrate derivanti dalla vendita dei sottoprodotti di scarto e migliorando l'efficienza energetica. • Sostenibilità: l'IS può promuovere la sostenibilità nel settore del ferro/acciaio riducendo la dipendenza dalle risorse vergini e promuovendo il recupero e il riutilizzo delle risorse. • Benefici sociali: l'IS può migliorare la salute pubblica e la qualità della vita riducendo l'inquinamento e creando un ambiente più sostenibile e vivibile.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Politiche e incentivi governativi: le politiche governative che promuovono l'IS, come agevolazioni fiscali, sussidi e regolamenti, possono incoraggiare una più ampia adozione delle pratiche IS nel settore del ferro e dell'acciaio. • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici nelle tecnologie di smistamento, trattamento e riciclaggio dei rifiuti possono rendere l'IS più efficiente ed economica. • Coinvolgimento pubblico ed educazione: l'impegno pubblico e le campagne educative possono aumentare la consapevolezza sui vantaggi dell'IS e affrontare le preoccupazioni. • Integrazione con i principi dell'economia circolare: l'IS può essere efficacemente integrato con i principi dell'economia circolare per ridurre ulteriormente gli sprechi, promuovere il recupero delle risorse e creare un'industria siderurgica più sostenibile ed efficiente sotto il profilo delle risorse.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di investimento iniziali: l'implementazione dell'IS spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture e tecnologia. • Complessità di implementazione: l'IS implica un coordinamento e una collaborazione complessi tra le varie parti interessate, tra cui aziende siderurgiche, altre industrie e agenzie governative. • Mancanza di consapevolezza e competenza: vi è una mancanza di consapevolezza e competenza sui principi e sulle pratiche IS tra molte aziende del settore siderurgico e altre parti interessate.

	<ul style="list-style-type: none"> • Ostacoli normativi: alcune normative governative potrebbero rendere difficile l'attuazione delle iniziative IS.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Recessioni economiche: le recessioni economiche possono influenzare la volontà delle aziende siderurgiche e dei governi di investire in iniziative IS a causa di vincoli di bilancio. • Cambiamenti delle condizioni di mercato: i cambiamenti nelle condizioni di mercato, come le fluttuazioni dei prezzi delle materie prime e dell'energia, possono rendere l'IS meno attraente dal punto di vista economico. • Concorrenza di altri settori: anche altri settori, come quello chimico e petrolchimico, potrebbero essere interessati all'implementazione dell'IS, il che potrebbe creare concorrenza per i materiali di scarto e i sottoprodotti.

L'economia circolare cinese mira a costruire una modalità di sviluppo globale dell'economia circolare. In questa circostanza, lo sviluppo armonioso tra industrializzazione, urbanizzazione e crescita economica rappresenta una sfida cruciale (Dong et al., 2013a, Fujii et al., 2016). La simbiosi urbana esplora ulteriormente le sinergie nelle aree urbane e industriali, attraverso l'utilizzo dei rifiuti solidi urbani nelle aree industriali e, nel frattempo, applicare le industrie come fornitori di risorse viventi, ad esempio calore di scarto e acqua calda. In una prospettiva spaziale, la simbiosi industriale urbana ottimizza la rete metabolica regionale attraverso l'allocazione di risorse e infrastrutture, in modo da ridurre il consumo di risorse e le emissioni e coordinare l'interazione tra industrie e sviluppo urbano (Dong et al., 2013a,).

L'industria del ferro e dell'acciaio, grazie alle caratteristiche del flusso di energia e di materiali, rappresenta un vantaggio unico nella creazione della simbiosi industriale, formando al contempo benefici ambientali ed economici (Destrochers, 2008).

L'industria siderurgica rappresenta un settore fondamentale per l'economia della Cina ed è in rapida crescita. La produzione di acciaio in Cina è cresciuta da 95,36 milioni di tonnellate nel 1995 a 567,84 milioni di tonnellate nel 2009 (Figura 7), superando persino il Giappone e raggiungendo al 2021 ben 1032,8 milioni di tonnellate di produzione classificandosi al primo posto mondiale (Figura 8). Dato che la produzione d'acciaio è un processo altamente energivoro, è stato rilevato un aumento delle emissioni di gas inquinanti direttamente correlato all'aumento di scala dell'industria siderurgica (Figura 9). È quindi importante promuovere strategie di efficienza e riduzione degli sprechi per permettere alla Cina uno sviluppo sostenibile a lungo termine.

La città di Liuzhou rappresenta il centro industriale della provincia di Guangxi e ha registrato nel 2009 una produzione di acciaio annuale di 8,18 milioni di tonnellate con un consumo energetico di 6,32 milioni tce e quindi un tasso di 624 kgce per tonnellata di acciaio prodotto.

Inizialmente “Liuzhou iron/steel integrated corporation (LIS)” fa parte di un parco eco-industriale che attua delle strategie di conservazione dell’energia e tecnologie di riciclo/riuso dei rifiuti. Ciò permette a LIS di ottenere una riduzione dei consumi energetici dal 920 kgce/t al 624 kgce/t ed inoltre un alto tasso di riuso dell’acqua. Al 2009, secondo L. Dong et al. “tutti gli indicatori erano in un livello di vantaggio rispetto alle altre aziende in Cina”. Jinan è la capitale di Shandong e grazie alla “Jinan iron/steel group corporation (JIS)”, nel 2008, è stato il settimo produttore di acciaio in Cina e l’undicesimo al mondo con una produzione di oltre 10 milioni di tonnellate di acciaio.

Dal 1995 al 2009 è stato possibile identificare tre stadi di sviluppo di simbiosi in JIS. Inizialmente è stata prevista la riduzione dei consumi di energia e materiali migliorando la qualità delle materie prime. In seguito, sono state adottate delle tecniche di produzione green attraverso l’ottimizzazione dei parametri di produzione e utilizzando tecnologie più efficienti come la tecnica “dry coke quenching” che permette il riutilizzo del calore del coke e la “Combined Cycle Power Plant” per la generazione di energia. Infine, dal 2005, sono stati fatti importanti miglioramenti della rete simbiotica. A differenza del caso precedente di Liuzhou, si è avviata una rete avanzata di scambio di materiale ed energia verso il sistema urbano municipale.

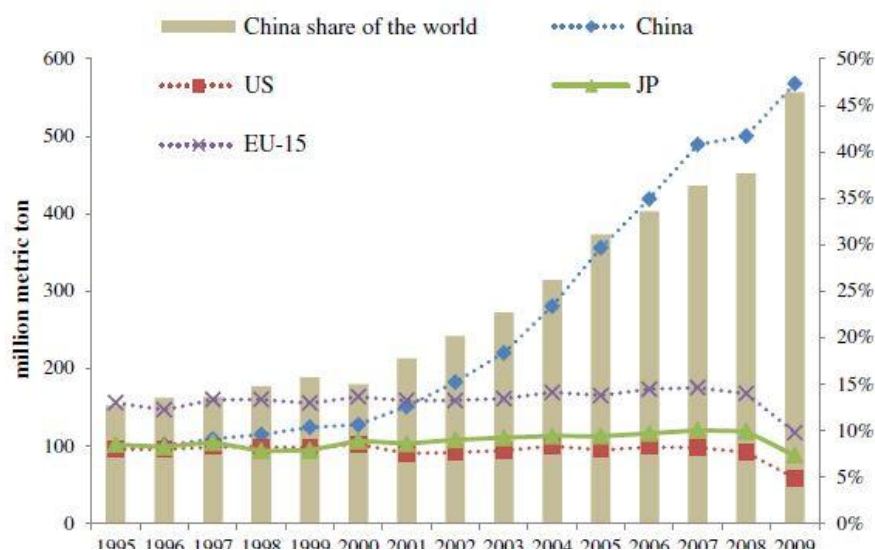


Figura 7- Crescita della produzione cinese di acciaio (World Steel Association, Steel Statistical Yearbook)



Figura 8- I maggiori Stati produttori al mondo (Fonte: expometals.net)

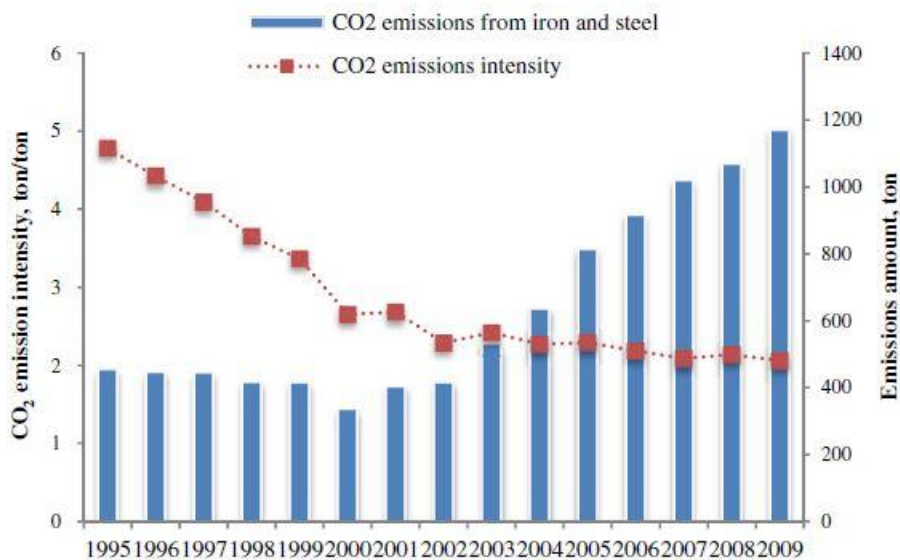


Figura 9- Emissioni di CO2 dell'industria siderurgica cinese (Fonte: L. Dong et al. / Journal of Cleaner Production 59 (2013) 226-238)

L'IS è stata promossa come efficace strumento in grado di ridurre le emissioni ed aumentare il risparmio energetico e il riciclo/riuso dei materiali. Nel 2009 la Cina ha ufficialmente integrato tali strategie nel "Circular Economy Promotion Law of the People's Republic of China".

L'industria del ferro e dell'acciaio, come evidenziato dal caso Kawasaki, è particolarmente adatta a partecipare a reti di simbiosi per via del considerevole eccesso di energia e materiali di scarto provenienti dal processo di produzione utilizzabili come input per altre industrie manifatturiere. I forni necessari alla lavorazione dell'acciaio, inoltre, spesso sono compatibili per trattamenti di diversi materiali provenienti dalla rete simbiotica e le aziende

più grandi hanno anche il potenziale per collegarsi alla comunità urbana locale tramite l'assorbimento di rifiuti e la fornitura di energia in eccesso ai residenti.

Lo studio condotto da L. Dong et al. nel 2013 confronta il caso studio di Liuzhou e quello di Jinan, in quanto rappresentano due diversi stadi di sviluppo di simbiosi industriale. In Liuzhou si configura come un classico modello, poiché esiste soltanto uno scambio di rifiuti solidi tra diverse industrie, mentre nel caso di Jinan esistono delle reti tra l'industria e la comunità urbana. È stata effettuata una valutazione quantitativa sugli scambi di materiali all'interno della simbiosi al fine di individuarne i benefici. La valutazione tiene conto degli aspetti ambientali ed economici con l'utilizzo di due indicatori appositamente progettati. In Figura 10 è mostrato lo schema del sistema di simbiosi incentrato sul polo siderurgico e la comunità locale. L'impianto siderurgico scambia materiali ed energia anche con altri impianti che a loro volta sono collegati alla zona residenziale.

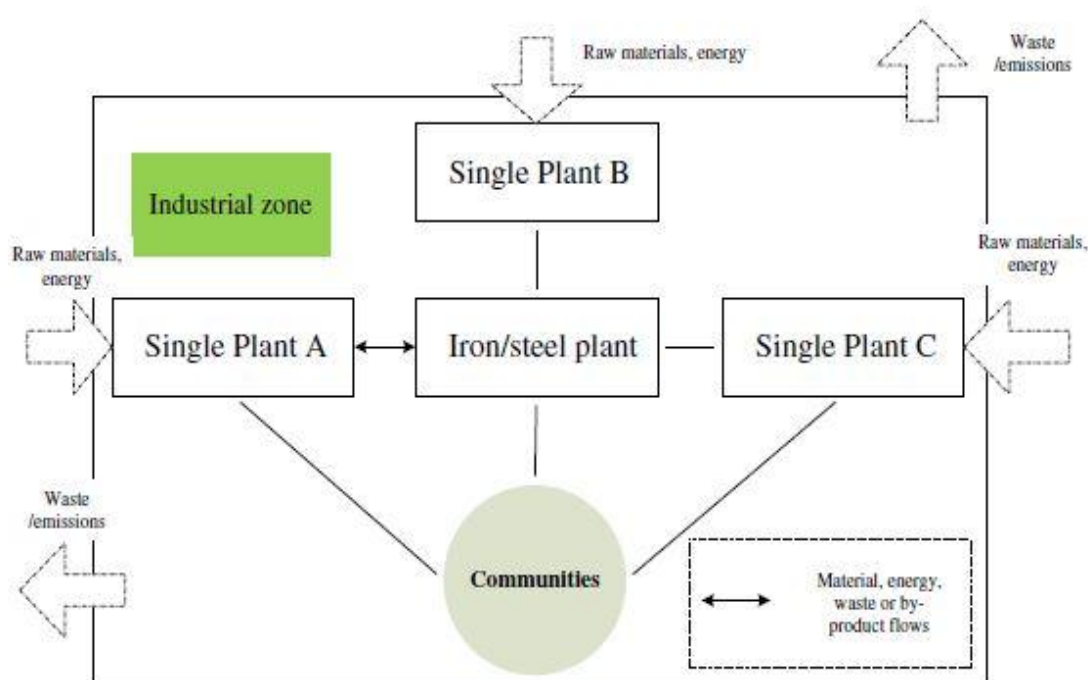


Figura 10- Modello di simbiosi (Fonte: L. Dong et al. / Journal of Cleaner Production 59 (2013) 226-238)

Sulla base dello schema in Figura 13 è stato analizzato il flusso di scambio di materiali ed energia nelle due ipotesi di scenario con simbiosi e scenario senza simbiosi. Gli autori dello studio non hanno volutamente considerato i costi di costruzione degli impianti poiché lo scopo dell'analisi è identificare i benefici diretti delle attività simbiotiche. Per quanto riguarda l'aspetto ambientale è stato definito il seguente indicatore "environmental gains":

$$\text{EnvG}_{ij} = R_{ij} \text{ or } W_{ij}$$

$$R_{ij} = S_j M_{ij}$$

- EnvG: indica il beneficio ambientale per l'azienda i-esima.
- R_{ij} : indica il risparmio di risorse.
- W_{ij} : indica la quantità prodotta di rifiuti evitata.
- j: indica il tipo di risorsa o rifiuto.
- S_j : indica il tasso di sostituzione della risorsa.
- M_{ij} : indica la quantità di materiale riusato/riciclato usato.

Un secondo indicatore viene definito per l'analisi del beneficio di tipo economico:

$$\text{EcoG}_i = P_{ij} \times R_{ij} \text{ (or } W_{ij})$$

- EcoG: indica il beneficio economico.
- P_{ij} : indica il prezzo della risorsa o rifiuto j (il prezzo del rifiuto è dato dal costo di smaltimento o dal prezzo del mercato).

I dati utilizzati per effettuare l'analisi provengono da delle indagini svolte tra il 2009 e il 2011 attraverso l'utilizzo di strumenti come questionari, interviste e report. Nella città di Liuzhou lo stato iniziale della simbiosi industriale è rappresentato in Figura 11.

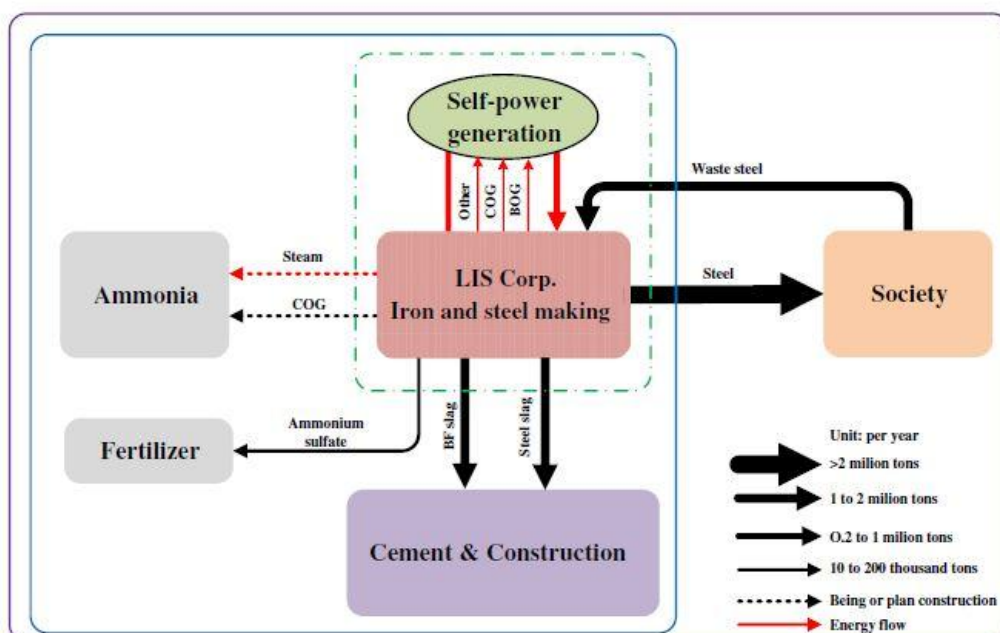


Figura 11- Rete simbiotica in LIS (Fonte: L. Dong et al. / Journal of Cleaner Production 59 (2013) 226/238)

Sono state identificate tre principali attività simbiotiche di scambio di materiali o energia:

- Scorie di altoforno riutilizzate per la produzione di polveri.
- Scorie di altoforno e acciaio utili alla produzione dell'industria del cemento e delle costruzioni.
- Sottoprodotti provenienti dal processo di desolforazione per la produzione di fertilizzanti.

È in fase di sviluppo, inoltre, una nuova rete di scambio di gas da altoforno e vapore verso un'industria chimica per la produzione di ammoniacca. Al momento esiste solo una piccola connessione con la comunità urbana. Analizzando la rete simbiotica sono stati valutati i benefici ambientali ed economici.

In **Tabella 7** i risultati dello studio.

Attività di simbiosi	Risorsa/rifiuto scambiato	Volume	Attori	EnvG	EcoG
Produzione di polveri da scorie	Scorie da altoforno	1,2 Mt/y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. cemento	Risparmio di energia 136 M KWh/y Riduzione stoccaggio scorie 1,2 Mt/y	Ricavo dalle vendite 246 MCNY/y (35,96 M USD) Riduzione dei costi 111,04 MCNY/y (16,23 MUSD)
Sostituto del cemento	Scorie di acciaio	1,2 Mt/y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. Cemento	Clinker sostituito 1,2 Mt/y Riduzione stoccaggio scorie 1,2 Mt/y	Riduzione dei costi di 24 MCNY/y (3,51 MUSD)
Produzione di fertilizzante	Sottoprodotto della desolforazione	8100 ton/y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. chimica	Riduzione SO ₂ 4kt/y Riduzione stoccaggio rifiuti solidi	Ricavo dalle vendite 5 MCNY/y (0,73 MUSD) Riduzione dei costi di 5,04 MCNY/y (0,74 MUSD)

Tabella 7- Valutazione dei benefici ambientali ed economici per LIS (Fonte: L. Dong et al. / Journal of Cleaner Production 59 (2013) 226/238). Dati del 2009.

Nonostante LIS sia in una fase iniziale di simbiosi industriale, sono stati ottenuti dei benefici notevoli. Sono stati risparmiati più di 2 milioni di tonnellate all'anno di materie prime con conseguente riduzione totale dei rifiuti prodotti ed inoltre, si è registrato un guadagno economico di oltre 250 milioni di CNY (36,55 milioni di USD) per l'industria siderurgica.

Nella città di Jinan all'interno della rete vengono scambiati più di dieci milioni di materiali, includendo sia i materiali tradizionali come rifiuti di acciaio, scorie di altoforno e acqua in eccesso ma anche gas e vapori che vengono opportunamente indirizzati alle industrie vicine ed alla comunità urbana (Figura 12).

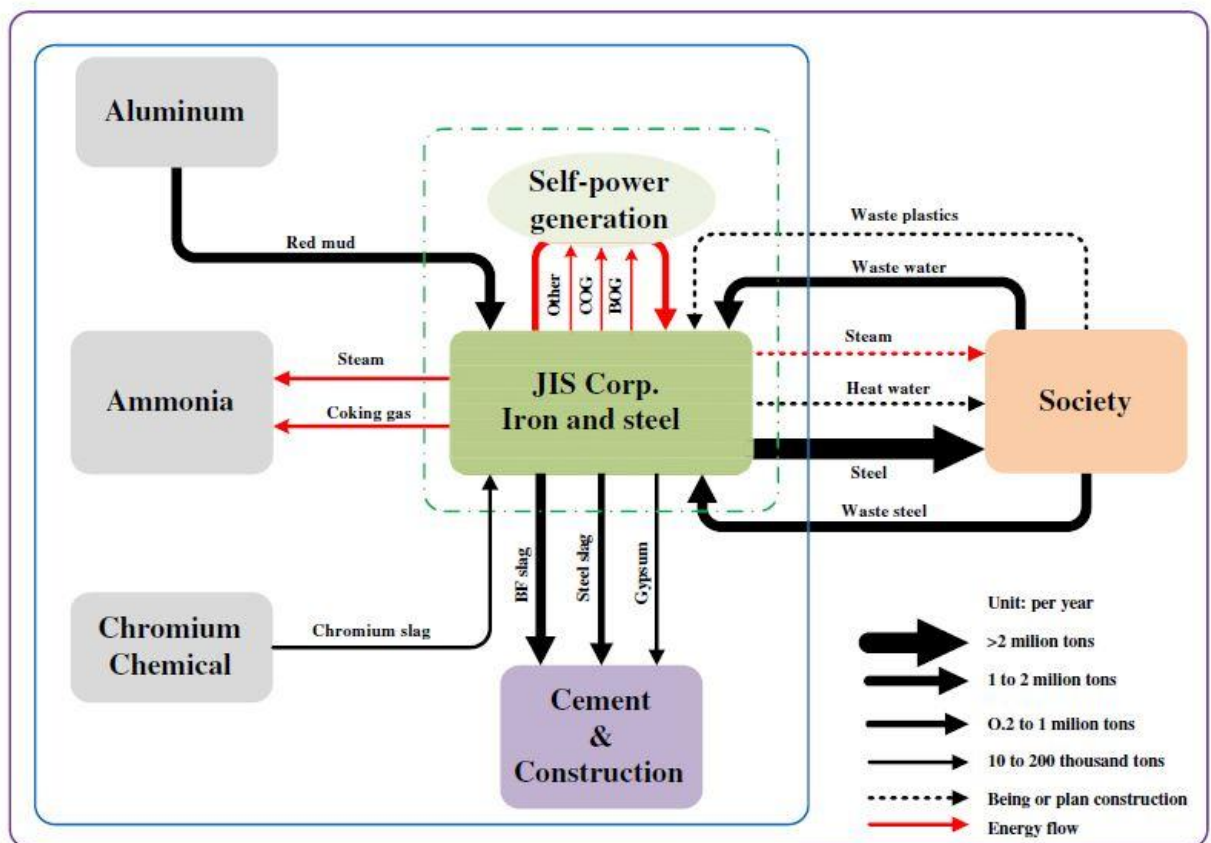


Figura 12- Rete simbiotica in JIS (Fonte: L. Dong et al. / Journal of Cleaner Production 59 (2013) 226/238)

Con lo stesso metodo utilizzato per LIS, gli autori hanno valutato i benefici ambientali ed economici della simbiosi applicata a JIS (Tabella 8). Grazie al riuso e al riciclo di energia e materiali l'efficienza e la produttività dell'azienda sono aumentate. Il consumo di energia si è ridotto di 60 kgce/ton e il consumo d'acqua di 0,57 m³/ton, si è verificato un risparmio

annuo di 670.000 tce ed infine un beneficio economico complessivo di oltre un miliardo di CNY (158 milioni di USD).

