



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA

*DIPARTIMENTO DI  
Economia e Management  
Corso di Laurea  
in Economia e Gestione Aziendale*

## **Relazione Finale**

Ecoparchi e Simbiosi Industriale: un'analisi  
empirica.

Relatore: Chiar.ma Prof.ssa Rossana RICCARDI

Laureanda:  
Andrea Laura Bonfiglio  
Matricola n. 727032

*Anno Accademico 2021/2022*

## **INDICE.**

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITOLO 1. L'ECONOMIA CIRCOLARE.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Economia lineare: limiti e conseguenze. ....</b>	<b>5</b>
<b>2. Le origini e le interpretazioni del modello circolare.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Dall'economia lineare all'economia circolare. ....</b>	<b>10</b>
3.1. Il modello Product-Service System (PSS).....	18
3.2. L'importanza della tecnologia nello sviluppo dell'economia circolare: <b>Industry 4.0.....</b>	<b>21</b>
3.3. La manifattura additiva nell'economia circolare. ....	23
<b>CAPITOLO 2. IL PARCO ECO-INDUSTRIALE (EIP). ....</b>	<b>26</b>
<b>1. Concetti chiave: Ecologia industriale e Simbiosi industriale....</b>	<b>26</b>
<b>2. Cos'è un Parco Eco-industriale (Eco-Industrial Park, EIP)?... </b>	<b>30</b>
2.1. Caratteristiche degli EIPs. ....	32
2.2. Obiettivi degli EIPs.....	34
2.3. Strategia di sviluppo. ....	35
2.4. Composizione. ....	36
2.5. Ruoli. ....	37
2.6. Innovazioni tecnologiche. ....	38
<b>3. Fattori abilitanti, benefici e barriere nella realizzazione degli     EIP.....</b>	<b>39</b>
<b>4. L'esperienza del Parco Eco-industriale di Kalundborg.....</b>	<b>44</b>

***CAPITOLO 3. IL MODELLO DI GOAL PROGRAMMING PER  
L'OTTIMIZZAZIONE DI UN EIP: UN CASO EMPIRICO.... 52***

<b>1. Introduzione al modello di <i>Goal Programming</i>.</b> .....	52
<b>2. Applicazione del Goal Programming a un EIP.</b> .....	61
<b>3. Metodologia.</b> .....	62
3.1. Funzione obiettivo.....	62
3.2. Creazione di un modello di ottimizzazione per l'Ecoparco. ....	63
3.3. Approcci all'ottimizzazione multi-obiettivo. ....	64
3.4. Ottimizzazione della rete idrica in un EIP. ....	64
<b>4. Un caso italiano di Simbiosi Industriale.</b> .....	67
4.1. Il progetto “Smart Grid Pilot: Banco energETICO”.....	68
4.2. Il progetto i-Recovery.....	71
4.3. La Goal Programming applicata al progetto Smart Grid Pilot tra A2A e Alfa Acciai.....	73
<b><i>CONCLUSIONE.</i></b> .....	81
<b><i>BIBLIOGRAFIA.</i></b> .....	82
<b><i>SITOGRAFIA.</i></b> .....	85

## INTRODUZIONE.

*“There is no such thing as ‘away’.*

*When we throw anything away it must go somewhere.”*

Con questa frase di Annie Leonard si introduce quello che è il nucleo centrale di questo elaborato, ovvero l'importanza del **risparmio** e **riutilizzo** di materie prime, andando contro