Attraverso lo sviluppo della simbiosi industriale JIS è passato da un tradizionale impianto siderurgico in una impresa eco industriale chiave per la regione riuscendo ad integrare processi di trasformazione dell'energia e assorbimento dei rifiuti. Inoltre, il potenziale di sviluppo è elevato poiché si potrebbe rafforzare la rete simbiotica urbana progettando processi di scambio di ulteriori rifiuti urbani come plastica e carta.

Attività di simbiosi	Risorsa/rifiuto scambiato	Volume	Attori	EnvG	EcoG
Produzione di polveri da scorie	Scorie da altoforno	1,8 Mt/y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. Cemento	Risparmio di materie prime per cemento Riduzione stoccaggio scorie 180 Mt/y	Ricavo dalle vendite 72 MCNY/y (10,37 M USD) Riduzione dei costi 36 MCNY/y (5,19 MUSD)
Riciclo scorie di acciaio	Scorie di acciaio	1,2 Mt/y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. Cemento	Risparmio di materia prime Riduzione stoccaggio scorie 1,2 Mt/y	85,2 MCNY/y (12,28 MUS)
Riutilizzo "red mud"	Red mud	1,6 Mt/y	Ind. Alluminio Ind.Ferro/Acciaio	Riduzione stoccaggio red mud 1,6 Mt/y	Riduzione dei costi di 320 MCNY/y (41,11 MUSD)
Produzione di ammoniaca	Vapore	60 kt/y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. Chimica	Risparmio di combustibili per la produzione di ammoniaca	Ricavo dalle vendite 13,2 MCNY/y (1,90 MUSD)
Produzione di idrogeno	COG	60 Mm ³ /y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. Chimica	Risparmio di combustibili per la produzione di idrogeno	-
Riciclo sottoprodotti desolforazione	Gesso	10 kt/y	Ind. Ferro/Acciaio Ind. Cemento	Risparmio di materia prima	Ricavo dalle vendite 1.04 MCNY/y (0,15 MUSD)
Riciclo di scorie di cromo	Scorie di cromo	120 kt/y	Ind. Chimica Ind. Ferro/Acciaio	Risparmio di materia prime Riduzione stoccaggio scorie di cromo	Riduzione dei costi di 84 MCNY/y (12,10 MUSD)
Riuso acqua per industria	Acque reflue urbane	2 Mt/y	Comunità urbana Ind. Ferro/Acciaio	Acque reflue utilizzate per i processi industriali di JIS	4 MCNY/y (0,58 M USD)

Riciclo rifiuti metallici	Rifiuti metallici	1,82 Mt/y	Comunità urbana Ind. Ferro/Acciaio	Risparmio sui minerali ferrosi	-
---------------------------	-------------------	-----------	---------------------------------------	-----------------------------------	---

Tabella 8- Valutazione dei benefici ambientali ed economici per JIS (Fonte: L. Dong et al. / Journal of Cleaner Production 59 (2013) 226/238). Dati del 2009.

A Liuzhou e Jinan, in Cina, Kawasaki ha contribuito ad attuare iniziative IS che hanno portato a significativi vantaggi ambientali ed economici. A Liuzhou, Kawasaki ha contribuito a sviluppare una rete IS che comprende l'impianto siderurgico della città, una centrale elettrica, un cementificio e un impianto di trattamento delle acque. La rete consente alle aziende di scambiare materiali di scarto e sottoprodotti, il che ha portato a riduzioni significative della produzione di rifiuti e delle emissioni. Ad esempio, l'impianto siderurgico ora utilizza il calore di scarto della centrale elettrica per generare elettricità, e il cementificio utilizza le scorie di scarto dell'impianto siderurgico come materia prima. A Jinan, Kawasaki ha contribuito a sviluppare una rete IS che comprende l'impianto siderurgico della città, un impianto chimico e un impianto di trasformazione alimentare. La rete consente alle aziende di scambiare acqua, acque reflue e sottoprodotti. Ad esempio, l'impianto siderurgico ora utilizza acqua riciclata proveniente dall'impianto chimico, mentre l'impianto di trasformazione alimentare utilizza il compost ottenuto dai fanghi di scarto dell'impianto siderurgico.

Nel complesso, l'esperienza di Kawasaki con l'IS nell'industria siderurgica cinese dimostra il potenziale di questo approccio nel contribuire allo sviluppo sostenibile del settore. Alcune raccomandazioni specifiche per altre aziende siderurgiche cinesi interessate ad attuare iniziative IS:

- Condurre un audit sui rifiuti e sui sottoprodotti per identificare potenziali opportunità IS.
- Identificare potenziali partner in altri settori che potrebbero trarre vantaggio dallo scambio di materiali, energia e sottoprodotti.
- Sviluppare un piano aziendale per ciascuna iniziativa IS, inclusa una chiara comprensione dei vantaggi e dei costi.
- Cercare il sostegno del governo per le iniziative dell'IS, come incentivi finanziari o assistenza tecnica.
- Collaborare con i partner per implementare le iniziative IS secondo un approccio graduale.

Adottando queste misure, le aziende cinesi del settore siderurgico possono sfruttare i vantaggi ambientali ed economici dell'IS.

2.2.3 Il caso di Guiyang

CONTESTO	Guiyang
OBIETTIVO	Valutazione della simbiosi industriale urbana utilizzando la città di Guiyang come caso studio.
METODOLOGIA	MFA
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Conservazione delle risorse: la simbiosi industriale (IS) può ridurre significativamente il consumo di risorse nelle città dipendenti dalle risorse promuovendo il riutilizzo delle risorse e lo scambio tra industrie. • Benefici ambientali: l'IS può ridurre l'inquinamento ambientale nelle città dipendenti dalle risorse riducendo al minimo la produzione di rifiuti e promuovendo l'uso di tecnologie più pulite. • Benefici economici: l'IS può generare benefici economici per le città dipendenti dalle risorse riducendo i costi di smaltimento dei rifiuti, aumentando le entrate derivanti dalla vendita dei sottoprodotti dei rifiuti e migliorando l'efficienza energetica. • Sostenibilità: l'IS può promuovere la sostenibilità nelle città dipendenti dalle risorse riducendo la dipendenza dalle risorse vergini e promuovendo il recupero e il riutilizzo delle risorse. • Coinvolgimento della comunità: l'IS può favorire l'impegno e la collaborazione della comunità coinvolgendo i residenti e le imprese locali nello sviluppo e nell'attuazione delle iniziative IS.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Politiche e incentivi governativi: le politiche governative che promuovono l'IS, come agevolazioni fiscali, sussidi e normative, possono incoraggiare una più ampia adozione delle pratiche IS nelle città dipendenti dalle risorse. • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici nelle tecnologie di smistamento, trattamento e riciclaggio dei rifiuti possono rendere l'IS più efficiente ed economico. • Coinvolgimento pubblico ed educazione: l'impegno pubblico e le campagne educative possono aumentare la consapevolezza sui vantaggi dell'IS e affrontare le preoccupazioni. • Integrazione con i principi dell'economia circolare: l'IS può essere efficacemente integrato con i principi dell'economia circolare per ridurre ulteriormente gli sprechi, promuovere il recupero delle risorse e creare un futuro più sostenibile ed efficiente in termini di risorse per le città dipendenti dalle risorse. • Collaborazione internazionale: la collaborazione con altri paesi e città che hanno esperienza con l'IS può fornire preziose informazioni e competenze per le città cinesi dipendenti dalle risorse.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di investimento iniziali: l'implementazione dell'IS spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture e tecnologia.

	<ul style="list-style-type: none"> • Complessità di implementazione: l'IS implica un coordinamento e una collaborazione complessi tra le varie parti interessate, tra cui industrie, agenzie governative e organizzazioni comunitarie. • Mancanza di consapevolezza e competenza: vi è una mancanza di consapevolezza e competenza sui principi e sulle pratiche IS in molti settori, agenzie governative e organizzazioni comunitarie nelle città dipendenti dalle risorse. • Ostacoli normativi: alcune normative governative potrebbero rendere difficile l'attuazione delle iniziative IS.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Fluttuazioni economiche: le recessioni economiche possono influenzare la volontà delle industrie e dei governi di investire in iniziative IS a causa di vincoli di bilancio. • Cambiamenti delle condizioni di mercato: i cambiamenti nelle condizioni di mercato, come le fluttuazioni dei prezzi delle materie prime e dell'energia, possono rendere l'IS meno attraente dal punto di vista economico. • Concorrenza di altre regioni: altre regioni, come le aree costiere, potrebbero avere condizioni economiche e infrastrutture più favorevoli per l'IS, il che potrebbe creare concorrenza per le città dipendenti dalle risorse.

La città di Guiyang è la capitale della provincia di Guizhou, situata nella Cina sud-occidentale, come mostrato nella Fig. 13. L'area urbana totale è di 8034 km² e la popolazione è di 4,32 milioni nel 2010 (NBS, 2011). Si tratta di una città dipendente dalle proprie risorse naturali come carbone, fosfato e alluminio.

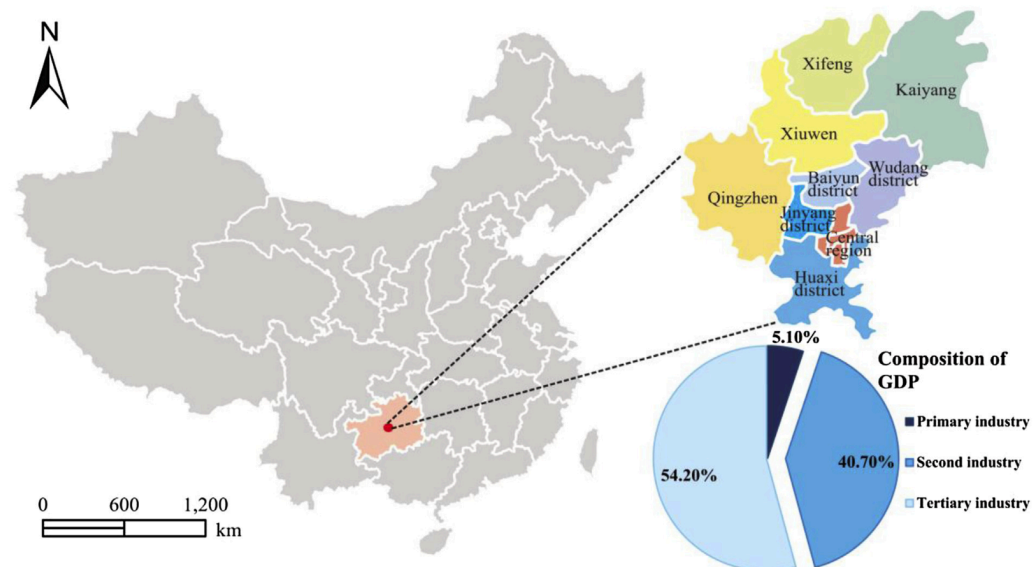


Figura 13- Città di Guiyang (H. Li et al. / Journal of Cleaner Production 107 (2015) 252e266)

Guiyang è una città dipendente dalle risorse, il che significa che la sua economia dipende in larga misura dall'estrazione e dalla lavorazione delle risorse naturali. Ciò ha portato a una serie di sfide, tra cui l'inquinamento ambientale, l'esaurimento delle risorse e

l'instabilità economica. Sfruttando le ricche risorse presenti nel territorio, si sono sviluppate industrie di processo su larga scala, tra cui grandi centrali termiche, industria siderurgica, industria dell'alluminio, industria chimica del carbone e industria chimica del fosforo.

Le industrie dipendenti dalle risorse contribuiscono all'economia locale e all'occupazione da un lato, ma dall'altro mettono a dura prova la qualità dell'ambiente con le pesanti emissioni di inquinanti, i rifiuti solidi ingombranti e il degrado ecologico. A causa di ciò, il governo locale promuove la produzione più pulita e l'economia circolare per perseguire una trasformazione sostenibile.

La simbiosi industriale (IS) è un approccio collaborativo tra industrie per scambiare materiali, energia e sottoprodotti con l'obiettivo di migliorare le prestazioni ambientali ed economiche. L'IS può essere una contromisura particolarmente efficace per le città dipendenti dalle risorse, poiché può aiutare a ridurre gli sprechi, conservare le risorse e creare nuove opportunità di business.

Guiyang ha implementato una serie di iniziative IS, tra cui:

- Un programma di scambio di rifiuti che consente alle aziende di scambiare i propri materiali di scarto con altre aziende che possono utilizzarli come input.
- Un programma di riciclaggio delle acque reflue che fornisce le acque reflue da un'azienda a un'altra per l'utilizzo nelle torri di raffreddamento o in altri processi industriali.
- Un programma energetico da biomassa che converte la biomassa di scarto in elettricità o calore.
- Un sistema di teleriscaldamento e teleraffreddamento che fornisce riscaldamento e raffrescamento agli edifici nel centro della città.

Nel 2005 Guiyang è entrata a far parte del progetto pilota nazionale di economia circolare.

Gli autori dell'articolo hanno identificato sette potenziali canali di scambio di risorse:

- Le scorie di acciaio possono essere utilizzate nell'industria del cemento per la produzione di clinker.
- Le scorie dell'industria chimica possono essere utilizzate per la produzione di materiali ad alto valore aggiunto per l'industria del cemento.
- I fanghi rossi, tramite opportune lavorazioni, possono essere utilizzati per l'industria del cemento.
- I rifiuti siderurgici possono essere riciclati per la produzione di acciaio

- Il “coal gangue” può essere utilizzato come materia prima per la produzione di energia elettrica.
- Le ceneri di carbone, tramite opportune lavorazioni, possono essere utilizzate nei processi di lavorazione dell’alluminio e di prodotti cementizi.
- Il calore di scarto generato dai vari processi industriali può essere indirizzato alle vicine aree industriali e residenziali come risorsa.

Di seguito in figura 14 lo schema riepilogativo delle opportunità di scambio di risorse.

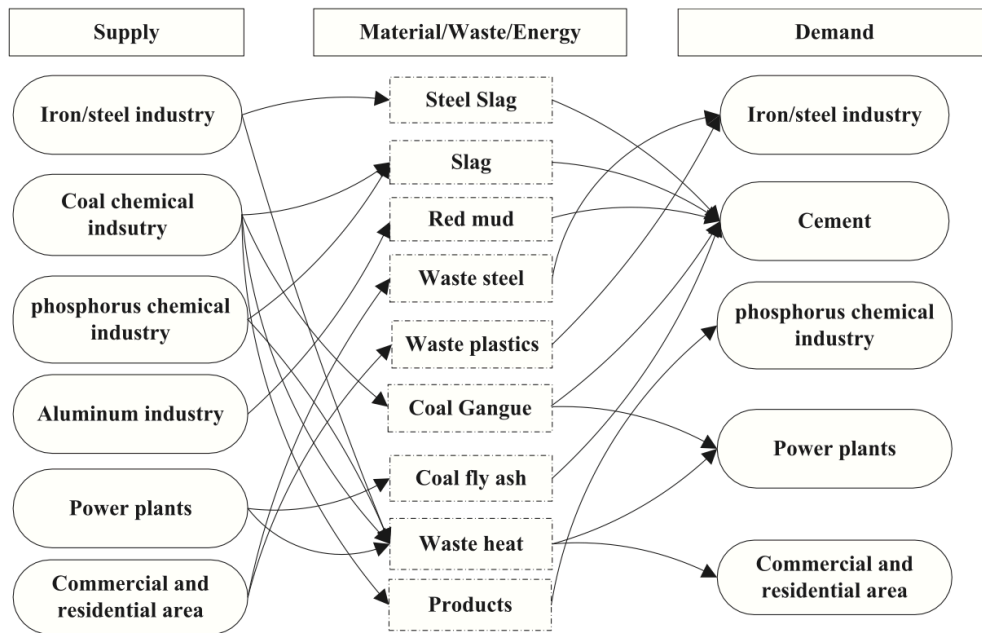


Figura 14- Design di simbiosi per Guiyang (Fonte: H. Li et al. / Journal of Cleaner Production 107 (2015) 252e266)

H. Li et al., sulla base delle potenziali opportunità di simbiosi, propongono il seguente progetto di simbiosi industriale urbana. (Fig. 15)

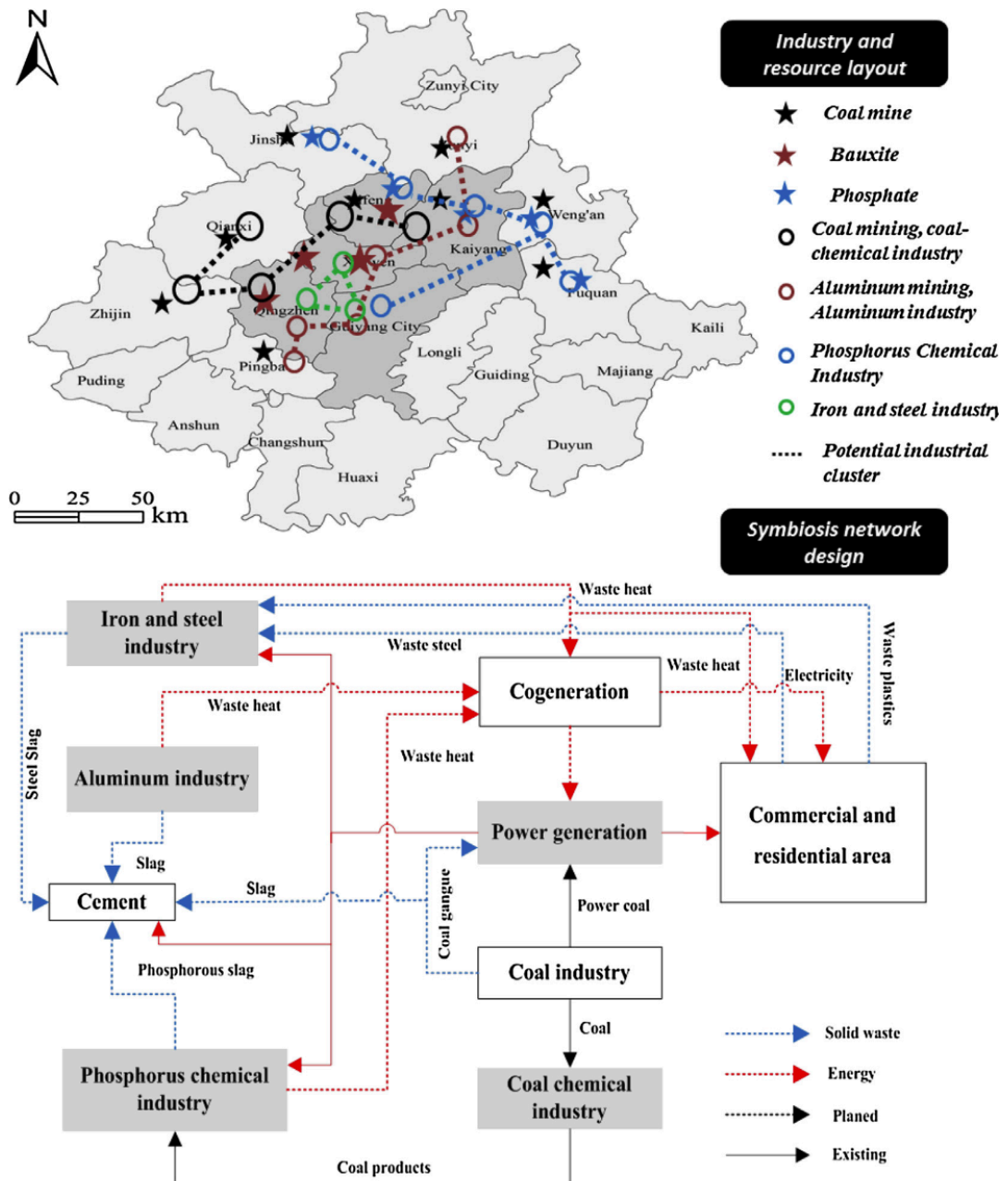


Figura 15- Rete di simbiosi industriale urbana in Guiyang (Fonte: H. Li et al. / Journal of Cleaner Production 107 (2015) 252e266)

I punti chiave sono le integrazioni dei flussi di rifiuti e di energia grazie alle relazioni tra le quattro industrie e le centrali elettriche e il loro rapporto con le aree locali. In particolare, vengono enfatizzati il riciclo e l'utilizzo dei rifiuti solidi generati dall'industria mineraria e di processo. In totale, sono previste sei sinergie relative ai rifiuti e quattro sinergie energetiche.

Gli autori dello studio per valutare le prestazioni dello scenario ipotizzato utilizzano l'analisi del flusso dei materiali calcolando le quantità di materiali scambiati e i consumi o le emissioni evitate grazie all'implementazione della simbiosi.

I risultati dello studio dimostrano che in totale nella rete vengono scambiati circa 1,43 milioni di tonnellate di materiali e 18,86 mila tonnellate di energia, con una riduzione delle materie prime sprecate di 1,47 milioni di tonnellate/anno e dei combustibili fossili di 102,71ktce/anno. Il dettaglio è riportato nella seguente figura 16:

#	Symbiosis	Resource saving and waste reduction
1	Waste steel recycling (100 kt/y)	Save raw material 2.5t and energy 12.25 GJ/t steel.
2	Waste plastics recycling (10 kt/y)	1t waste plastic could substitute 1.2 t coke.
3	Heat exchange (300 t/y)	Save fossil fuel by 18864tce.
4	Substitute cement material with steel slag (120 kt/y)	Save material of clinker 120 kt/year and by 66 kt/year. Reduce slag by 120 kt/y.
5	Substitute cement material with phosphorus slag (500 kt/y)	Save material of clinker 500 kt/year. Reduce slag by 500 kt/y.
6	Substitute cement material with aluminum industrial slag (400 kt/y)	Save material of clinker 400 kt/year. Reduce slag by 400 kt/y.
7	Coal gangue utilized by power generation (100 kt/y)	Save fossil fuel by 30ktce/y. Reduce solid waste by 100 kt/y.
8	Coal flying ash recycling (200 kt/y)	Reduce solid waste. Reduce ash by 200 kt/y.

Figura 16- dettaglio sulle risorse risparmiate e riduzione degli sprechi in Guiyang (Fonte: H. Li et al. / Journal of Cleaner Production 107 (2015) 252e266)

Dal punto di vista delle riduzioni di emissioni dannose, in totale, grazie all'implementazione di IS, il risparmio di risorse e la riduzione dei rifiuti riducono le emissioni di CO₂ di 1028,06 kt-CO₂/a, mentre le emissioni di scambio (dovute principalmente ai trasporti) aumentano di 6,05 kt-CO₂/a, ottenendo complessivamente un notevole effetto di mitigazione.

Infine, i risultati vengono riepilogati di seguito in Fig. 17:

Stages	Resource and emission change
Resource mining	
• Iron ore (kt/y)	-174.00
• Limestone (kt/y)	-1403.00
Processing	
• Energy saving (ktce/y)	-18.86
Waste disposal	
• Tailings (kt/y)	-1492.80
• Solid waste (kt/y)	-1430.00
• CO ₂ emissions (kt/y)	-1022.01

Figura 17- Effetti del miglioramento dell'efficienza delle risorse attraverso il progetto di simbiosi di Guiyan (Fonte: H. Li et al. / Journal of Cleaner Production 107 (2015) 252e266)

Il programma di scambio dei rifiuti ha ridotto la produzione di rifiuti del 50% e le emissioni di carbonio del 20%. Il programma di riciclaggio delle acque reflue ha ridotto il consumo di acqua del 30% e le emissioni di carbonio del 10%. Il programma energetico basato sulla biomassa ha ridotto il consumo di combustibili fossili del 20% e le emissioni di carbonio

del 15%. L'IS ha anche contribuito a creare nuove opportunità commerciali a Guiyang. Ad esempio, un'azienda ha avviato un'attività di raccolta dei rifiuti alimentari dai ristoranti e di conversione in compost da utilizzare in agricoltura. Un'altra società ha avviato un'attività di raccolta del calore di scarto delle fabbriche e di vendita ad altre società affinché lo utilizzino per riscaldare i loro edifici.

Nel complesso, l'IS è stata una contromisura efficace per la dipendenza dalle risorse di Guiyang. Le iniziative IS della città hanno ridotto gli sprechi, conservato risorse, creato nuove opportunità commerciali e generato posti di lavoro.

2.2.4 Il caso di Midong

CONTESTO	Midong
OBIETTIVO	Valutazione della simbiosi industriale urbana utilizzando la città di Guiyang come caso studio.
METODOLOGIA	MFA
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Conservazione delle risorse: la simbiosi industriale può ridurre significativamente il consumo di risorse promuovendo il riutilizzo delle risorse e lo scambio tra industrie chimiche all'interno di un parco industriale. Ciò può portare a una riduzione della dipendenza dalle risorse vergini e a una diminuzione della produzione di rifiuti. • Benefici ambientali: la simbiosi industriale può ridurre l'inquinamento ambientale riducendo al minimo la produzione di rifiuti e promuovendo l'uso di tecnologie e processi più puliti. Ad esempio, le industrie chimiche possono scambiare calore di scarto e acqua, riducendo così il consumo di energia e l'inquinamento dell'acqua. • Benefici economici: la simbiosi industriale può generare vantaggi economici per le aziende chimiche riducendo i costi di smaltimento dei rifiuti, aumentando le entrate derivanti dalla vendita dei sottoprodotti dei rifiuti e migliorando l'efficienza energetica. Ad esempio, le aziende possono vendere il calore o l'acqua di scarto ad altre aziende nel parco industriale, oppure possono utilizzare i sottoprodotti di scarto come materie prime per altri prodotti. • Sostenibilità: la simbiosi industriale può promuovere la sostenibilità nell'industria chimica riducendo la dipendenza dalle risorse vergini, minimizzando la produzione di rifiuti e promuovendo il recupero e il riutilizzo delle risorse.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Politiche e incentivi governativi: le politiche governative che promuovono la simbiosi industriale, come agevolazioni fiscali, sussidi e normative, possono incoraggiare una più ampia adozione di pratiche di simbiosi industriale nei parchi industriali chimici. I governi possono anche fornire finanziamenti per la ricerca e lo sviluppo e offrire assistenza tecnica alle aziende interessate a implementare la simbiosi industriale.

	<ul style="list-style-type: none"> • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici nelle tecnologie di smistamento, lavorazione e riciclaggio dei rifiuti possono rendere la simbiosi industriale più efficiente ed economica. Ad esempio, le nuove tecnologie possono essere utilizzate per identificare e separare diversi tipi di rifiuti e possono essere utilizzate per convertire i sottoprodotti dei rifiuti in prodotti di valore. • Coinvolgimento pubblico ed educazione: l'impegno pubblico e le campagne educative possono aumentare la consapevolezza sui vantaggi della simbiosi industriale e affrontare le preoccupazioni. Le aziende possono collaborare con le organizzazioni comunitarie per sviluppare materiali e programmi educativi e possono organizzare tour pubblici delle loro strutture per dimostrare i vantaggi della simbiosi industriale. • Integrazione con i principi dell'economia circolare: la simbiosi industriale può essere efficacemente integrata con i principi dell'economia circolare per ridurre ulteriormente i rifiuti, promuovere il recupero delle risorse e creare un'industria chimica più sostenibile. Le aziende possono adottare pratiche di economia circolare, come la progettazione del prodotto per il riciclaggio e la rigenerazione, per ridurre ulteriormente la produzione di rifiuti e massimizzare il recupero delle risorse.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di investimento iniziali: l'attuazione della simbiosi industriale spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture e tecnologia. Le aziende potrebbero dover investire in nuove attrezzature o processi per facilitare lo scambio di risorse e potrebbero dover sviluppare nuovi modelli di business per sfruttare i vantaggi della simbiosi industriale. • Complessità di implementazione: la simbiosi industriale implica un coordinamento e una collaborazione complessi tra le varie parti interessate, tra cui aziende chimiche, agenzie governative e organizzazioni comunitarie. Le aziende devono identificare e valutare potenziali sinergie, negoziare accordi e coordinare la logistica. • Mancanza di consapevolezza e competenza: vi è una mancanza di consapevolezza e competenza sui principi e sulle pratiche di simbiosi industriale tra molte aziende chimiche e altre parti interessate. Le aziende potrebbero dover investire nella formazione e nell'istruzione per sviluppare le competenze e le conoscenze necessarie. • Ostacoli normativi: alcune normative governative potrebbero rendere difficile l'attuazione di iniziative di simbiosi industriale. Ad esempio, le normative possono limitare lo scambio di determinati tipi di rifiuti o sottoprodotti oppure possono imporre tasse o tariffe sullo smaltimento dei rifiuti.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Fluttuazioni economiche: le recessioni economiche possono influenzare la volontà delle aziende chimiche di investire in iniziative di simbiosi industriale a causa di vincoli di bilancio. Le aziende potrebbero concentrarsi maggiormente sul risparmio sui costi a breve termine durante le recessioni economiche e potrebbero essere meno disposte a investire in iniziative di sostenibilità a lungo termine.

	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiamenti delle condizioni di mercato: i cambiamenti nelle condizioni di mercato, come le fluttuazioni dei prezzi delle materie prime e dell'energia, possono rendere la simbiosi industriale meno attraente dal punto di vista economico. Ad esempio, se il prezzo di un sottoprodotto di scarto diminuisce, potrebbe non essere più economico venderlo a un'altra azienda. • Concorrenza di altri parchi industriali: altri parchi industriali, come quelli di altri paesi o regioni, potrebbero avere condizioni economiche e infrastrutture più favorevoli per la simbiosi industriale, il che potrebbe creare concorrenza per Midong. Le aziende possono scegliere di localizzare le proprie strutture in parchi industriali che offrono condizioni più favorevoli per la simbiosi industriale.
--	---

Il caso studio del Midong Chemical Industrial Park (MCIP) in Cina dimostra il potenziale della simbiosi industriale (IS) per migliorare le prestazioni ambientali ed economiche nei parchi industriali chimici. MCIP ha implementato una serie di iniziative IS che hanno portato a riduzioni significative della produzione di rifiuti, del consumo di acqua e del consumo di energia. Queste riduzioni si sono tradotte in significativi risparmi sui costi e altri benefici economici per il parco e i suoi attori.

Uno dei fattori chiave del successo di MCIP è stata la leadership del governo nel promuovere e sostenere l'IS. Il governo ha fornito incentivi finanziari, assistenza tecnica e altre risorse per aiutare gli inquilini a implementare le pratiche IS. Il governo ha anche svolto un ruolo chiave nel coordinamento e nel matchmaking degli attori per identificare e sviluppare opportunità IS.

Un altro fattore chiave del successo di MCIP è stato l'impegno degli attori del parco.

I risultati del caso studio MCIP suggeriscono che l'IS può essere una strategia efficace per migliorare le prestazioni ambientali ed economiche nei parchi industriali chimici di tutto il mondo. Tuttavia, è importante notare che il successo delle iniziative IS dipende da una serie di fattori, tra cui la leadership del governo, il coinvolgimento degli attori e l'impegno a lungo termine.

Fondato nel settembre 2005, il Midong Chemical Industrial Park (MCIP) si trova nella parte occidentale della città di Urumqi, la capitale della regione autonoma dello Xinjiang Uygur (Xinjiang) nel nord-ovest della Cina (Fig. 18). Dista 18 km dal centro urbano di Urumqi e si estende per 108 km² e include ben tre zone industriali:

- Cluster industriale petrolchimico
- Cluster industriale cloro-alcalino
- Cluster di processo comprensivo

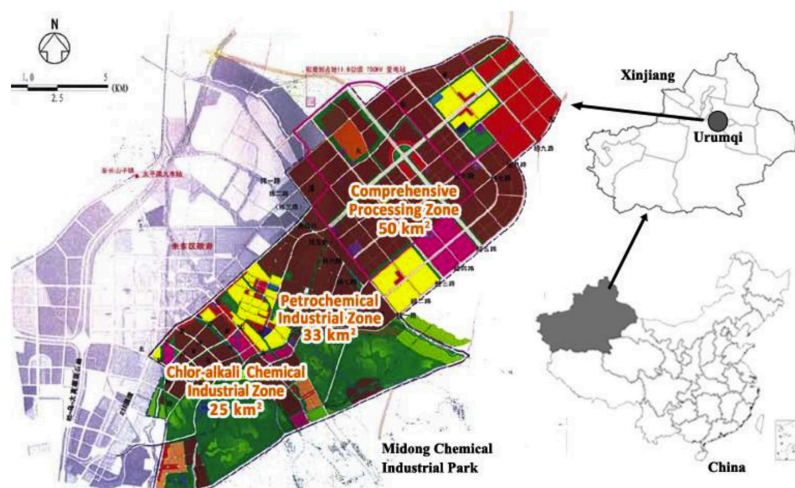


Figura 18- Mappa del Midong Chemical Industrial Park (Fonte: B. Guo et al. / Journal of Cleaner Production 135 (2016) 995e1008)

Le aziende presenti in MCPI sono riepilogate di seguito in figura 19.

Name of industrial enterprise	Production characteristics	Other info
Huatai Chemical Corp.	Production capacity of 660 kt/y ^a of PVC resin and 540 kt/y of ionic membrane caustic soda	CE pilot unit in Xinjiang
Tianshan Cement Corp.	Production capacity of 1.6 Mt/y ^b of cement clinker and 1.5 Mt/y of cement	CE pilot unit in Xinjiang The first cement clinker production line in China using 100% carbide slag to substitute limestone
Shenhua Thermal Power Plant	Total electric power of 600 MW	CE pilot unit in Xinjiang Taking coal gangue as main material for power and heat generation
PetroChina Urumqi Fuyang Building Material Corp.	Production capacity of 6 Mt/y of crude oil and 1.1 Mt/y of urea Production capacity of more than 250 million bricks per year	CE pilot unit in Xinjiang CE pilot unit in Xinjiang
Shuanglong Humic Acid Corp.	Production capacity of 28.5 kt/y of humic acid related products	The largest humic acid production company in China

^a kt/y means thousand tons per year.

^b Mt/y means million tons per year.

Figura 19- Aziende principale in MCIP (Fonte: B. Guo et al. / Journal of Cleaner Production 135 (2016) 995e1008))

Per valutare i benefici della simbiosi sono stati utilizzati due indicatori: uno relativo ai benefici di tipo ambientale ed uno relativo agli aspetti economici, utilizzando la metodologia dell'analisi del flusso dei materiali. Per quanto riguarda i benefici ambientali è stata presa in considerazione la riduzione del consumo di risorse come input per i processi e la riduzione della quantità di materiali di scarto, mentre per gli aspetti economici è stato valutato il risparmio dei costi di acquisto delle materie prime, il risparmio dei costi di trattamento dei rifiuti non riutilizzabili e il reddito derivante dalla vendita dei rifiuti.

La maggior parte dei dati utilizzati dagli autori per lo studio proviene da interviste e questionari progettati attraverso dei workshop con le aziende e da informazioni ufficiali riportate nei siti web del parco eco industriale. In totale, sono state identificate 32 attività di SI con un volume totale scambiato di 4,74 milioni di tonnellate all'anno. La Figura 20 elenca tutti i risultati ordinati in base ai volumi di scambio.

No. of IS chain	Exchanged materials	Volume (kt/y) ^a	Output units	Input units
1	Carbide slag	1030.6	Huatai Chemical Corp.	Tianshan Cement Corp.
2	Coal gangue	785.0	Coal mines around MCIP	Shenhua Thermal Power Plant
3	Slag	514.7	Shenhua Thermal Power Plant	Sources outside MCIP
4	Fly ashes	360.0	Internal Thermal Power Plant of PetroChina Urumqi	Fuyang Building Material Corp.
5	Fly ashes	319.4	Shenhua Thermal Power Plant	Sources outside MCIP
6	Fly ashes	211.5	Internal Thermal Power Plant of Huatai Chemical Corp.	Tianshan Cement Corp.
7	Waste rock	190.9	Sources outside MCIP	Zhuyou Concrete Work
8	Weathered coal	180.0	Sources outside MCIP	Shuanglong Humic Acid Corp.
9	Slag	161.8	Internal Thermal Power Plant of Huatai Chemical Corp.	Tianshan Cement Corp.
10	Desulphurization gypsum	100.0	Power Plant near MCIP	Masike Building Material Corp.
11	Desulphurization gypsum	100.0	Power Plant near MCIP	Masike Building Material Corp.
12	Waste iron and steel	98.0	Sources outside MCIP	Minxin Iron and Steel Corp
13	Coal gangue	75.0	Coal mines around MCIP	Fuyang Building Material Corp.
14	Coal gangue	60.9	Coal mines around MCIP	Jinbo Cement Corp.
15	Coal gangue	50.0	Coal mines around MCIP	Tianshan Cement Corp.
16	Fly ashes	30.9	Shenhua Thermal Power Plant	Zhuyou Concrete Work
17	Carbide slag	25.0	Huatai Chemical Corp.	Fuyang Building Material Corp.
18	Copper ash	15.0	Sources outside MCIP	Tianshan Cement Corp.
19	Desulphurization gypsum	11.3	Shenhua Thermal Power Plant	Sources outside MCIP
20	Waste yellow straw board	10.8	Sources outside MCIP	Ange Paper Mill
21	Waste yellow straw board	10.5	Sources outside MCIP	Yuanda Paper Mill
22	Carbide slag	10.0	Huatai Chemical Corp.	Jinbo Cement Corp.
23	Waste sulfuric acid	6.8	Huatai Chemical Corp.	Sources outside MCIP
24	Waste hydrochloric acid	6.0	Huatai Chemical Corp.	Milan Chemical Work
25	Waste tyre	5.0	Sources outside MCIP	Yongzhen Rubber Work
26	Waste newspaper	2.6	Sources outside MCIP	Yuanda Paper Mill
27	Distillation residue	1.8	Huatai Chemical Corp.	Sources outside MCIP
28	Waste copper	1.5	Sources outside MCIP	Boyuan Copper Work
29	Waste tyre	1.5	Sources outside MCIP	Jianglong Rubber Work
30	Burnt coal gangue	1.2	Sources outside MCIP	Dongfang Manufacture Corp.
31	Mercury related waste	0.9	Huatai Chemical Corp.	Sources outside MCIP
101	Reclaimed water	366.0	Sources outside MCIP	Shenhua Thermal Power Plant

^a kt/y means thousand tons per year.

Figura 20- Scambio di materiali in MCIP in ordine decrescente di volume (Fonte: B. Guo et al. / Journal of Cleaner Production 135 (2016) 995e1008)

Di seguito in Figura 21 è rappresentata l'intera rete simbiotica di MCIP.

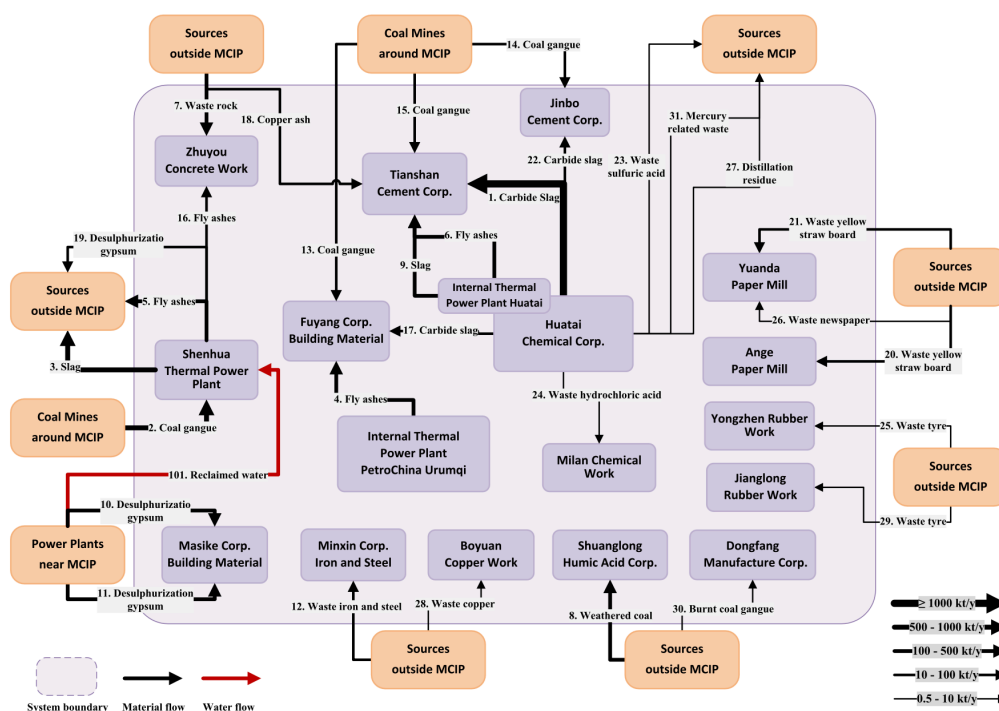


Figura 21- Rete simbiotica di MCIP (Fonte: Guo et al. / Journal of Cleaner Production 135 (2016) 995e1008)

I risultati dello studio dimostrano che in totale si raggiunge un valore di 0,72 milioni di tonnellate di materie riutilizzate, di cui 0,36 milioni di tonnellate di argilla naturale e 0,36 milioni di tonnellate di riduzione dello scarico di ceneri. La maggior parte delle attività

simbiotiche ha prodotto anche benefici economici positivi, in particolare lo scambio di scorie di carburo tra Huatai Chemical Corp. e Tianshan Cement Corp. ha portato ad un risparmio di oltre 25 milioni di dollari.

Combinando insieme i risultati dell'intero MCIP è stato calcolato che il beneficio ambientale totale derivato dalla riduzione del consumo di risorse e dalla riduzione delle emissioni di rifiuti ottenuta dalle attività IS è stato di circa 5,86 milioni di tonnellate all'anno mentre il beneficio economico totale derivante dal risparmio sui costi di acquisto delle materie prime, dal risparmio sui costi di smaltimento dei rifiuti e dai ricavi dalla vendita dei rifiuti è stato di circa 62,29 milioni di dollari.

2.2.5 Il caso di Yongcheng

CONTESTO	Yongcheng
OBIETTIVO	Valutare in modo esaustivo i benefici di trentanove attività di IS/UrS (tra cui lo scambio di materiali, l'utilizzo del calore di scarto e il recupero delle acque reflue) e a confrontare le prestazioni simbiotiche di diversi tipi di attività di scambio
METODOLOGIA	MFA + EMERGY ANALYSIS
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione del consumo di risorse: IS/UrS può contribuire a ridurre il consumo di risorse a Yongcheng promuovendo il riutilizzo delle risorse e lo scambio tra industrie e aree urbane. Ciò può portare a una riduzione della dipendenza dalle risorse vergini e a una diminuzione della produzione di rifiuti. • Miglioramento delle prestazioni ambientali: IS/UrS può migliorare le prestazioni ambientali di Yongcheng riducendo al minimo la produzione di rifiuti, promuovendo l'uso di tecnologie più pulite e riducendo il consumo di energia. Ciò può portare a una migliore qualità dell'aria e dell'acqua, a una riduzione delle emissioni di gas serra e a un miglioramento della salute pubblica. • Maggiori benefici economici: IS/UrS può generare benefici economici per Yongcheng riducendo i costi di smaltimento dei rifiuti, aumentando le entrate derivanti dalla vendita dei sottoprodotti dei rifiuti e migliorando l'efficienza energetica. Ciò può comportare una riduzione dei costi per le imprese e i consumatori, un aumento delle entrate fiscali per la città e migliori opportunità di creazione di posti di lavoro. • Sostenibilità promossa: IS/UrS può promuovere la sostenibilità a Yongcheng riducendo la dipendenza dalle risorse vergini, minimizzando la produzione di rifiuti e promuovendo il recupero e il riutilizzo delle risorse. Ciò può contribuire al benessere economico e ambientale a lungo termine della città.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Politiche e incentivi governativi: il governo cinese ha promosso IS/UrS come strategia chiave per raggiungere la sostenibilità ambientale e l'efficienza delle risorse. Yongcheng

	<p>può sfruttare queste politiche e incentivi per garantire finanziamenti e sostegno alla sua iniziativa IS/UrS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici nelle tecnologie di selezione, trattamento e riciclaggio dei rifiuti possono rendere IS/UrS più efficiente ed economicamente vantaggioso. Yongcheng può esplorare le opportunità per adottare queste tecnologie per ridurre i costi della sua iniziativa IS/UrS e migliorare le sue prestazioni ambientali. • Impegno pubblico ed educazione: Yongcheng può coinvolgere il pubblico nello sviluppo e nell'attuazione della sua iniziativa IS/UrS attraverso campagne di educazione pubblica, workshop comunitari e altri sforzi di sensibilizzazione. Ciò può aumentare la consapevolezza dei vantaggi dell'IS/UrS, affrontare le preoccupazioni e ottenere il sostegno pubblico per l'iniziativa. • Integrazione con i principi dell'economia circolare: Yongcheng può integrare IS/UrS con i principi dell'economia circolare per ridurre ulteriormente i rifiuti, promuovere il recupero delle risorse e creare una città più sostenibile. Ciò può comportare l'adozione di pratiche di economia circolare in vari settori, come la progettazione di prodotti per il riciclaggio e la rigenerazione, la pianificazione urbana sostenibile e la gestione dei rifiuti.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di investimento iniziali: l'attuazione dell'IS/UrS spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture e tecnologia. Questo può rappresentare un ostacolo per le imprese e il governo cittadino, soprattutto in una città dipendente dalle risorse come Yongcheng. • Complessità di implementazione: IS/UrS implica un coordinamento e una collaborazione complessi tra le varie parti interessate, tra cui industrie, agenzie governative e organizzazioni comunitarie. Questo può essere difficile da raggiungere, soprattutto in una città con un gran numero di industrie e una popolazione diversificata. • Mancanza di consapevolezza e competenza: potrebbe esserci una mancanza di consapevolezza e competenza sui principi e sulle pratiche IS/UrS tra molte imprese, funzionari governativi e residenti di Yongcheng. Ciò può rendere difficile identificare e implementare le opportunità IS/UrS e ottenere il sostegno pubblico per l'iniziativa. • Ostacoli normativi: alcune normative governative potrebbero rendere difficile l'attuazione delle iniziative IS/UrS. Ad esempio, le normative possono limitare lo scambio di determinati tipi di rifiuti o sottoprodotti oppure possono imporre tasse o tariffe sullo smaltimento dei rifiuti.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Fluttuazioni economiche: le recessioni economiche possono influenzare la volontà delle imprese e del governo cittadino di investire in iniziative IS/UrS a causa di vincoli di bilancio. Ciò può rendere difficile mantenere lo slancio dell'iniziativa e raggiungere i suoi obiettivi a lungo termine. • Cambiamenti delle condizioni di mercato: i cambiamenti nelle condizioni di mercato, come le fluttuazioni dei prezzi delle materie prime e dell'energia, possono rendere

	<p>IS/UrS meno attraente dal punto di vista economico. Ciò può rendere difficile per le imprese trovare partner validi per lo scambio di risorse e giustificare i costi di attuazione delle pratiche IS/UrS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concorrenza di altre città: altre città in Cina e nel mondo potrebbero implementare iniziative IS/UrS e ottenere un vantaggio competitivo in termini di efficienza delle risorse, sostenibilità ambientale e sviluppo economico. Yongcheng deve garantire che la sua iniziativa IS/UrS sia innovativa, economicamente vantaggiosa e adattabile alle mutevoli condizioni del mercato per rimanere competitiva.
--	--

Yongcheng fa parte della lista delle "National Resource-Dependent Cities for Sustainable Development Plan (2013-2020)" secondo il governo cinese. Si trova nella parte orientale della provincia di Henan, in Cina (Fig. 22), con una superficie totale di 2020 km² e una popolazione di 1,57 milioni nel 2017.

La città di Yongcheng possiede abbondanti risorse minerarie ed è una delle sei cosiddette "anthracite coal bases" in Cina. Inoltre, Yongcheng soffre di carenza idrica a causa dell'eccessivo sfruttamento delle acque sotterranee. Le sue industrie principali producono alluminio, metanolo, acciaio, ferro ed energia elettrica dal carbone, e si basano principalmente sullo sfruttamento delle risorse naturali, in particolare del carbone. Il Paese ha dovuto affrontare diverse difficoltà come l'esaurimento delle risorse naturali, il rallentamento economico delle industrie e il grave inquinamento ambientale.

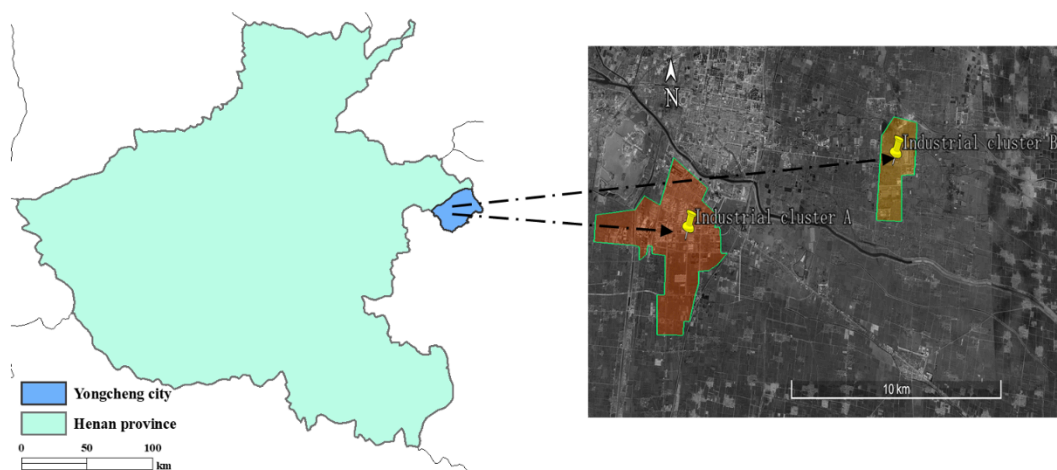


Figura 22- Yongcheng city (Fonte: C. Lu et al. / Journal of Cleaner Production 25(2020))

Yongcheng è una città dipendente dalle risorse che dipende fortemente dal carbone e dal minerale di ferro. La città ha implementato una serie di iniziative dell'IS e dell'URS, come:

- Un programma di riciclaggio dei rifiuti di carbone che fornisce i rifiuti di carbone a un cementificio locale.

- Un programma di riciclaggio delle acque reflue che fornisce le acque reflue di uno stabilimento tessile a una centrale elettrica locale per il raffreddamento.
- Un programma di riciclaggio dei rifiuti alimentari che fornisce i rifiuti alimentari da un ristorante locale a un impianto di biogas locale.

Secondo l'articolo di C. Lu et al., al 2017, sono state individuate ventinove attività di simbiosi e sedici tipologie di sottoprodotti e/o rifiuti riutilizzati. Le principali riguardano lo scambio di materiali come scorie e ceneri per la produzione del cemento, lo scambio del vapore a bassa pressione come fonte di calore e le acque reflue utilizzate per il fabbisogno d'acqua dell'industria. In seguito, è stata condotta un'indagine per individuare dei nuovi potenziali canali dove applicare la simbiosi. C. Lu et al. Hanno individuato dieci tipi di rifiuti/sottoprodotti ad alto potenziale di simbiosi:

1. Il letame del bestiame proveniente dagli allevamenti può essere utilizzato come fertilizzante organico.
2. I rottami d'acciaio possono essere utilizzati come materia prima per le fonderie.
3. Gli pneumatici possono essere utilizzati come materia prima per le fonderie.
4. I rifiuti solidi urbani possono essere utilizzati per la produzione di energia.
5. Le scorie provenienti dalla combustione dei rifiuti solidi urbani organici possono essere utilizzate per la produzione di energia.
6. I rifiuti di tipo agricolo e forestale possono essere utilizzati per la produzione di energia.
7. I rifiuti acidi contenenti alluminio generati dalla produzione di fogli di alluminio corrosivi possono essere riciclati in impianti chimici.
8. Il vapore a bassa pressione generato dalla centrale elettrica a carbone può essere utilizzato come fonte di calore per i residenti nelle vicinanze.
9. Il vapore ad alta pressione generato può essere trasportato all'impianto di metanolo per sostituire il carbone in tre diverse caldaie.
10. Le acque reflue minerarie recuperate possono essere utilizzate come fonte di acqua grezza nella produzione dell'impianto di metanolo.

In Figura 23 è rappresentata l'intera rete simbiotica del caso.

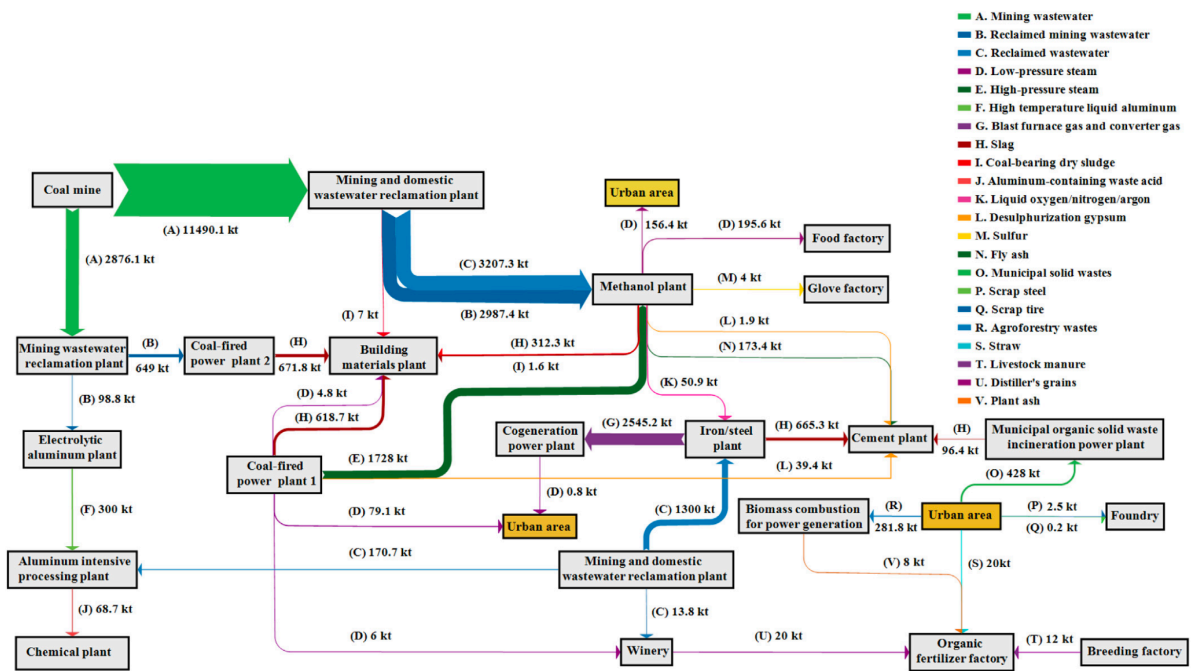


Figura 23- Rete simbiotica di Yongcheng (Fonte: C. Lu et al. / Journal of Cleaner Production 25(2020))

I dati utilizzati per lo studio sono stati raccolti principalmente tramite questionari e colloqui approfonditi con le parti interessate. La metodologia utilizzata è l'analisi del flusso di materiali e sulla base di essa sono stati valutati i benefici ambientali delle attività IS/UrS, tra cui la riduzione del consumo di risorse da parte degli addetti alla ricezione dei rifiuti e la riduzione dei rifiuti da parte dei produttori di rifiuti. Inoltre, gli autori, integrano i risultati attraverso l'"Emergy analysis" che tiene conto di fattori come le risorse rinnovabili, non rinnovabili ed importate e fornisce degli indicatori quantitativi.

I risultati dello studio (Fig. 24 e Fig. 25) dimostrano che la strategia di simbiosi industriale urbana permette di ottenere numerosi benefici.

Category	Environmental benefits of waste scavengers		Environmental benefits of waste generators		Total environmental benefits	
	Resources consumption reduction		Waste reduction			
	Substituted raw materials	Quantity (kt)	Reduced wastes	Quantity (kt)	In-use or potential	Quantity (kt)
Material symbiosis	Cement feedstock mix for clinker production	173.4	Fly ash	173.4	In-use	346.8
	Coal	3.4	Coal-bearing dry sludge	8.6	In-use	12
	Liquid oxygen	39.5	..b	–	In-use	39.5
	Liquid nitrogen	6.3	..b	–	In-use	6.3
	Liquid argon	5.1	..b	–	In-use	5.1
	Sulfur	4	..b	–	In-use	4
	Natural gypsum	41.3	..b	–	In-use	41.3
	Cement feedstock mix for clinker production	2268.1	Slag	2268.1	In-use	4536.2
		96.4		96.4	Potential	192.8
	Organic fertilizer raw materials	20	Distiller's grains	20	In-use	40
		8	Plant ash	8	In-use	16
		20	Straw	20	In-use	40
		12	Livestock manure	12	Potential	24
	Water purifying agent raw materials	68.7	Aluminum-containing waste acid	68.7	Potential	137.4
	Iron ore	4.4	Scrap steel	2.5	Potential	6.9
	Coke	1.3	..b	–	Potential	1.3
	Coal	0.01	Scrap tire	0.2	Potential	0.21
	90.4	Municipal solid wastes	428	Potential	518.4	
	129.7	Agroforestry waste	281.8	Potential	411.5	
Energy symbiosis	Low-pressure steam	363.5	..b	–	In-use	363.5
		79.1	..b	–	Potential	79.1
	Blast furnace gas and converter gas	4781.2	..b	–	In-use	4781.2
	Electricity	99,900 ^a	..b	–	In-use	813 ^c
	High-pressure steam	1728	..b	–	Potential	1728
Water symbiosis	Water consumption in industry	4691.8	..b	–	In-use	4691.8
		747.8	Reclaimed mining wastewater	747.8	In-use	1495.6
		2987		2987	Potential	5974

^a Unit is MWh.

^b Refers to by-products – the same substance as in the respective raw materials.

^c Unit is ktce. Electricity is converted to standard coal with a conversion coefficient of 0.123 gce/kWh.

Figura 24- Benefici ambientali di Yongcheng (Fonte: C. Lu et al. / Journal of Cleaner Production 25(2020))

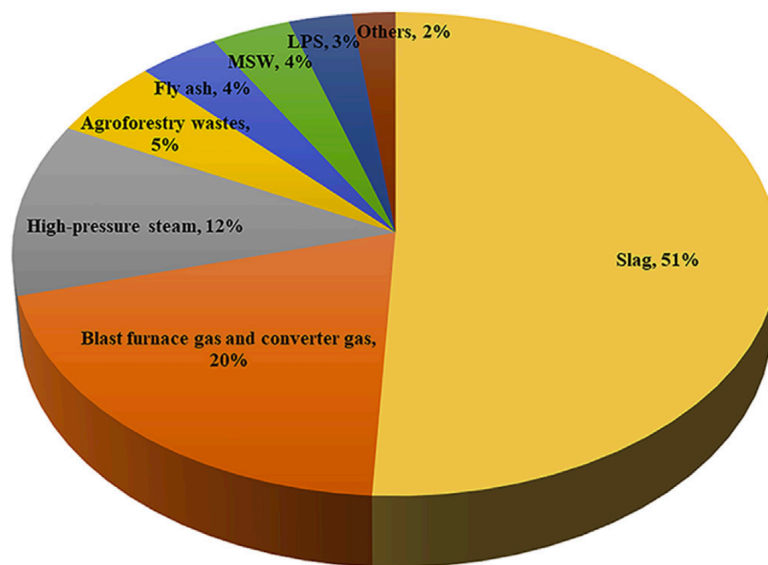


Figura 25- Percentuale di riduzione di CO2 grazie all'utilizzo di IS e UrS (Fonte: C. Lu et al. / Journal of Cleaner Production 25(2020)) Note: MSW si riferisce ai rifiuti solidi municipali e LSW al vapore a bassa pressione

I principali generatori di sottoprodotti e rifiuti sono anche i principali consumatori di risorse, tra cui impianti di metanolo, centrali elettriche a carbone e impianti siderurgici. Queste imprese generano ogni anno una grande quantità di ceneri volanti, scorie e vapore che hanno un enorme potenziale di sostituzione di preziose risorse non rinnovabili, di riduzione delle emissioni di CO2 e di miglioramento della sostenibilità. Allo stesso tempo, il riciclaggio di rottami di acciaio, scorie e ceneri volanti dovrebbe avere la priorità nel processo di elaborazione delle politiche IS/UrS locali in base alle loro prestazioni in termini

di riduzione di CO2 e analisi di risparmio energetico. Essendo una tipica città dipendente dalle risorse, Yongcheng dipende ancora fortemente dall'estrazione delle risorse e dalla relativa lavorazione. Pertanto, l'ottimizzazione e la trasformazione delle industrie tradizionali ad alto consumo di energia e di acqua è necessario per lo sviluppo sostenibile del Paese.

Lo studio Liu et al. (2020) rileva inoltre che l'integrazione di IS e URS può essere particolarmente vantaggiosa per le città dipendenti dalle risorse. Le città dipendenti dalle risorse dipendono spesso fortemente da una o poche risorse, il che può renderle vulnerabili agli shock economici e ambientali. Integrando IS e URS, le città dipendenti dalle risorse possono ridurre la loro dipendenza dalle risorse esterne e diventare più resilienti. Lo studio utilizza la città di Yongcheng, in Cina, come caso di studio per dimostrare i vantaggi dell'integrazione di IS e URS.

Lo studio rileva che queste iniziative hanno comportato una serie di vantaggi, tra cui:

- Una riduzione del consumo di carbone di 1,1 milioni di tonnellate all'anno.
- Una riduzione delle emissioni di CO2 di 4,9 milioni di tonnellate all'anno.
- Una riduzione dello scarico delle acque reflue di 5,53 milioni di tonnellate all'anno.
- Una riduzione dello smaltimento dei rifiuti alimentari di 4,8 milioni di tonnellate all'anno.

Lo studio rileva inoltre che i vantaggi economici derivanti dall'integrazione di IS e URS a Yongcheng sono significativi. Lo studio stima che le iniziative di IS e URS abbiano generato un beneficio economico di dieci miliardi di yuan all'anno. Lo studio conclude che l'integrazione di IS e URS può essere una strategia altamente efficace per ridurre il consumo di risorse, ridurre l'impatto ambientale e aumentare l'efficienza economica nelle città dipendenti dalle risorse.

L'integrazione di IS e URS può portare a una serie di vantaggi per le città dipendenti dalle risorse, tra cui un ridotto consumo di risorse, un ridotto impatto ambientale e una maggiore efficienza economica.

Le città dipendenti dalle risorse sono particolarmente adatte per attuare le iniziative dell'IS e degli URS, poiché spesso hanno un'elevata concentrazione di industrie e aree urbane.

Lo studio di Yongcheng, in Cina, fornisce un esempio concreto dei vantaggi derivanti dall'integrazione di IS e URS. Sono necessarie ulteriori ricerche per comprendere meglio i vantaggi e le sfide dell'integrazione di IS e URS in contesti diversi.

Nel complesso, lo studio di Liu et al. (2020) fornisce un prezioso contributo alla letteratura su IS e URS. Lo studio dimostra i potenziali benefici derivanti dall'integrazione di IS e URS, in particolare nelle città dipendenti dalle risorse. Lo studio fornisce anche un esempio concreto di come le iniziative dell'IS e degli URS possano essere implementate con successo.

2.2.6 Il caso di Rubber City

CONTESTO	Rubber City
OBIETTIVO	Sviluppare un quadro per Rubber City basato su produttori di gomma naturale utilizzando il concetto di simbiosi industriale e analizzare gli interessi degli stakeholder attraverso l'analisi SWOT.
METODOLOGIA	MFA + LCA + SWOT
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Conservazione delle risorse: la simbiosi industriale (IS) può ridurre significativamente il consumo di risorse nell'industria della gomma promuovendo il riutilizzo delle risorse e lo scambio tra i trasformatori della gomma e altre industrie all'interno della Rubber City. Ciò può portare a una riduzione della dipendenza dalle risorse vergini e a una diminuzione della produzione di rifiuti. • Benefici ambientali: la simbiosi industriale può ridurre l'inquinamento ambientale riducendo al minimo la produzione di rifiuti e promuovendo l'uso di tecnologie e processi più puliti. Ad esempio, i produttori di gomma possono scambiare calore e acqua di scarto con altre industrie, riducendo così il consumo di energia e l'inquinamento dell'acqua. • Benefici economici: la simbiosi industriale può generare benefici economici per i trasformatori della gomma e altre industrie nella Città della Gomma riducendo i costi di smaltimento dei rifiuti, aumentando le entrate derivanti dalla vendita dei sottoprodotti di scarto e migliorando l'efficienza energetica. Può anche portare a nuove opportunità di sviluppo prodotto e risparmi sui costi attraverso la condivisione di risorse e competenze. • Sostenibilità: la simbiosi industriale può promuovere la sostenibilità nell'industria della gomma riducendo la dipendenza dalle risorse vergini, minimizzando la produzione di rifiuti e promuovendo il recupero e il riutilizzo delle risorse. Può anche contribuire al benessere economico e ambientale a lungo termine della Rubber City creando un'economia più sostenibile e circolare.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Politiche e incentivi governativi: il governo malese ha mostrato interesse nel promuovere la simbiosi industriale come strategia chiave per raggiungere la sostenibilità ambientale e l'efficienza delle risorse. Il governo può fornire finanziamenti,

	<p>agevolazioni fiscali e altri incentivi per incoraggiare i trasformatori di gomma e altre industrie del Kedah ad adottare le pratiche dell'IS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici nelle tecnologie di smistamento, lavorazione e riciclaggio dei rifiuti possono rendere la simbiosi industriale più efficiente ed economica. I trasformatori di gomma e altre industrie nel Kedah possono esplorare le opportunità di adottare queste tecnologie per ridurre i costi delle loro iniziative IS e migliorare le loro prestazioni ambientali. • Coinvolgimento ed educazione del pubblico: The Rubber City può coinvolgere il pubblico nello sviluppo e nell'attuazione della sua iniziativa di simbiosi industriale attraverso campagne di educazione pubblica, workshop comunitari e altri sforzi di sensibilizzazione. Ciò può aumentare la consapevolezza dei vantaggi dell'IS, affrontare le preoccupazioni e ottenere il sostegno pubblico per l'iniziativa. • Integrazione con i principi dell'economia circolare: The Rubber City può integrare la simbiosi industriale con i principi dell'economia circolare per ridurre ulteriormente i rifiuti, promuovere il recupero delle risorse e creare una città più sostenibile. Ciò può comportare l'adozione di pratiche di economia circolare in vari settori, come la progettazione di prodotti per il riciclaggio e la rigenerazione, la pianificazione urbana sostenibile e la gestione dei rifiuti. • Collaborazione con altre regioni: The Rubber City può collaborare con altre regioni che hanno esperienza di simbiosi industriale, come il Giappone e la Corea del Sud. Ciò può aiutare a identificare le migliori pratiche, condividere competenze e accedere a nuove tecnologie.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di investimento iniziali: l'attuazione della simbiosi industriale spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture e tecnologia. Ciò può costituire un ostacolo per i trasformatori di gomma e altre industrie della Rubber City, soprattutto se dispongono di risorse finanziarie limitate. • Complessità di implementazione: la simbiosi industriale implica un coordinamento e una collaborazione complessi tra le varie parti interessate, tra cui i trasformatori di gomma, altre industrie, agenzie governative e organizzazioni comunitarie. Questo può essere difficile da raggiungere, soprattutto in una città con un gran numero di industrie e una popolazione diversificata. • Mancanza di consapevolezza e competenza: potrebbe esserci una mancanza di consapevolezza e competenza sui principi e sulle pratiche di simbiosi industriale tra molti trasformatori di gomma, altre industrie, funzionari governativi e residenti di Kedah. Ciò può rendere difficile identificare e implementare le opportunità IS e ottenere il sostegno pubblico per l'iniziativa. • Ostacoli normativi: alcune normative governative potrebbero rendere difficile l'attuazione di iniziative di simbiosi industriale. Ad esempio, le normative possono limitare lo scambio di determinati tipi di rifiuti o sottoprodotti oppure possono imporre tasse o tariffe sullo smaltimento dei rifiuti.

MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Fluttuazioni economiche: le recessioni economiche possono influenzare la volontà dei trasformatori di gomma e di altri settori di investire in iniziative di simbiosi industriale a causa di vincoli di bilancio. Ciò può rendere difficile mantenere lo slancio dell'iniziativa e raggiungere i suoi obiettivi a lungo termine. • Cambiamenti delle condizioni di mercato: i cambiamenti nelle condizioni di mercato, come le fluttuazioni dei prezzi delle materie prime e dell'energia, possono rendere la simbiosi industriale meno attraente dal punto di vista economico. Ciò può rendere difficile per le aziende trovare partner validi per lo scambio di risorse e giustificare i costi di implementazione delle pratiche IS. • Concorrenza di altri paesi produttori di gomma: altri paesi produttori di gomma, come Thailandia e Indonesia, potrebbero avere costi di produzione più bassi e politiche governative più favorevoli, il che potrebbe rendere difficile per la Malesia competere nel mercato globale della gomma. I trasformatori di gomma nel Kedah potrebbero aver bisogno di trovare modi per differenziare i propri prodotti e servizi per rimanere competitivi.
----------------	--

Il concetto di Rubber City (Fig. 26) è nato all'inizio del 2008 con il focus sulla collaborazione tra i governi della Malesia e della Thailandia per sviluppare industrie della gomma ben integrate nella regione. Kedah è una delle principali regioni produttrici di gomma in Malesia, ed è famosa per le piantagioni di alberi di gomma, "Kedah Rubber City" è stata istituita per fungere da centro di produzione, ricerca e sviluppo nel settore della gomma.

La struttura mira a promuovere la modernizzazione e l'innovazione nell'industria della gomma, nonché a sostenere gli sforzi di esportazione di prodotti a base di gomma.

L'obiettivo di Kedah Rubber City è quello di rafforzare l'industria della gomma in Malesia e aumentare la competitività internazionale della produzione di gomma. Questa iniziativa rientra nei piani di sviluppo economico del paese e mira a diversificare l'economia malese attraverso l'industria della gomma e prodotti correlati.

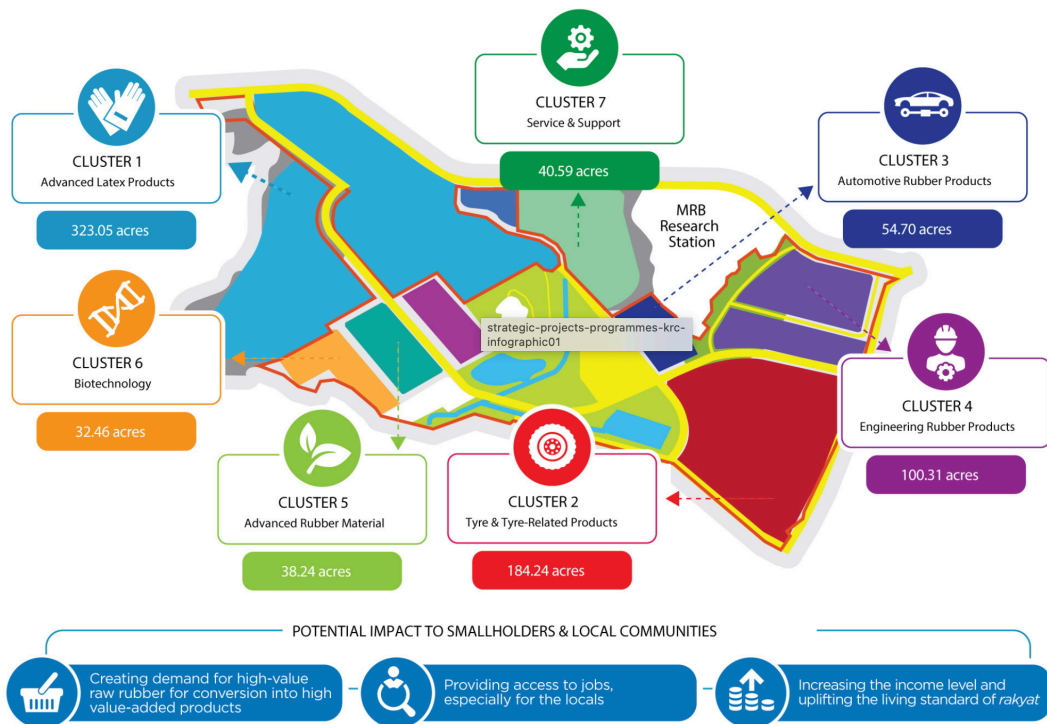


Figura 26- Rubber City (Fonte: <https://www.ncer.com.my/strategic-projects-programmes/thematic-industrial-parks/kedah-rubber-city-krc/>)

S. Sharib e A. Halog hanno utilizzato inizialmente, per la mappatura dei materiali scambiati, la metodologia dell'analisi del flusso dei materiali ed in seguito i risultati sono stati integrati con i dati relativi all'intero ciclo di vita del prodotto (LCA Analysis) sulla base di precedenti studi sugli pneumatici.

Sono stati individuati cinque potenziali canali di simbiosi (Fig. 27) da poter implementare.

Industry source	By-product	Quantity (annual)	By-product potential usage	Potential Industrial symbiosis
Rubber block process	Ammonia nitrogen	9,880 kg	Ammonia waste	Conversion into fertilizer
	Total solid waste	70,720 kg	Rubber crumb filler in cement concrete/polymer asphalt	Cement concrete industry/Polymer asphalt binder
Tire production	Rubber waste	988 kg	Rubber crumb mixing into cement concrete	Cement concrete industry
	Rubber waste	988 kg	Rubber crumb mixing into polymer asphalt binder	Polymer asphalt binder
	Waste water from cooling system	2,198,716 kg	Recycle water for factory in-house used	Feed-in cooling water system
Glove manufacturer	Rejected glove pieces	530,660pieces	Rubber latex grounded into powder form	Incorporation into rubber filler
	Sludge or rubber traps	6728.80 kg	Rubber waste latex into carpet backing	Incorporated into carpet backing
Waste water integrated facilities	Methane	n/a	Methane recovery unit	Feed-in natural gas used for glove production
	Treated effluent	n/a	Treated effluent as bio-fertilizer	Fertilizer company
Co-generation electricity	Biomass wastes and residues	n/a	Produce heat and electricity for internal usage	Feed-in electricity generated for the industries in the area.

Figura 27- Elenco delle potenziali attività simbiotiche di rubber City (Fonte: S. Sharib, A. Halog / Journal of Cleaner Production 141 (2017))

Inoltre, gli autori del caso propongono un'analisi SWOT (Fig. 28) per poter costruire un quadro generale della strategia di simbiosi applicata a Rubber City.

Code

Strengths

- S1 Industrial Ecology is a viable solution for Rubber City
- S2 Application of this process will help in reducing greenhouse gas emissions
- S3 Application of this process will help reduce productivity costs

Weaknesses

- W1 Uncertainties in coordination between government and industries' players
- W2 Technical barrier is main challenge in implementing IS in Rubber City
- W3 The cost of retro-fitting is more viable to reduce NR industries' greenhouse gas emission than application of this concept
- W4 Financial barrier is main challenge in implementing IS in Rubber City

Opportunities

- O1 The development of Rubber City will create jobs in rubber industries and contribute to the national GDP.
- O2 Reduce reliance on fossil fuels
- O3 Development of Rubber City will bring interest and investment from foreign countries

Threat

- T1 Rubber City is not only solution to drive sustainability efforts
 - T2 The development of Rubber City, with its more environmental friendly approach, does not need to be regulated and supported by Government policy
 - T3 Rubber City does not need to be planned strategically to ensure low risk development
 - T4 No socio-economic impact in implementing the project
-

Figura 28- Analisi SWOT per Rubber City (Fonte: S. Sharib, A. Halog / Journal of Cleaner Production 141 (2017))

È stato riscontrato che ciascun fattore emerso nello studio ha un impatto significativo nel plasmare lo sviluppo futuro di Rubber City. Il piano strategico identifica che per uno sviluppo di successo di Rubber City attraverso la simbiosi industriale, è necessario il coordinamento del governo, le istituzioni accademiche e le aziende produttrici di gomma, così come l'educazione e la formazione del pubblico e delle parti interessate.

Rubber City ha il potenziale per trarre grandi benefici dall'applicazione dei concetti di simbiosi industriale (SI). Alcuni modi specifici in cui l'IS potrebbe essere applicato per migliorare le catene del valore della Rubber City:

- I rifiuti di gomma potrebbero essere utilizzati per generare energia. Ad esempio, i rifiuti di gomma potrebbero essere utilizzati per produrre biogas o elettricità. Ciò contribuirebbe a ridurre la dipendenza di Rubber City dai combustibili fossili e a generare entrate per la città.
- I rifiuti di gomma potrebbero essere utilizzati per produrre nuovi prodotti. Ad esempio, la gomma di scarto potrebbe essere utilizzata per produrre prodotti in gomma riciclata, come pavimenti, tappetini e scarpe. Ciò creerebbe nuove opportunità commerciali e posti di lavoro nella Rubber City.
- I sottoprodotti di un impianto di lavorazione della gomma potrebbero essere utilizzati come input per un altro impianto di lavorazione della gomma. Ad esempio, le acque reflue di un impianto potrebbero essere utilizzate come acqua di raffreddamento per un altro impianto. Ciò contribuirebbe a ridurre gli sprechi e a preservare le risorse.

La Rubber City potrebbe sviluppare un sistema di teleriscaldamento e raffreddamento. Questo sistema utilizzerebbe il calore di scarto degli impianti di lavorazione della gomma per riscaldare e raffreddare gli edifici della città. Ciò ridurrebbe il consumo energetico e i costi per le imprese e i residenti nella Rubber City. Per attuare le iniziative IS nella Rubber

City, è importante avere il sostegno del governo e dell'industria della lavorazione della gomma. Il governo può fornire incentivi finanziari e assistenza tecnica alle imprese che implementano pratiche IS. L'industria della lavorazione della gomma può lavorare insieme per identificare e sviluppare opportunità IS. Alcuni passi specifici che la Rubber City potrebbe intraprendere per attuare le iniziative IS:

- Condurre una verifica dei rifiuti e dei sottoprodotti. Questo audit identificherebbe i tipi e le quantità di rifiuti e sottoprodotti generati dagli impianti di lavorazione della gomma nella Rubber City.
- Identificare potenziali opportunità IS. Sulla base dei risultati dell'audit, identificare le potenziali opportunità IS in cui i rifiuti e i sottoprodotti di un impianto possono essere utilizzati come input per un altro impianto.
- Sviluppare piani aziendali per iniziative IS. Per ogni opportunità IS, sviluppare un piano aziendale che delinea i vantaggi e i costi dell'iniziativa.
- Cercare il sostegno del governo e il coinvolgimento dell'industria. Cercare il sostegno del governo per le iniziative dell'IS sotto forma di incentivi finanziari o assistenza tecnica. Coinvolgere l'industria della lavorazione della gomma per identificare potenziali partner e implementare iniziative IS.

Adottando queste misure, Rubber City può migliorare le proprie catene del valore attraverso l'applicazione dei concetti IS. L'IS può aiutare la Rubber City a ridurre i rifiuti, conservare le risorse, creare nuove opportunità di business e generare posti di lavoro.

2.2.7 Il caso di Ulsan

CONTESTO	Ulsan (Corea)
OBIETTIVO	Indagare l'eco-efficienza di Ulsan nell'ambito di una promozione quindicennale (2000-2015) dello sviluppo ecoindustriale (EID), una strategia che mira a migliorare le prestazioni ambientali dei sistemi industriali, promuovendo la collaborazione tra le industrie e sviluppando iniziative di simbiosi industriale (IS).
METODOLOGIA	IPAT Frameworks + DEA Analysis
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione delle emissioni di carbonio: lo sviluppo ecoindustriale (EID) può ridurre significativamente le emissioni di carbonio riducendo il consumo di energia e la produzione di rifiuti. • Maggiore efficienza delle risorse: l'EID migliora l'efficienza delle risorse riutilizzando materiali di scarto e sottoprodotti. • Costi ridotti: l'EID può ridurre i costi per le industrie e le aree urbane riducendo la necessità di risorse vergini e i costi di smaltimento. • Promuove la sostenibilità: l'EID promuove la sostenibilità creando un'economia più circolare.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Crescente interesse per la sostenibilità: esiste un crescente interesse per la sostenibilità tra aziende, governi e consumatori, il che potrebbe creare opportunità per un'adozione più ampia dell'EID. • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici, come le reti di sensori e l'analisi dei dati, possono rendere più semplice identificare e implementare opportunità di simbiosi. • Incentivi governativi: i governi possono fornire incentivi, come agevolazioni fiscali e sussidi, per incoraggiare le imprese ad adottare pratiche EID.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Richiede il sostegno del governo: l'EID richiede il sostegno del governo per superare barriere come i costi di investimento iniziali e gli ostacoli normativi. • Richiede la partecipazione dell'industria: l'EID richiede la partecipazione attiva delle industrie per identificare e implementare opportunità di simbiosi. • Richiede il coinvolgimento della comunità: l'EID richiede il coinvolgimento della comunità per garantire che le iniziative di simbiosi siano in linea con i bisogni della comunità.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Recessione economica: una recessione economica potrebbe rendere più difficile per le imprese investire in iniziative EID. • Modifiche alle normative governative: le modifiche alle normative governative potrebbero rendere più difficile o costosa l'implementazione delle iniziative EID. • Mancanza di consapevolezza pubblica: una mancanza di consapevolezza pubblica sull'EID potrebbe rendere difficile ottenere sostegno per l'attuazione.

La città di Ulsan, in Corea del Sud, ha subito una significativa trasformazione in termini di sviluppo ecoindustriale (EID) negli ultimi decenni. La città è passata da un complesso industriale tradizionale a un parco ecoindustriale (EIP) con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale e all'efficienza economica. Uno studio di Park et al. (2020) hanno utilizzato un'analisi di ecoefficienza per monitorare la transizione alla sostenibilità urbana di Ulsan. Dallo studio è emerso che Ulsan ha compiuto progressi significativi nel miglioramento della propria ecoefficienza, misurata dal rapporto tra produzione economica e impatto ambientale. Lo studio ha identificato una serie di fattori che hanno contribuito al successo dell'EID di Ulsan, tra cui:

- Sostegno del governo: il governo sudcoreano ha fornito un forte sostegno allo sviluppo dell'EID a Ulsan, compresi incentivi finanziari, assistenza tecnica e riforme normative.
- Coinvolgimento dell'industria: le industrie di Ulsan sono state attivamente impegnate in iniziative EID, come lo scambio di rifiuti, la condivisione dell'energia e il riutilizzo dell'acqua.
- Pianificazione a lungo termine: Ulsan ha sviluppato una strategia EID a lungo termine che delinea i suoi scopi e obiettivi.

Lo studio conclude che la trasformazione EID di Ulsan è un modello per altre città che stanno cercando di migliorare la propria sostenibilità ambientale e le prestazioni economiche.

Alcune lezioni specifiche apprese dall'esperienza EID di Ulsan:

- Il sostegno del governo è essenziale per il successo dell'attuazione delle iniziative EID.
- L'impegno del settore è fondamentale, poiché sono i settori che alla fine implementeranno le pratiche EID.
- È necessaria una pianificazione a lungo termine per garantire che le iniziative EID siano in linea con gli obiettivi generali di sviluppo della città.

Altre città interessate ad attuare iniziative EID possono imparare dall'esperienza di Ulsan e sviluppare le proprie strategie EID in base alle loro esigenze e risorse specifiche.

La metropoli di Ulsan (Fig. 29), quindi, promuove la simbiosi industriale da decenni ed è una parte fondamentale del programma nazionale coreano "Eco-industrial Parks" dal 2005. Essendo una città industriale di fama mondiale, la transizione verso la sostenibilità di Ulsan

attraverso i concetti di simbiosi può offrire spunti chiave anche ad altre economie emergenti.

Ulsan, definita come il motore della crescita dell'economia coreana, si trova nel sud-est della Corea ed è stata la regione industriale più significativa per oltre 40 anni. Ulsan ha una superficie totale di 1.061 km² e una popolazione di circa 1,2 milioni di abitanti, con una quota del 2% nella popolazione nazionale. Inoltre, grazie alla sua posizione vicino alla costa, Ulsan è considerata la porta d'accesso ai mercati nazionali ed esteri con le principali industrie che comprendono la produzione petrolchimica, chimica, non ferrosa, automobilistica e navale. Grazie alla sua ampia base industriale, il PIL pro capite di Ulsan (65,52 milioni di KRW) era quasi il doppio della media nazionale, nel 2018.

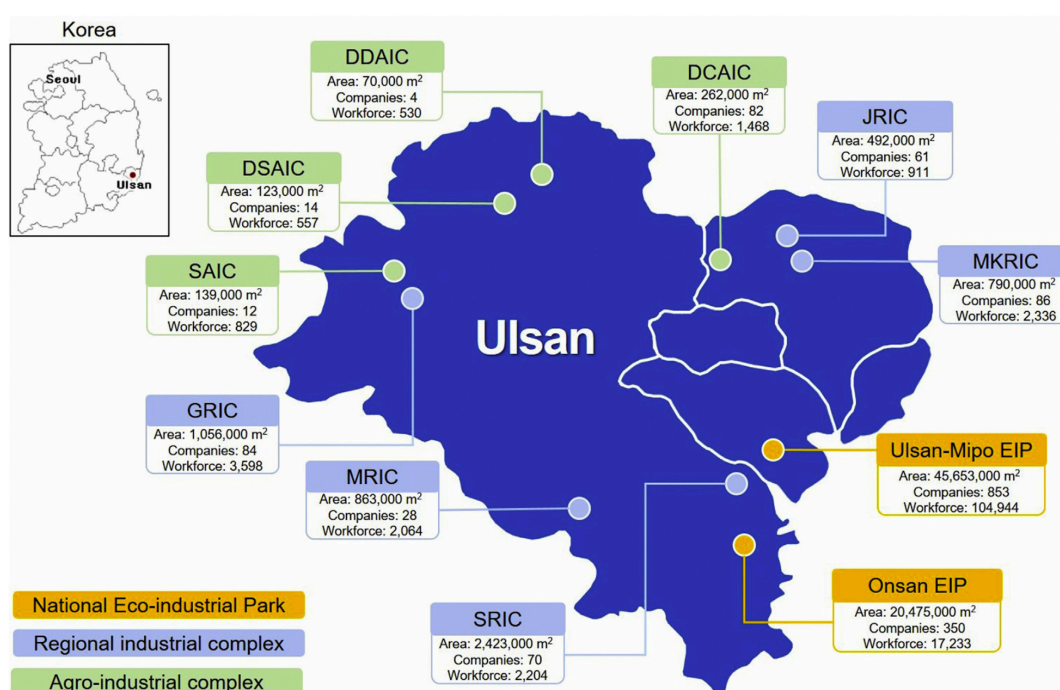


Figura 29- Mappa di Ulsan con indicazioni sui parchi eco industriali. (Fonte: H. Shah et al. / Journal of Cleaner Production 262 (2020))

La base industriale è composta da due grandi parchi eco industriali e nove complessi industriali regionali, dove sono stati implementati diversi progetti sulla valorizzazione dei rifiuti, il recupero energetico, la messa in rete del vapore, la condivisione di CO₂, lo scambio di risorse, ecc.... Inoltre, la simbiosi urbano-industriale è emersa anche a Ulsan, estendendo i confini dell'EIP all'intera regione di Ulsan. Ad esempio, gli inceneritori di rifiuti industriali di Yoosung forniscono vapore ad una industria della carta (carta Hankuk) e gli inceneritori di rifiuti urbani a Sungam forniscono vapore a un'azienda produttrice di acidi (Hyosung Chemicals). La metodologia utilizzata dagli autori del caso comprende sia il metodo "IPAT framework" sia l'analisi DEA (Data Envelopment Analysis).

L'analisi IPAT (Impact = Population x Affluence x Technology) è un modello concettuale utilizzato in ecologia e scienze ambientali per esaminare l'impatto dell'attività umana sull'ambiente. L'equazione IPAT scompone l'impatto ambientale in tre componenti chiave: la popolazione (P), l'affluenza (A) e la tecnologia (T).

L'IPAT viene utilizzato per valutare come la crescita della popolazione, il livello di affluenza e il grado di tecnologia influenzino l'impatto ambientale, aiutando a identificare i fattori che contribuiscono all'uso delle risorse e all'inquinamento.

L'analisi DEA è una tecnica di valutazione della performance utilizzata nell'ambito della gestione e dell'economia. Misura l'efficienza relativa di diverse unità decisionali (ad esempio, aziende, ospedali, scuole) nell'utilizzo delle risorse per produrre output.

L'analisi DEA valuta come le unità decisionali utilizzano input (risorse) per generare output (prodotti o servizi) e calcola un indice di efficienza. Le unità con un indice di efficienza pari a 1 sono considerate efficienti, mentre quelle con un indice inferiore a 1 sono considerate inefficienti. Questa metodologia è spesso utilizzata per migliorare la gestione, identificare le migliori pratiche e confrontare la performance di diverse entità.

I risultati dell'eco-efficienza a livello regionale, che illustrano i miglioramenti dell'eco-efficienza per i rifiuti industriali e il consumo di energia nel periodo 2000-2015, sono presentati nella Fig. 30.

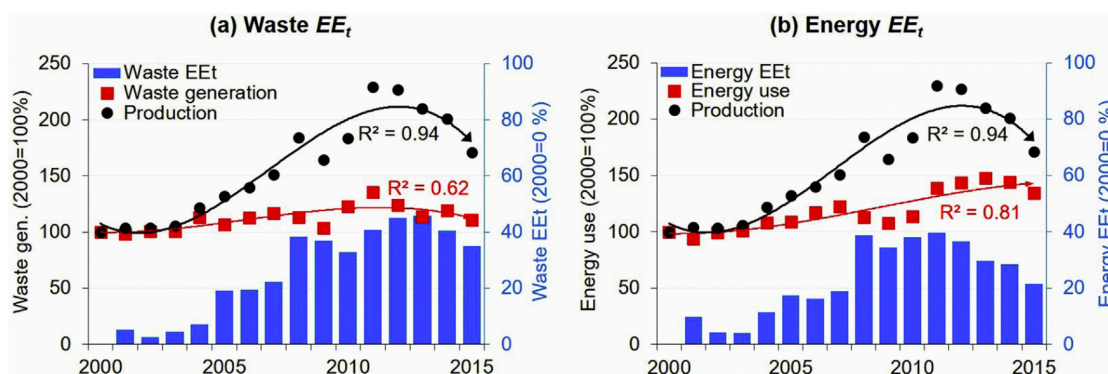


Figura 30- Eco-efficienza sulla produzione di rifiuti (a) e sull'utilizzo di energia (b) (Fonte: I.H. Shah et al. / Journal of Cleaner Production 262 (2020))

Come si vede, l'eco-efficienza di Ulsan è migliorata sia per i rifiuti industriali che per l'energia nel periodo di studio. Alla fine del 2005, l'eco-efficienza era migliorata del 19,1% e del 17,4% rispettivamente per la produzione di rifiuti e l'uso di energia, rispetto al 2000. In questo periodo, il progetto di parco eco industriale di Ulsan ha iniziato a sviluppare

ulteriormente gli scambi simbiotici preesistenti e non pianificati, concentrandosi sul recupero di energia e sulla riduzione dei rifiuti. Alla fine del 2010, l'eco-efficienza industriale è migliorata del 32,8% e del 38,0% rispettivamente per la produzione di rifiuti e l'utilizzo di energia. A quel punto erano in fase di attuazione più di 13 progetti di simbiosi industriale e diversi programmi di produzione più pulita e di efficienza delle risorse, che hanno contribuito al miglioramento dell'eco-efficienza a livello macro. Nel 2015, l'eco-efficienza industriale era pari al 35,0% e al 21,4% per la produzione di rifiuti e l'uso di energia, rispettivamente, rispetto all'anno 2000.

2.3. Europa

Tra gli articoli scientifici selezionati per il confronto sono presenti solo tre studi relativi a casi di simbiosi urbana applicati a città Europee: il caso di Rotterdam, Göteborg in Svezia e Zakopane in Polonia.

2.3.1 Il caso di “Rotterdam Energy Approach and Planning (REAP)”

CONTESTO	Rotterdam (Paesi Bassi)
OBIETTIVO	Identificare come gli attori urbani possano facilitare la gestione delle risorse urbane tramite simbiosi urbana
METODOLOGIA	Critical case study methodology
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Impatto ambientale ridotto: REAP ha ridotto significativamente l'impatto ambientale di Rotterdam riducendo il consumo di energia, la produzione di rifiuti e le emissioni di gas serra. • Miglioramento dell'efficienza energetica: REAP ha migliorato l'efficienza energetica di Rotterdam utilizzando il calore di scarto e altri sottoprodotti delle industrie. • Promozione dell'energia rinnovabile: REAP ha promosso l'uso dell'energia rinnovabile a Rotterdam investendo nell'energia solare ed eolica. • Opportunità economiche create: REAP ha creato opportunità economiche a Rotterdam attirando nuove imprese e creando posti di lavoro nell'economia verde.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Modello replicabile: REAP può essere replicato in altre città come modello di simbiosi urbana. • Attrae investimenti: il REAP può attrarre investimenti nell'economia verde, che può creare posti di lavoro e stimolare lo sviluppo economico. • Riduce la dipendenza dai combustibili fossili: REAP può aiutare le città a ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e a passare a un futuro energetico più sostenibile.

	<ul style="list-style-type: none"> • Migliora la qualità dell'aria: REAP può migliorare la qualità dell'aria nelle città riducendo le emissioni delle industrie e dei veicoli.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi iniziali elevati: REAP richiedeva un investimento iniziale significativo, che costituiva una barriera all'ingresso per molte aziende. • Complessità di implementazione: REAP è stato un progetto complesso da implementare e ha richiesto un elevato grado di coordinamento tra le diverse parti interessate. • Scalabilità limitata: REAP è stato progettato specificamente per Rotterdam e potrebbe non essere facilmente scalabile ad altre città. • Dipendenza dai finanziamenti pubblici: il REAP dipendeva fortemente dai finanziamenti pubblici, il che lo rendeva vulnerabile ai tagli di bilancio.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Recessioni economiche: le recessioni economiche possono rendere difficile per le città investire in progetti come REAP. • Cambiamenti nella politica governativa: i cambiamenti nella politica governativa potrebbero rendere più difficile o costosa l'attuazione di progetti di simbiosi urbana. • Mancanza di consapevolezza pubblica: una mancanza di consapevolezza pubblica della simbiosi urbana potrebbe rendere difficile ottenere sostegno per l'attuazione. • Concorrenza di altre città: altre città potrebbero implementare progetti di simbiosi urbana e ottenere un vantaggio competitivo in termini di sostenibilità ambientale ed efficienza energetica.

“Rotterdam Energy Approach and Planning (REAP)” è un progetto che mira a facilitare le sinergie delle risorse urbane tra le varie funzioni urbane. È stato avviato dall'autorità locale di Rotterdam insieme alla collaborazione di diversi attori quali architetti, istituzioni accademiche, sviluppatori e aziende energetiche. REAP tenta di chiudere i cicli delle risorse e dei rifiuti a livello locale, facilitando il riutilizzo dei flussi di energia e acqua.

Per analizzare REAP è stata utilizzata una metodologia di studio di casi critici, gli autori dello studio hanno raccolto i dati attraverso revisioni della letteratura scientifica, visite in loco e 11 interviste semi strutturate condotte da febbraio 2012 ad aprile 2014 con rappresentanti dell'autorità locale di Rotterdam, dell'Università Tecnica di Delft, società di architettura, società di ingegneria, “Amsterdam's Planning Departmente” e il Ministero delle Infrastrutture e dell'Ambiente.

Il Rotterdam Energy Approach and Planning (REAP) è un approccio collaborativo tra la città di Rotterdam e i suoi stakeholder per realizzare una città a zero emissioni di carbonio entro il 2050. REAP è un caso di simbiosi urbana, poiché prevede lo scambio di materiali, energia e sottoprodotti tra i diversi settori della città.

REAP ha quattro pilastri principali:

- Efficienza energetica: Rotterdam sta lavorando per migliorare l'efficienza energetica in tutti i settori della città, compresi gli edifici, l'industria e i trasporti.
- Energia rinnovabile: Rotterdam sta sviluppando fonti di energia rinnovabile, come l'energia solare, eolica e da biomassa.
- Reti energetiche intelligenti: Rotterdam sta sviluppando reti energetiche intelligenti in grado di integrare e gestire fonti di energia rinnovabile e distribuire l'energia in modo più efficiente.
- Pianificazione urbana sostenibile: Rotterdam sta progettando una città più sostenibile, anche promuovendo lo sviluppo compatto, i pedoni e la bicicletta.

REAP ha avuto successo anche in termini di coinvolgimento delle parti interessate. La città ha lavorato a stretto contatto con imprese, residenti e altre parti interessate per sviluppare e implementare iniziative REAP.

L'approccio e la pianificazione energetica di Rotterdam sono un buon esempio di come le autorità locali possano svolgere un nuovo ruolo in un periodo di cambiamento climatico. Le autorità locali possono svolgere un ruolo chiave nel facilitare e coordinare le iniziative di simbiosi urbana. Ciò può aiutare le città a ridurre il loro impatto ambientale, migliorare la loro resilienza ai cambiamenti climatici e creare comunità più sostenibili e vivibili.

Alcune lezioni specifiche apprese dall'esperienza di Rotterdam con REAP:

- Le autorità locali possono svolgere un ruolo chiave nel facilitare e coordinare le iniziative di simbiosi urbana.
- Il coinvolgimento delle parti interessate è essenziale per il successo delle iniziative di simbiosi urbana.
- Le iniziative di simbiosi urbana possono avere una serie di vantaggi per le città, tra cui un ridotto impatto ambientale, una migliore resilienza ai cambiamenti climatici e nuove opportunità commerciali.

Altre città possono imparare dall'esperienza di Rotterdam e sviluppare le proprie strategie di simbiosi urbana basate sulle loro specifiche esigenze e risorse.

Ciò che è emerso dallo studio è che il ruolo dell'autorità governativa locale è fondamentale per la fase iniziale del progetto in quanto funge da coordinatore, facilitatore e fornitore di informazioni.

Il limitato impegno degli attori esterni durante la fase di progettazione ha però ridotto la loro partecipazione durante la fase di attuazione del progetto. È necessario quindi un maggior coinvolgimento anche durante la fase iniziale di progettazione verso tutti gli attori

per garantire la massima partecipazione alle iniziative di simbiosi. Meno coinvolti sono gli abitanti delle città, anche se, come utenti finali, rappresentano un importante gruppo di attori. Rotterdam coinvolge i cittadini all'interno del REAP in modo limitato, almeno nel breve termine. La partecipazione degli abitanti delle città alla simbiosi urbana richiederà sforzi focalizzati sulla comunicazione e sulla sensibilizzazione per spiegare cos'è il REAP e i suoi benefici, così come possibili discussioni con, ad esempio, le imprese locali o i gruppi di quartiere. La simbiosi urbana si basa sulla natura complessa della simbiosi industriale che ha luogo nei parchi eco-industriali e porta con sé nuove e ulteriori complessità dal punto di vista dell'organizzazione sociale e della governance poiché le città generalmente includono un insieme più diversificato di gruppi di attori (dalle aziende, ai cittadini) rispetto ai parchi industriali.

2.3.2 Il caso di Göteborg in Svezia

CONTESTO	Göteborg (Svezia)
OBBIETTIVO	Sviluppare un metodo per la mappatura dei cluster di simbiosi
METODOLOGIA	Closed loop supply chain (CLSC)
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Conservazione delle risorse: la simbiosi industriale (IS) può ridurre significativamente il consumo di risorse nelle comunità urbane promuovendo il riutilizzo delle risorse e lo scambio tra industrie e imprese. Ciò può portare a una diminuzione della dipendenza dalle risorse vergini e a una riduzione della produzione di rifiuti. • Benefici ambientali: IS può ridurre l'inquinamento ambientale nelle comunità urbane riducendo al minimo la produzione di rifiuti, promuovendo l'uso di tecnologie più pulite e riducendo il consumo di energia. Ad esempio, le aziende possono scambiare calore di scarto e acqua, riducendo così il consumo energetico e l'inquinamento idrico. • Benefici economici: IS può generare benefici economici per le imprese e le comunità urbane riducendo i costi di smaltimento dei rifiuti, aumentando le entrate derivanti dalla vendita dei sottoprodotti dei rifiuti e migliorando l'efficienza energetica. Ciò può anche portare a nuove opportunità di sviluppo prodotto e risparmi sui costi attraverso la condivisione di risorse e competenze. • Benefici sociali: IS e può contribuire a migliorare il benessere sociale nelle comunità urbane creando posti di lavoro, fornendo opportunità di formazione e promuovendo la crescita economica. Ciò può portare a una riduzione della povertà, a un migliore accesso all'istruzione e a una maggiore coesione sociale. • Sostenibilità: IS può promuovere la sostenibilità nelle comunità urbane riducendo la dipendenza dalle risorse vergini, minimizzando la produzione di rifiuti e promuovendo

	<p>il recupero e il riutilizzo delle risorse. Ciò può contribuire al benessere economico, ambientale e sociale a lungo termine delle comunità urbane.</p>
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Politiche e incentivi governativi: i governi possono fornire politiche, incentivi e finanziamenti per incoraggiare le imprese e le comunità urbane ad adottare pratiche IS. Ciò può includere agevolazioni fiscali, sussidi e finanziamenti per la ricerca e lo sviluppo, nonché assistenza tecnica e supporto per l'attuazione. • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici nelle tecnologie di smistamento, trattamento e riciclaggio dei rifiuti possono rendere IS più efficiente ed economico. Le aziende possono esplorare le opportunità di adottare queste tecnologie per ridurre i costi delle proprie iniziative IS e migliorare le proprie prestazioni ambientali. • Coinvolgimento ed educazione del pubblico: governi, imprese e organizzazioni comunitarie possono coinvolgere il pubblico nello sviluppo e nell'implementazione di iniziative IS attraverso campagne di educazione pubblica, workshop comunitari e altri sforzi di sensibilizzazione. Ciò può aumentare la consapevolezza dei vantaggi dell'IS, affrontare le preoccupazioni e ottenere il sostegno pubblico per tali iniziative. • Integrazione con i principi dell'economia circolare: IS può essere efficacemente integrati con i principi dell'economia circolare per ridurre ulteriormente i rifiuti, promuovere il recupero delle risorse e creare un'economia urbana più sostenibile. Ciò può comportare l'adozione di pratiche di economia circolare in vari settori, come la progettazione di prodotti per il riciclaggio e la rigenerazione, la pianificazione urbana sostenibile e la gestione dei rifiuti. • Collaborazione internazionale: le comunità urbane possono collaborare con altre città e regioni che hanno esperienza con IS per condividere le migliori pratiche, imparare dalle reciproche esperienze e accedere a nuove tecnologie e competenze.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di investimento iniziali: l'implementazione dell'IS spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture e tecnologia. Ciò può rappresentare un ostacolo per le imprese e le comunità urbane, soprattutto quelle con risorse finanziarie limitate. • Complessità di implementazione: IS implica un coordinamento e una collaborazione complessi tra le varie parti interessate, tra cui aziende, agenzie governative, organizzazioni comunitarie e consumatori. Ciò può essere difficile da raggiungere, soprattutto nelle comunità urbane grandi e diversificate. • Mancanza di consapevolezza e competenza: potrebbe esserci una mancanza di consapevolezza e competenza sui principi e sulle pratiche IS tra molte aziende, funzionari governativi e residenti delle comunità urbane. Ciò può rendere difficile identificare e implementare le opportunità IS e ottenere il sostegno pubblico per tali iniziative. • Ostacoli normativi: alcune normative governative potrebbero rendere difficile l'attuazione delle iniziative IS. Ad esempio, le normative possono limitare lo scambio

	di determinati tipi di rifiuti o sottoprodotti oppure possono imporre tasse o tariffe sullo smaltimento dei rifiuti.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Fluttuazioni economiche: le recessioni economiche possono influenzare la volontà delle imprese di investire in iniziative IS a causa di vincoli di bilancio. Ciò può rendere difficile mantenere lo slancio di tali iniziative e raggiungere i loro obiettivi a lungo termine. • Cambiamenti delle condizioni di mercato: i cambiamenti nelle condizioni di mercato, come le fluttuazioni dei prezzi delle materie prime e dell'energia, può rendere IS meno attraente dal punto di vista economico. Ciò può rendere difficile per le aziende trovare partner validi per lo scambio di risorse o giustificare i costi di implementazione delle pratiche IS. • Concorrenza di altre comunità urbane: altre comunità urbane potrebbero implementare iniziative IS e ottenere un vantaggio competitivo in termini di efficienza delle risorse, sostenibilità ambientale e sviluppo economico. Per rimanere competitive, le comunità urbane devono garantire che le loro iniziative IS siano innovative, economicamente vantaggiose e adattabili alle mutevoli condizioni del mercato.

La combinazione della simbiosi industriale (SI) con la gestione sostenibile della catena di fornitura (SSCM) può rappresentare una potente strategia per lo sviluppo delle comunità urbane. L'IS è un approccio collaborativo tra le industrie di un cluster geografico per scambiare materiali, energia e sottoprodotti per migliorare le prestazioni ambientali ed economiche. SSCM è un approccio olistico alla gestione della catena di fornitura che considera fattori ambientali, sociali ed economici.

Il caso studio analizzato da Rosado et al. tratta due distretti nel nord-est di Göteborg. La regione dei due distretti comprende un quarto dell'area del comune e il 20% della sua popolazione. Questa parte di Göteborg è caratterizzata da un alto tasso di disoccupazione. È noto che una parte significativa della popolazione (circa il 75%) è rappresentata da immigrati provenienti principalmente da paesi stranieri. Questa popolazione possiede competenze nel campo dell'agricoltura e della produzione alimentare che non sono state utilizzate. L'area geografica dello studio ha un terreno aperto ampio e adatto all'agricoltura e ricco di risorse naturali.

L'azienda municipale Utveckling Nordost (UNO), incaricata dalla città di promuovere lo sviluppo economico del nord-est di Göteborg, ha fornito una piattaforma per il metodo della simbiosi industriale facilitata in quest'area.

Il metodo proposto dagli autori si basa su una catena di fornitura a ciclo chiuso che comprende cinque fasi: l'approvvigionamento, la produzione, la logistica, il consumo e il fine vita. (Fig. 31)

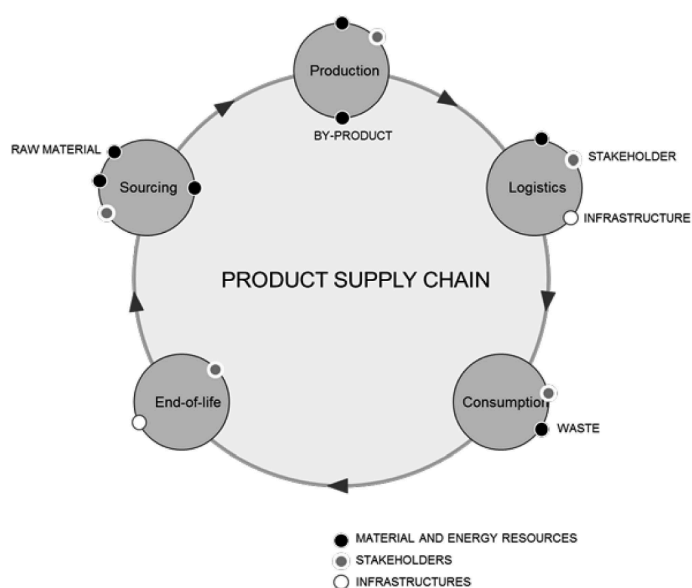


Figura 31- Rappresentazione della supply chain a ciclo chiuso (Fonte: IEEE Engineering Management review vol. 47)

A differenza delle tradizionali supply chain che si concludono con il consumo da parte del cliente, il metodo include processi di restituzione per acquisire ulteriore valore. Questi processi di restituzione consentono anche di ottenere benefici ambientali nelle fasi della catena di fornitura che vanno dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento finale del prodotto. I processi di restituzione che si snodano lungo la catena di fornitura sono: l'acquisizione dei prodotti dagli utenti finali; la logistica inversa per spostare i prodotti dal luogo di utilizzo al punto di smaltimento; i test, la selezione e lo smaltimento per valutare le condizioni dei prodotti per un riutilizzo efficace; il riutilizzo diretto, la riparazione, il riciclaggio, lo smaltimento o il recupero di energia e la commercializzazione per vendere e distribuire i prodotti riparati.

L'obiettivo del metodo è massimizzare la simbiosi attraverso i collegamenti dell'intera supply chain. Inizialmente sono state raccolte informazioni dall'UNO e da altre autorità locali per preparare l'impegno con gli stakeholder del settore produttivo. Sono stati analizzati i risultati di studi precedenti rilevanti e sono stati presi in considerazione i possibili contributi agli obiettivi locali, come l'obiettivo del Comune di Göteborg di ridurre l'impronta di carbonio delle proprie attività, comprese le minori emissioni associate al cibo servito in scuole, asili e case di riposo.

Le informazioni sono servite come base per delineare le principali parti interessate e le opportunità di cooperazione con l'IS nell'area. Sono stati identificati i fattori chiave di successo e le barriere che potrebbero esistere.

Sono state stabilite le potenziali sinergie tra i diversi attori locali, legati alla produzione, alla distribuzione e alla vendita di alimenti, nonché al turismo alimentare. È stata inoltre discussa la produzione di rifiuti nelle diverse fasi delle catene di prodotto. Le principali parti interessate sono state il punto di partenza per determinare le filiere dei prodotti. Sono state identificate quattro filiere relative agli allevamenti di agnello, manzo e pollo e la coltivazione di frutta e verdura (Figura 32).

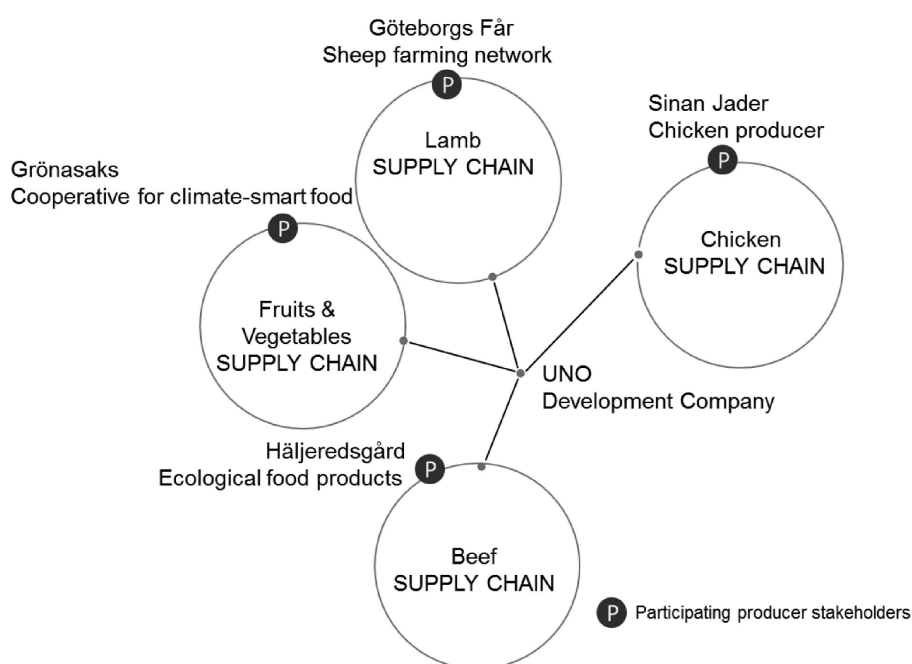


Figura 32- Identificazione delle 4 filiere principali (Fonte: IEEE Engineering Management review vol. 47)

In seguito, sono stati organizzati dei workshop con gli attori interessati per la divulgazione delle informazioni necessarie alla collaborazione e la definizione degli stakeholders (Fig. 33).

Supply-chain phase	Stakeholder type	Stakeholder	Status	Description	
Sourcing	Social cooperatives	Häljeredsgård	Existing	A cattle farm that produces biogas from the its farm waste and can supply the resulting fertilizer	
	Retailers	ICA Nära	Existing	A supermarket that can provide waste heat and space for vegetable production	
Production	Individual farmers	Sinan Jader	Existing	Ecological poultry production	
	Farmers network	Göteborgs Får	Planned	Sheep farming network	
		Grönasaks	Existing	Cooperative producing climate-smart food products that also has an established retail and logistics setup	
	Social cooperatives	Häljeredsgård	Existing	Produces ecological food products (beef and milk), produces biogas from the farm waste, exhibits as an energy-farm	
	Waste exchangers	Göteborgs Får	Planned	Exchange of farm waste	
Logistics	Logistics services	Eko-logistik	Existing	Formed by the organizations Lokalt Göteborg and Utveckling Nordost, committed to the collective logistics, distribution and finding the customers	
		Lokalt Göteborg	Existing	Platform for farmers to advertise their products	
		Grönasaks	Existing	Provides logistics services	
	Infrastructures providers	Göteborgs Får	Planned	Meat processing facility	
	Retailers	Lärjeåns K&T and other garden shops	Existing	Garden shop	
		ICA Nära	Existing	Super market	
		Grönasaks	Existing	Provides retail services	
		Farmer markets	Existing	Local markets set up by social cooperatives and farmer groups	
	Consumption	Private consumers	Pigalle	Existing	Hotel with a restaurant
			Restaurants	Existing	Cafés and restaurants that prepare meals from ecological or locally-produced food products
Households			Existing		
Public consumer		Public sector establishments	Existing	Schools, hospitals, elderly homes etc.	
End of Life	Municipal	Waste/sewage treatment company	Existing	Collection of food waste from homes and restaurants for anaerobic digestion to produce biogas, with residue being used as fertilizer. Anaerobically digestion of sewage sludge.	

Figura 33- Lista degli stakeholders per Göteborg (Fonte: IEEE Engineering Management review vol. 47)

In seguito, la figura 34 mostra i potenziali scambi di risorse tra l'insieme iniziale di stakeholder partecipanti. Nell'esempio, le filiere dell'agnello e della carne bovina sono fuse insieme a causa di caratteristiche simili.

Sono state identificate opportunità di scambio di risorse, come l'utilizzo dei rifiuti della filiera del pollo e dei residui organici come fertilizzante per la produzione di ortaggi.

Le economie di scala esterne possono essere create nel cluster condividendo le quattro infrastrutture della catena di approvvigionamento. Tra i partner esterni figurano i servizi di

distribuzione delle aziende “Eco-logistic” e “Gronsaks”, la piattaforma di lavorazione della carne di “Goteborg Far” e il servizio di catering di “Lokalt Goteborg”.

Chiude il cerchio della supply chain la raccolta dei rifiuti alimentari delle case e dai ristoranti da parte del servizio comunale di raccolta rifiuti che saranno destinati alla produzione di biogas e fertilizzanti.

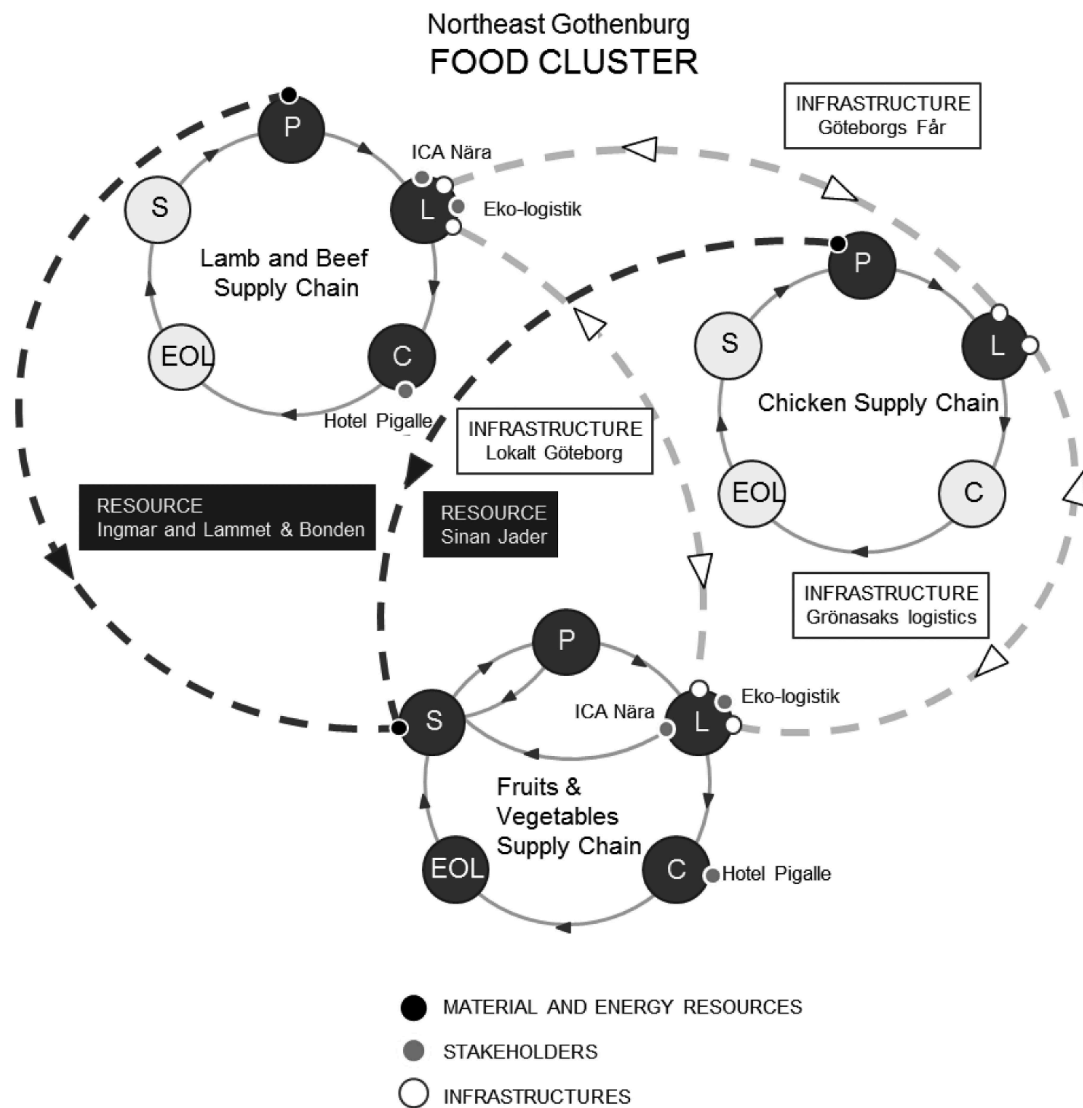


Figura 34- Simbiosi industriale urbana a Göteborg (Fonte: IEEE Engineering Management review vol. 47)

Sono stati individuati diversi punti di forza e di debolezza. Ad esempio, lo stretto contatto tra produttori locali e ristoranti è risultato essere un punto di forza. I produttori sono in grado di personalizzare i loro prodotti per i ristoranti, favorendo così relazioni durature con i clienti. Inoltre, la flessibilità della produzione su piccola scala consente un più facile adattamento dei processi produttivi, ad esempio per una produzione ecologica.

Tra i limiti individuati, le grandi catene di distribuzione richiedono che i prodotti alimentari, soprattutto le verdure, siano conformi a vincoli di dimensione e forma. La limitata capacità di produzione delle aziende di piccole dimensioni è un vincolo per le forniture e le vendite del settore pubblico. È possibile però venire in contro a questi vincoli aggiungendo coerentemente imprese alla rete simbiotica.

2.3.3 Caso studio della città di Zakopane in Polonia

CONTESTO	Zakopane (Polonia)
OBIETTIVO	Adottare strategie di simbiosi industriale per aumentare la produzione di energia rinnovabile e ridurre così l'inquinamento atmosferico.
METODOLOGIA	WTP
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento della produzione di energia rinnovabile: i cluster energetici possono aumentare significativamente la produzione di energia rinnovabile nelle città facilitando lo sviluppo e la diffusione di tecnologie di energia rinnovabile. Ciò può aiutare le città a ridurre la loro dipendenza dai combustibili fossili e a raggiungere i loro obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico. • Miglioramento dell'efficienza energetica: i cluster energetici possono migliorare l'efficienza energetica nelle città promuovendo la condivisione delle risorse e delle infrastrutture energetiche. Ciò può comportare una riduzione del consumo energetico e una riduzione dei costi per imprese e residenti. • Impatto ambientale ridotto: i cluster energetici possono ridurre l'impatto ambientale della produzione di energia nelle città promuovendo l'uso di fonti energetiche rinnovabili e riducendo al minimo la produzione di rifiuti. Ciò può migliorare la qualità dell'aria, ridurre le emissioni di gas serra e proteggere le risorse idriche. • Benefici economici: i cluster energetici possono generare benefici economici per le città creando posti di lavoro, attirando investimenti e promuovendo lo sviluppo delle imprese locali. Ciò può portare a un aumento delle entrate fiscali, a una riduzione della disoccupazione e a un miglioramento della qualità della vita. • Maggiore sostenibilità urbana: i cluster energetici possono contribuire alla sostenibilità a lungo termine delle città riducendo la loro dipendenza dai combustibili fossili, migliorando l'efficienza energetica e minimizzando la produzione di rifiuti. Ciò può aiutare le città ad adattarsi ai cambiamenti climatici e a costruire un futuro più resiliente.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • Politiche e incentivi governativi: i governi possono fornire politiche, incentivi e finanziamenti per incoraggiare le città a sviluppare e implementare cluster energetici. Ciò può includere agevolazioni fiscali, sussidi e finanziamenti per la ricerca e lo sviluppo, nonché assistenza tecnica e supporto per l'attuazione.

	<ul style="list-style-type: none"> • Progressi tecnologici: i progressi tecnologici nelle tecnologie delle energie rinnovabili, nei sistemi di stoccaggio dell'energia e nelle tecnologie delle reti intelligenti possono rendere i cluster energetici più efficienti ed economici. Le città possono esplorare le opportunità per adottare queste tecnologie per ridurre i costi delle loro iniziative di cluster energetici e migliorare le loro prestazioni ambientali. • Coinvolgimento pubblico ed educazione: i governi, le imprese e le organizzazioni comunitarie possono coinvolgere il pubblico nello sviluppo e nell'implementazione di iniziative di cluster energetici attraverso campagne di educazione pubblica, workshop comunitari e altri sforzi di sensibilizzazione. Ciò può aumentare la consapevolezza sui vantaggi dei cluster energetici, affrontare le preoccupazioni e ottenere il sostegno pubblico per tali iniziative. • Integrazione con la pianificazione urbana sostenibile: i cluster energetici possono essere efficacemente integrati con i principi di pianificazione urbana sostenibile per creare città più sostenibili e vivibili. Ciò può comportare lo sviluppo di comunità compatte e ad uso misto, la promozione del trasporto pubblico e l'implementazione di codici di costruzione efficienti dal punto di vista energetico. • Collaborazione internazionale: le città possono collaborare con altre città e regioni che hanno esperienza con i cluster energetici per condividere le migliori pratiche, imparare dalle reciproche esperienze e accedere a nuove tecnologie e competenze.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none"> • Costi di investimento iniziali: l'implementazione di cluster energetici spesso richiede notevoli investimenti iniziali in infrastrutture e tecnologia. Ciò può rappresentare un ostacolo per le città, soprattutto per quelle con risorse finanziarie limitate. • Complessità di implementazione: i cluster energetici implicano un coordinamento e una collaborazione complessi tra le varie parti interessate, tra cui agenzie governative, imprese, organizzazioni comunitarie e fornitori di energia. Questo può essere difficile da raggiungere, soprattutto nelle città grandi e diversificate. • Mancanza di consapevolezza e competenza: potrebbe esserci una mancanza di consapevolezza e competenza sui principi e sulle pratiche dei cluster energetici tra molti funzionari comunali, imprese e residenti. Ciò può rendere difficile identificare e implementare le opportunità dei cluster energetici e ottenere il sostegno pubblico per tali iniziative. • Ostacoli normativi: alcune normative governative potrebbero rendere difficile l'implementazione di iniziative di cluster energetici. Ad esempio, le normative possono limitare lo scambio di risorse energetiche o imporre tasse o tariffe sulla produzione di energia rinnovabile
MINACCE	<ul style="list-style-type: none"> • Fluttuazioni economiche: le recessioni economiche possono influenzare la volontà delle città e delle imprese di investire in iniziative di cluster energetici a causa di vincoli di bilancio. Ciò può rendere difficile mantenere lo slancio di tali iniziative e raggiungere i loro obiettivi a lungo termine.

	<ul style="list-style-type: none"> • Mercati energetici in evoluzione: i cambiamenti nei mercati energetici, come le fluttuazioni dei prezzi dei combustibili fossili e delle tecnologie di energia rinnovabile, possono influenzare la sostenibilità economica dei cluster energetici. Per rimanere competitive, le città devono garantire che le loro iniziative di cluster energetici siano adattabili alle mutevoli condizioni del mercato. • Sostegno politico limitato: le iniziative di cluster energetici potrebbero incontrare l'opposizione di interessi acquisiti, come le società energetiche tradizionali, che potrebbero vederle come una minaccia ai loro modelli di business. Le città devono costruire un forte sostegno politico alle iniziative dei cluster energetici per superare queste sfide. • Opposizione pubblica: le iniziative di cluster energetici possono incontrare l'opposizione del pubblico a causa di preoccupazioni relative all'estetica, all'inquinamento acustico e ai potenziali impatti ambientali. Le città devono impegnarsi tempestivamente e spesso con il pubblico per affrontare queste preoccupazioni e creare sostegno pubblico.
--	---

La città di Zakopane si trova in una valle in cui spesso si forma uno strato di corrente d'aria che trattiene tutto lo sporco vicino il suolo, generando smog. Un'elevata percentuale d'inquinamento dell'aria deriva dalle emissioni provenienti dai sistemi di trasporto e dai modelli di combustione del carbone in stufe e caldaie a carbone.

A livello locale la Polonia sta cercando di applicare diverse strategie (come la pianificazione a basse emissioni di carbonio, l'eco-città o le regole della produzione pulita) per aumentare la produzione di energia rinnovabile. In base al "Piano nazionale per l'energia e il clima della Polonia per gli anni 2021 - 2030" la Polonia mira a raggiungere circa il 23 % di energia rinnovabile.

In Polonia il tasso di urbanizzazione è aumentato negli ultimi anni, all'inizio degli anni 50 il 30% della popolazione viveva nelle aree urbane; negli anni 2010 il tasso ha raggiunto il 55% e secondo le previsioni potrebbe raggiungere il 68% negli anni 2050. Nelle diverse città sono in corso diversi progetti per raggiungere obiettivi ambientali, ad esempio il trattamento dei rifiuti urbani, la creazione delle aree urbane ecologicamente sostenibili, la pianificazione e lo sviluppo di un'eco-città (Dou, Li, & Wang, 2013). Queste necessità sono sorte dalla considerazione che l'inquinamento atmosferico ha grave impatto sulla salute, provocando malattie cardiache, ictus e morti premature. A livello mondiale, infatti, l'inquinamento atmosferico è responsabile all'incirca del 20 % dei decessi (Czaplicka - Kotas & Kulczycka, 2020).

Uno degli obiettivi principali dello sviluppo della simbiosi urbana è quello di chiudere il cerchio dei flussi di materia ed energia all'interno di una data area urbana (Vernay & Mulder, 2015). L'implementazione della simbiosi urbana ha un impatto positivo, in quanto riduce le emissioni di carbonio, migliora la gestione dei rifiuti e lo sviluppo di programmi di eco-città. In Polonia, una delle prospettive al centro della simbiosi urbana è il concetto di cluster energetici. In sostanza, la simbiosi urbana fa riferimento spesso all'uso dei rifiuti delle aree urbane o materia prima o come fonte di energia (Neves, Pimentel, & Matias J, 2019).

I cluster energetici (EC) sono un nuovo concetto di simbiosi urbana per aumentare la produzione di energia rinnovabile. Gli EC sono gruppi geografici di imprese, agenzie governative e altre parti interessate che lavorano insieme per promuovere lo sviluppo e l'implementazione di tecnologie di energia rinnovabile. Gli EC possono contribuire ad aumentare la produzione di energia rinnovabile in diversi modi, tra cui:

- Facilitare lo scambio di informazioni e competenze: i CE possono fornire un forum per imprese, agenzie governative e altre parti interessate per condividere informazioni e competenze sulle tecnologie delle energie rinnovabili. Ciò può contribuire ad accelerare lo sviluppo e l'implementazione di queste tecnologie.
- Riduzione dei costi: i CE possono aiutare a ridurre i costi dei progetti di energia rinnovabile aggregando la domanda e coordinando gli appalti. Ciò può rendere i progetti di energia rinnovabile più economicamente fattibili.
- Attrarre investimenti: i CE possono aiutare ad attrarre investimenti in progetti di energia rinnovabile creando un ambiente favorevole e favorevole alle imprese. Ciò può contribuire ad accelerare la diffusione delle tecnologie legate alle energie rinnovabili su larga scala.

La città di Zakopane, in Polonia, è un buon esempio di come gli EC possano essere utilizzati per aumentare la produzione di energia rinnovabile. Zakopane è una località turistica di montagna fortemente dipendente dal turismo. La città dispone di numerose risorse energetiche rinnovabili, tra cui l'energia geotermica, l'energia idroelettrica e l'energia solare.

Nel 2016, la città di Zakopane ha istituito un cluster energetico con l'obiettivo di aumentare la produzione di energia rinnovabile e ridurre la dipendenza dai combustibili fossili. Il cluster comprende aziende, agenzie governative e istituti di ricerca.

Il cluster energetico ha implementato una serie di iniziative per aumentare la produzione di energia rinnovabile, tra cui:

- Sviluppo di un sistema di teleriscaldamento a energia geotermica: il cluster sta sviluppando un sistema di teleriscaldamento a energia geotermica che fornirà riscaldamento alle aziende e alle case nel centro della città.
- Costruire una centrale idroelettrica: il cluster sta costruendo una centrale idroelettrica su un fiume vicino.
- Installazione di pannelli solari sugli edifici pubblici: il cluster sta installando pannelli solari sugli edifici pubblici, come scuole e ospedali.

Il cluster energetico ha anche contribuito ad attrarre investimenti in progetti di energia rinnovabile a Zakopane. Ad esempio, un'azienda privata sta investendo nella costruzione di una centrale elettrica a biomassa in città.

Il cluster energetico di Zakopane è riuscito ad aumentare la produzione di energia rinnovabile in città. Entro il 2020, Zakopane generava oltre il 20% della sua elettricità da fonti energetiche rinnovabili. La città è sulla buona strada per raggiungere l'obiettivo di generare il 100% della propria elettricità da fonti energetiche rinnovabili entro il 2030.

Il caso studio di Zakopane dimostra il potenziale dei cluster energetici per aumentare la produzione di energia rinnovabile nelle aree urbane. Gli EC possono aiutare ad accelerare lo sviluppo e l'implementazione delle tecnologie per le energie rinnovabili facilitando lo scambio di informazioni e competenze, riducendo i costi e attirando investimenti.

Alcune lezioni specifiche apprese dall'esperienza di Zakopane con i cluster energetici:

- La leadership del governo è essenziale per il successo della creazione e del funzionamento dei cluster energetici.
- I cluster energetici dovrebbero essere inclusivi e coinvolgere un'ampia gamma di parti interessate, tra cui imprese, agenzie governative, istituti di ricerca e gruppi comunitari.
- I cluster energetici dovrebbero concentrarsi sullo sviluppo e sull'attuazione di progetti specifici di energia rinnovabile.
- I cluster energetici dovrebbero cercare di attrarre investimenti dal settore privato.

Altre città interessate allo sviluppo di cluster energetici per aumentare la produzione di energia rinnovabile possono imparare dall'esperienza di Zakopane. Seguendo le lezioni apprese da Zakopane, altre città possono sviluppare cluster energetici di successo che possano aiutarle a raggiungere i loro obiettivi di energia rinnovabile.

2.4 Africa

Il caso dell'Algeria

CONTESTO	Algeria (Nord Africa)
OBIETTIVO	Valutazione della simbiosi industriale urbana utilizzando il distretto El Harrach – Oued come caso studio.
METODOLOGIA	MFA + LCA
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none">• Risparmio energetico e riduzione delle emissioni: Lo studio quantifica il potenziale risparmio energetico e la riduzione delle emissioni di CO₂ che potrebbero essere raggiunti attraverso vari scenari simbiotici.
OPPURTUNITÀ	<ul style="list-style-type: none">• Lo studio fornisce una buona base per la ricerca futura sugli UrS e sul suo potenziale per ridurre il consumo energetico e le emissioni di CO₂ nelle aree urbane.• I risultati dello studio potrebbero essere utilizzati per sviluppare politiche e programmi per promuovere l'implementazione degli UrS nelle città di tutto il mondo.• I risultati dello studio potrebbero essere utilizzati anche per attrarre investimenti in progetti UrS.
DEBOLEZZE	<ul style="list-style-type: none">• Mancanza di risorse per finanziare infrastrutture e servizi• Barriere normative e istituzionali agli scambi simbiotici.• Mancanza di consapevolezza e comprensione degli UrS tra le parti interessate.
MINACCE	<ul style="list-style-type: none">• Possibilità di disastri naturali e stress idrico sul territorio

Il perimetro dell'ecosistema urbano di studio copre un territorio intercomunale che occupa due comuni, El Harrach-Oued e Smar (EH-OS), appartenenti al distretto amministrativo di El Harrach nell'est dell'Algeria. Con una superficie di circa 17,95 km², una popolazione residente che nel 2015 raggiungeva gli 85.472 abitanti e una significativa attività produttiva concentrata in "Algiers Wilaya". Inoltre, la sua posizione vicino ai principali servizi pubblici di Algeri le conferisce ulteriore importanza e visibilità a livello metropolitano e internazionale. Quattro sottosistemi urbani (abitazioni, attività, aree aperte e verdi e infrastrutture tecniche) organizzano il suo perimetro interno, interconnesso da strade e reti che convogliano flussi di scambio in entrata e in uscita (Fig. 35). Una delle principali sfide che la città deve affrontare è l'aumento dei rifiuti solidi urbani a fronte di una gestione poco efficiente da parte dei servizi locali.

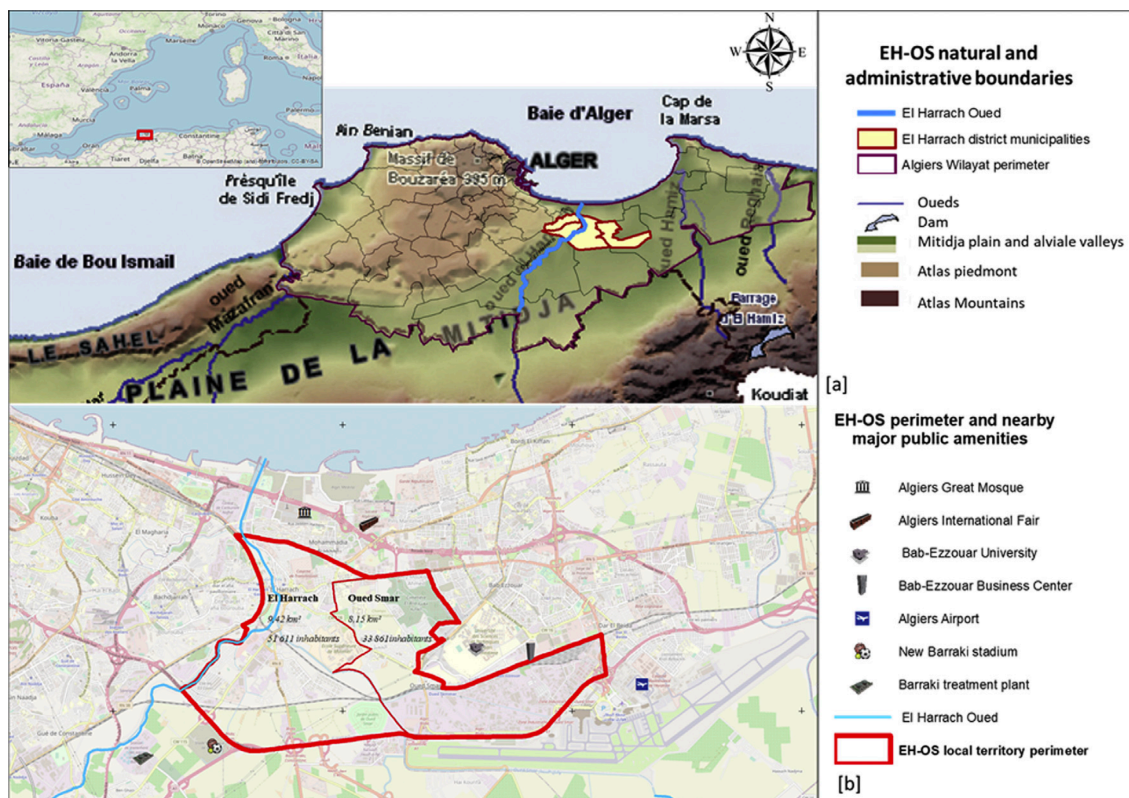


Figura 35- Località e perimetro del caso studio relativo all'Algeria. (Fonte: M. Chaker, E. Berezowska-Azzag and D. Perrotti- Journal of Cleaner Production 292 (2021) 125850)

La metodologia utilizzata dagli autori dello studio mira a quantificare ed ottimizzare l'utilizzo di energia e l'emissione di CO₂ e si struttura nelle seguenti quattro fasi (Fig. 36):

- Raccolta dei dati ed elaborazione del database necessario per l'analisi.
- Proposta di un modello di ottimizzazione funzionale che consenta di identificare gli elementi e i componenti dei sottosistemi urbani potenzialmente promettenti negli scambi simbiotici, in base alle evoluzioni spazio-funzionali previste dal piano di sviluppo di Algeri.
- Elaborazione dei più probabili scenari simbiotici ottimizzanti per l'organizzazione del sistema. Per analizzare le prestazioni dell'UrS studiato per questi scenari, Chaker et al. propongono un metodo di valutazione quantitativa in grado di stimare i guadagni nell'uso di energia e nelle emissioni di CO₂ per ciascuno di essi.
- Verificare la capacità di incorporare questo risultato dell'analisi nella pianificazione urbana locale.

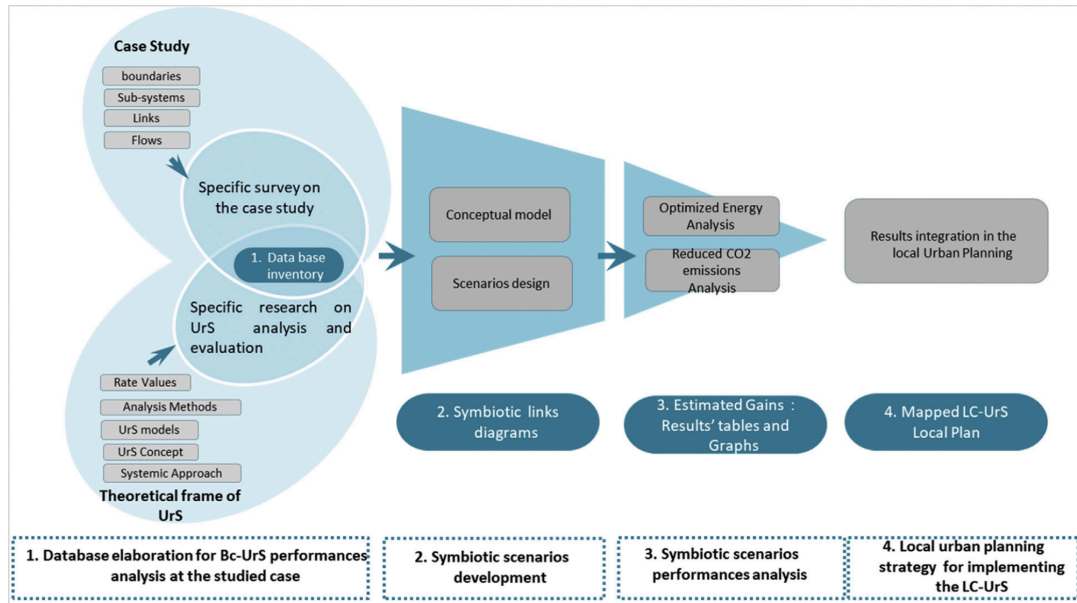


Figura 36- Metodologia dello studio (Fonte: M. Chaker, E. Berezowska-Azzag and D. Perrotti - Journal of Cleaner Production 292 (2021) 125850)

In seguito per ogni scenario ipotizzato è stata utilizzata la metodologia MFA e LCA per la valutazione quantitativa delle prestazioni.

Rispetto allo scenario di base, lo scenario con più attività simbiotiche ipotizzato offre un risparmio totale in energia ed emissioni di CO₂ stimato in 259,34 GWh/anno e 37,02 ktCO₂/anno che rappresentano il 30,5% e il 13,27% all'anno del consumo e delle emissioni attuali.

L'energia recuperata è ottenuta da:

- produzione di 11,32 GWh/anno di energia pulita rinnovabile nei processi di metanizzazione e incenerimento;
- riduzione di 264,5 GWh/anno dell'uso di energia attraverso il riciclo di materiali secondari nelle industrie locali;
- recupero di 2,74 GWh/anno di energia da rifiuti dai processi di riciclo industriale
- il dirottamento dei rifiuti dalla discarica agli impianti di recupero locali evita 6,1 GWh/anno di consumi legati al trasporto e al trattamento in aree distanti.

Oltre alle prestazioni simbiotiche, emergono anche altri vantaggi, legati alla conservazione di risorse naturali non rinnovabili, al risparmio di terreni destinati alle discariche, alla riduzione dei costi di trasporto dei rifiuti lontani, al guadagno economico grazie alla conservazione dell'energia e delle materie prime ed alla creazione di posti di lavoro nelle industrie locali.

Capitolo III

ANALISI SWOT

L'analisi SWOT, acronimo di Strength, Weaknesses, Opportunities and Threats è considerata uno strumento strategico per raccogliere e organizzare le informazioni necessarie per valutare i fattori positivi e negativi di un certo fenomeno (Ghazinoory, 2011). L'analisi, infatti, viene eseguita un'analisi per identificare i punti di forza, le opportunità, le debolezze e le minacce che derivano in seguito all'affermazione di un determinato evento, in questo caso del fenomeno della simbiosi industriale urbana. In questo elaborato l'analisi SWOT sarà usata per analizzare i risultati che la simbiosi industriale ha ottenuto nei diversi casi studio che sono stati affrontati nel capitolo precedente. Vengono riportati in seguito (Fig. 37) i principali fattori riscontrati dagli autori dei casi studio presentati precedentemente in ordine di rilevanza.

Strenghts	Conteggio
Riduce emissioni di inquinanti	11
Promuove la sostenibilità	10
Benefici economici a lungo termine	9
Migliora l'efficienza delle risorse	7
Miglioramento dell'efficienza energetica	3
Aumento della produzione di energia rinnovabile	1
Aumento opportunità economiche	1
Coinvolgimento della comunità	1

Weaknesses	Conteggio
Costi di investimento iniziali	10
Complessità di implementazione	8
Mancanza di consapevolezza e competenza	8
Ostacoli normativi	8
Richiede il coinvolgimento della comunità	2
Richiede il sostegno del governo	2
Richiede la partecipazione dell'industria	2
Dipendenza dai finanziamenti pubblici	1
Scalabilità limitata	1

Opportunities	Conteggio
Politiche e incentivi governativi	10
Progressi tecnologici	9
Integrazione con i principi dell'economia circolare	7
Coinvolgimento pubblico ed educazione	5
Collaborazione internazionale	3
Attrae investimenti	2
Coinvolgimento ed educazione del pubblico	2
Crescente interesse per la sostenibilità	2
Collaborazione con altre regioni	1
Migliora la qualità dell'aria	1
Modello replicabile	1
Riduce la dipendenza dai combustibili fossili	1

Threats	Conteggio
Cambiamenti delle condizioni di mercato	7
Concorrenza	7
Fluttuazioni economiche	6
Recessione economica	4
Cambiamenti nelle normative governative	3
Mancanza di consapevolezza pubblica	3
Modifica dei modelli di generazione dei rifiuti	1
Opposizione pubblica	1
Possibilità di disastri naturali e stress idrico su	1
Sostegno politico limitato	1

Figura 37- Analisi SWOT. Il valore conteggio indica il numero di volte che un fattore è emerso durante lo studio dei casi

Per realizzare una strategia di Simbiosi Urbana di successo, occorre concentrarsi sui punti di forza e sulle opportunità offerte dall'ambiente e dai contesti industriali, cercando di

gestire i punti deboli ed evitando al contempo le minacce. L'uso dell'analisi SWOT continua a riempire la letteratura accademica. La ricerca scientifica, infatti, supporta l'analisi SWOT come strumento per scopi di pianificazione. Negli ultimi dieci anni, la ricerca SWOT è stata estesa oltre le aziende, inglobando paesi e industrie (Ghazinoory, 2011).

3.1. Strengths and opportunities

I casi studio analizzati hanno dimostrato che il progetto di simbiosi urbana tutte le volte che è stato adottato ha creato le premesse per un miglioramento della gestione delle risorse sia in termini di recupero dei materiali, sia in termini di risparmio economico e attenzione alla gestione del problema ambientale. I vantaggi della simbiosi industriale urbana, infatti, sono molteplici, sia per le aziende che per l'ambiente.

Vantaggi per le aziende:

- Riduzione dei costi: la simbiosi industriale urbana può portare a una riduzione dei costi per le aziende, grazie al recupero e al riutilizzo di materiali e risorse.
- Miglioramento dell'efficienza: la simbiosi industriale urbana può portare a un miglioramento dell'efficienza delle aziende, grazie alla condivisione di risorse e competenze.
- Creazione di nuove opportunità di business: la simbiosi industriale urbana può creare nuove opportunità di business, grazie al coordinamento tra le aziende.

Vantaggi per l'ambiente:

- Riduzione dei rifiuti: la simbiosi industriale urbana può portare a una riduzione dei rifiuti, grazie al recupero e al riutilizzo di materiali.
- Miglioramento della qualità dell'aria: la simbiosi industriale urbana può portare a un miglioramento della qualità dell'aria, grazie alla riduzione delle emissioni.
- Aumento della sostenibilità: la simbiosi industriale urbana può contribuire alla sostenibilità ambientale, grazie alla riduzione dell'impatto ambientale delle attività industriali.

La simbiosi industriale provoca anzitutto una diminuzione degli impatti ambientali, riducendo le emissioni di CO₂ presenti nell'atmosfera e diminuendo gli scarti di materiali tramite il riuso, il riciclo e il recupero delle risorse; e in questo modo si abbattano anche i rischi legati allo smaltimento in discarica dei rifiuti.

Riconoscendo un valore economico ai materiali di scarto e un potenziale per il futuro, le imprese saranno quindi orientate a rimodellare i propri schemi di business. Per quanto riguarda il clima, con la simbiosi industriale si può ottenere all'istante una riduzione delle emissioni di gas causati dall'effetto serra, in quanto il trasporto di rifiuti e l'estrazione di materie prime avvengono in una misura inferiore e hanno una minore dipendenza dai combustibili fossili. Inoltre, lo scambio di competenze tra i diversi membri e le varie partnership permette di sviluppare conoscenze, competenze e abilità nel trasformare la gestione dei rifiuti in un commercio vantaggioso e sostenibile.

Per sviluppare una simbiosi industriale è in ogni caso necessario gestire una collaborazione stretta tra enti governativi, portatori di interessi e comunità territoriali. Diventa fondamentale ottenere, e in primis lavorare a, un consenso comune e una progettazione partecipata. In più, la creazione di un buon sistema di gestione dei rifiuti può richiedere tempo e importanti investimenti.

La condivisione delle infrastrutture per l'utilizzo e la gestione delle attività; la fornitura congiunta di servizi necessari per soddisfare i bisogni delle imprese e prevenirne le necessità, la sicurezza, i trasporti e la gestione dei rifiuti sono stati i mezzi principali delle simbiosi urbane prese ad esame nel capitolo precedente e in ogni caso sono stati colti vantaggi in termini di riduzione dei costi per l'acquisto di materie prime e per le operazioni di smaltimento dei rifiuti. Ulteriori vantaggi sono stati ravvisati nella creazione di una rete di business forte e lungimirante, capace di intavolare prospettive future di successo. La creazione poi di nuove opportunità di mercato data dalla sinergia dei diversi collaboratori e dalla rete sociale che il progetto di simbiosi industriale urbana si propone di promuovere e sviluppare rappresenta altresì un altro punto di forza vincente di questo rivoluzionario progetto ecosostenibile.

Nei casi studio analizzati si è visto come l'investimento per la costruzione e la gestione di impianti per trattare i rifiuti solidi urbani e il riciclo di materiali hanno non solo diminuito le spese di gestione dell'industria, ma anche favorito la diminuzione dei rifiuti nelle città. Il caso studio Kawasaki, ad esempio, sostituendo il carbone naturale al coke, ha proposto una soluzione ecosostenibile senza intaccare la produzione dell'acciaio. Uno scambio di materiali si è visto anche nell'industria siderurgica cinese, ottenendo degli ottimi risultati. In Italia e Polonia la strategia della simbiosi urbana, come è accaduto in Cina e in Giappone, potrebbe portare ad ottenere dei risultati importanti, riducendo la quantità di elementi inquinanti presenti nell'aria.

3.2. Weaknesses and Threats

I principali svantaggi della simbiosi industriale urbana sono i seguenti:

- **Difficoltà di coordinamento:** la simbiosi industriale urbana può essere difficile da coordinare, soprattutto se le aziende coinvolte sono di dimensioni o settori diversi. Questo può essere dovuto a differenze di obiettivi, culture aziendali o tecnologie.
- **Costi iniziali:** la simbiosi industriale urbana può comportare costi iniziali, ad esempio per la ricerca di potenziali partner e per la progettazione e l'implementazione di progetti di simbiosi. Questi costi possono essere un ostacolo per le piccole e medie imprese.
- **Resistenza al cambiamento:** le aziende possono essere riluttanti a cambiare le proprie pratiche e a collaborare con altre aziende. Questo può essere dovuto a una mancanza di fiducia o di conoscenza delle opportunità di simbiosi industriale urbana.
- **Problemi di qualità:** la simbiosi industriale urbana può comportare problemi di qualità, ad esempio se i materiali scambiati non sono conformi agli standard.
- **Limitazioni tecnologiche:** la simbiosi industriale urbana può essere limitata dalle tecnologie disponibili.

Il Progetto di simbiosi urbana rappresenta una novità dal forte impatto sociale, che richiede la messa in discussione non solo delle vecchie abitudini, proponendone di nuove, ma anche l'accettazione del riconoscimento da parte della società urbana di un problema ambientale che alla lunga non si potrà più trascurare o prendere sottogamba. Nel caso Zakopane, ad esempio, la popolazione locale ha dovuto prendere coscienza che l'agglomerato urbano da solo era responsabile di più della metà dell'inquinamento atmosferico rilevato dall'intera nazione stessa.

Tre le difficoltà riscontrate nell'adozione del percorso della simbiosi industriale vi è anzitutto la triade rappresentata da economia, tecnologia e comunicazione. La costruzione di impianti di riciclaggio, infatti, prevede inizialmente un dispendio economico non indifferente, che non tutti riescono ad accettare. Inoltre, si deve far fronte anche al miglioramento tecnico delle strutture, puntando su un personale qualificato che sappia usare le moderne attrezzature. Infine, un altro elemento di debolezza è rappresentato dalla comunicazione stessa, in quanto non sempre i diversi partner riescono facilmente a trovare un punto di accordo e a sviluppare un progetto comune. I problemi dettati dalla

comunicazione, infatti, rappresentano un'impasse che i diversi collaboratori devono imparare a superare se vogliono continuare a dirigersi verso questa strategia di mercato ecosostenibile.

L'analisi SWOT suggerisce che l'integrazione dell'IS/UrS a Yongcheng, in Cina, ha il potenziale per fornire significativi benefici ambientali, economici e sociali. Tuttavia, un'attenta considerazione dei punti deboli, delle opportunità e delle minacce individuate è essenziale per garantire il successo dell'implementazione e la sostenibilità a lungo termine delle iniziative IS/UrS nella città.

- Cambiamenti economici: le recessioni economiche possono portare a una riduzione degli investimenti nelle iniziative IS/UrS.
- Cambiamenti nelle normative: i cambiamenti nelle normative ambientali possono influenzare la fattibilità di alcune attività IS/UrS.
- Competizione per le risorse: la competizione per risorse scarse, come l'acqua e l'energia, può rendere più difficile l'implementazione dell'IS/UrS.
- Invecchiamento tecnologico: i rapidi progressi tecnologici possono rendere obsolete le infrastrutture IS/UrS esistenti.
- Resistenza sociale: potrebbe esserci resistenza sociale all'IS/UrS se si ritiene che danneggi l'ambiente o le comunità locali.

Conclusioni

Alla luce delle sfide complesse e delle emergenti discussioni scientifiche e politiche che suggeriscono sempre più un'azione locale questo elaborato finale si è proposto di esaminare alcuni casi della letteratura di simbiosi industriale urbana per esaminare il ruolo delle autorità locali e di altri attori nel facilitare le sinergie nella gestione delle risorse urbane.

I diversi casi studio richiamano una serie di considerazioni per la progettazione e l'implementazione della simbiosi urbana. In primo luogo, lo strumento di analisi SWOT ha illustrato i vantaggi derivanti dall'adozione di un approccio flessibile in rapporto all'area geografica. In secondo luogo, il modello di analisi ha illustrato che potrebbe essere utile incoraggiare il coinvolgimento di privati e società.

Gli articoli evidenziano i numerosi vantaggi della simbiosi urbana, tra cui la riduzione del consumo di risorse e della produzione di rifiuti, la riduzione delle emissioni di gas serra e altri inquinanti, la creazione di nuovi posti di lavoro e opportunità economiche, l'aumento della sostenibilità urbana e il miglioramento della qualità di vita. Tuttavia, gli articoli sottolineano anche che la simbiosi urbana è un processo complesso che richiede la collaborazione di una varietà di stakeholder, tra cui imprese, organizzazioni, enti governativi e comunità. Inoltre, molti non sono ancora consapevoli dei potenziali vantaggi della simbiosi urbana e, pertanto, limitano la partecipazione o tardano a prendere parte a questa strategia. Infine, i costi iniziali di implementazione possono rappresentare una barriera per alcune imprese e organizzazioni.

Nonostante queste sfide, gli articoli sottolineano che le opportunità offerte dalla simbiosi urbana sono significative. Con il crescente interesse per le soluzioni sostenibili, i progressi tecnologici e il supporto governativo, la simbiosi urbana è destinata a svolgere un ruolo sempre più importante nello sviluppo urbano sostenibile.

Per superare le sfide della simbiosi urbana e cogliere le opportunità offerte, le città dovrebbero:

- Sviluppare strategie che identifichino le opportunità di collaborazione tra i diversi stakeholder e affrontino le sfide dell'implementazione e della gestione;

- Educare le imprese e le organizzazioni sui potenziali vantaggi della simbiosi urbana e su come parteciparvi;
- Coinvolgere il pubblico nel processo di pianificazione e affrontare eventuali preoccupazioni;
- Fornire incentivi finanziari e tecnici alle imprese e alle organizzazioni che partecipano a iniziative di simbiosi urbana.

Governando e pianificando efficacemente, le città possono sfruttare il potenziale della simbiosi urbana per creare un futuro più sostenibile per i propri cittadini. L'analisi SWOT rivela che in generale in partenza si ha la presenza di un contesto non favorevole alla simbiosi urbana, riflesso di uno scetticismo popolare motivato principalmente dalla mancanza di informazioni e dal costo iniziale e, allo stesso tempo, dalla poca attitudine al cambiamento.

Bibliografia

- Azevedo, J., Ferreira, I., Dias, R. A., B:, M., Henriques, J., Iten, M., & Cunha, F. (2021). Industrial Symbiosis Implementation Potential - An Applied Assessment Tool for Companies. *Environmental Management Approaches and Tools to Boost Circular Economy*.
- Cantele, S., & Zardini, A. (2018). Is sustainability a competitive advantage for small businesses? An empirical analysis of possible mediators in the sustainability-financial performance relationship. *J. Cleaner Prod*, 166 - 176.
- Castiglione, & Alfieri. (2020). Economic sustainability under supply chain and eco-industrial park concurrent design. *CIRP*, 19 - 24.
- Castiglione, C., Yazan, D. M., Alfieri, A., & Mes, M. (2021). A holistic technological eco-innovation methodology for industrial symbiosis development. *Sustainable Production and Consumption*, 1538 - 1551.
- Cecelja, F., Raafat, T., Trokanas, N., Innes, S., Smith, M., Yang, A., . . . Kokossis, A. (2015). e-Symbiosis: technology-enabled support for Industrial Symbiosis targeting Small and Medium Enterprises and innovation. *Cleaner Production*, 336 - 352.
- Chaker, M; Berezowska-Azzag, E; Perrotti, D. (2021). Exploring the performances of urban local symbiosis strategy in Algiers, between a potential of energy use optimization and CO2 emissions mitigation, *Journal of Cleaner Production*, 292.
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual review of energy and the environment*. 313 - 337.
- Chertow, M. R. (2008). Industrial Ecology in a Developing Context. *Sustainable Development and Environmental Management*, 335 - 349.

- Czaplicka - Kotas, A., & Kulczycka, J. I. (2020). Energy Clusters as a New Urban Symbiosis Concept for Increasing Renewable Energy Production - A Case Study of Zakopane City. *Sustainability*.
- Destrochers, P. (2008). Cities and industrial Symbiosis: Some Historical Perspectives and Policy Implications. *Industrial Ecology*, 29 - 44.
- Domenech, T., & al., e. (2019). Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. *Resour. Conserv. Recycl.*, 76 - 98.
- Dong. (2013). Environmental and economic gains of industrial symbiosis for Chinese. *Journal of Cleaner Production*, 226 - 238.
- Dong, H. (2018). Uncovering energy saving and carbon reduction potential from recycling wastes: A case of Shanghai in China. *J. Clean. Prod.*, 27-35.
- Dong, H., Ohnishi, S., Fujita, T., Geng, Y., Fujii, M., & Dong, L. (2014). Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki. *Energy*, 277 - 286.
- Dou, X., Li, S., & Wang, J. (2013). Ecological strategy of City Sustainable Development. *SciVerse ScienceDirect*, 429 - 434.
- Dragomir, V. D., & Dumitru, M. (2022). Practical solutions for circular business models in the fashion industry. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 1 - 17.
- Fatimah, A., Kannan, D., Govindan, K., & A., H. Z. (2023). Circular economy e-business model portfolio development for e-business applications: Impacts on ESG and sustainability performance. *Cleaner Prod.*, 1 - 13.
- Geng, Y., Fujita, T., & Chen, X. (2010). Evaluation of innovative municipa solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. *Cleaner Prod.*, 993 - 1000.
- Ghazinoory, S. A.-M. (2011). SWOT methodology: a state-of-the-art review for the past, a framework for the future. *Business Economics and Management*.
- Golev, A. C., & Giurco, D. (2015). Barriers to Industrial Symbiosis: Insights from the Use of a Maturity Grid. *J. Ind. Ecol*, 141 - 153.

- Graedel, T. (1994). Industrial ecology: definition and implementation. *Ind. Ecol. Glob. Change*, 23 - 41.
- Guo, B., Geng, Y., Sterr, T., Jiang, M., & Wang, F. (2016). Evaluation of promoting industrial symbiosis in a chemical industrial park: A case of Midong. *Journal of Cleaner Production*, 135, 995-1008.
- Habitat, U. . (2011). Rapporto globale sugli insediamenti umani: città e cambiamenti climatici. *Earthscan*.
- Halati, A., & He, Y. (2018). Intersection of economic and environmental goals of sustainable development initiatives. *J. Cleaner Prod.*, 813 - 829.
- Jensen, I. (2017). Ottimizzazione della filiera della biomassa e biogas per un singolo impianto considerando le perdite di massa ed energia. *J. Opera Ris.*, 744 - 758.
- Khan, A. A., & Abonyi, J. (2022). Information sharing in supply chains. Interoperability in an era of circular economy. *Clean, Logist. Suppl. Chain*, 100074.
- Lenhart, J., van Bliet, B., Mol. A. P. J. (2015). New roles for local authorities in a time of climate change: The Rotterdam Energy Approach and Planning as a case of urban symbiosis, *Journal of Cleaner Production*, 107, 593 – 601.
- Li, Y., Geng, Y., & Dong, H. (2015). Industrial symbiosis as a countermeasure for resource dependent city: A case study of Guiyang, China. *Journal of Cleaner Production*, 107, 257-266.
- Lombardi, R. (2017). Non-technical barriers to (and drivers for) the circular economy through industrial symbiosis: A practical input. *Econ. Policy Energy Environ.* , 171 - 189.
- Lu, C., Wang, S., Wang, K., & Zhang, R. (2020). Uncovering the benefits of integrating industrial symbiosis and urban symbiosis targeting a resource dependent city: A case study of Yongcheng, China. *Journal of Cleaner Production*, 255.
- Macarthur, E. (2020). Towards the Circular Economy - Economy and Business Rationale for an Accelerated Transition. . *Ellen Macarthur Foundation Rethink the Future*.
- Marrucci, L., & Daddi, T. I. (2019). The integration of circular economy with sustainable consumption and production tools: Systematic review and future research agenda . *Cleaner Production*, 118268.

- Neves, A. G., Pimentel, C., & Matias J. (2019). The potencial of industrial symbiosis Case analysis and main drivers and barriers to its implementation. *Sustainability*, 7095.
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. (2020). Carbon Dioxide Recovery through Industrial and Urban Symbiosis. *International Conference on Industrial Technology and Management*, 171 - 175.
- Oberle, B., Bringezu S, H.-D. S., Hellweg, S., H, S., & Clement, J. (2019). Global resources outlook. *International Resource Panel*.
- online, A. (2020). *Ambient air pollution*. Tratto da WHO: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/ambient-air-pollution>
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (January 2017). Circular economy: measuring innovation in the product Chain. *Policy Report*, 2544.
- Rogelj, J. (2016). Le proposte climatiche dell'accordo di Parigi hanno bisogno di una spinta per mantenere il riscaldamento ben al di sotto dei 2°C. . *Natura*, 631 - 639.
- Rosado, L., & Kalmykova, Y. (2019). Combining industrial symbiosis with sustainable supply chain management for the development of urban communities. *IEEE ENGINEERING MANAGEMENT REVIEW*, VOL. 47, NO. 2, SECOND QUARTER.
- Schwarz, E. J., & Steininger, K. W. (1997). Implementing Nature's Lesson: The Industrial Recycling Network Enhancing Regional Development. *Cleaner Prod.*, 47 - 56.
- Sharib, S. Halog, A. (2017). Enhancing value chains by applying industrial symbiosis concept to the Rubber City in Kedah, Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1095 – 1108.
- Simboli, A. (2017). Le molteplici dimensioni dei contesti urbani in una prospettiva di ecologia industriale: un quadro integrativo. *Dipartimento di Studi Economici Università d'Annunzio*.
- Statistics, E. E. (2022). *Circular economy material flows*. Tratto da ec.europa.eu: https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?oldid=516747#Circularity_rate

- Van Berkel, R. F. (2009). Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco- Town program 1997 - 2006. *Environmental Management*, 1544 - 1556.
- Vernay, A. L., & Mulder, K. F. (2015). Organising urban symbiosis projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 181 - 188.
- Wang, Y., Geng, Y., & Park, J. (2020). Tracking urban sustainability transition: An eco-efficiency analysis on eco-industrial development in Ulsan, Korea. *Journal of Cleaner Production*, 262.
- Wierzbicka, E. M. (2014). Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. *Responsible Resource Management in Micro and Macro Scale*.
- Xiao, S. (April 2022). Low carbon potential of urban symbiosis under different municipal solid waste sorting modes based on a system dynamic method. *Resources, Conservation and Recycling*, 106108.
- Yong, G. T. (2010). Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. *Cleaner Prod.*, 993 - 1000.
- Yu, H., Da, L., Li, Y., Chen, Y., Geng, Q., Jia, Z., . . . Gao, C. (2023). Industrial symbiosis promoting material exchanges in Ulan Buh Demonstration Eco-industrial Park: A multi-objective MILP model. *Cleaner Production*, 137578.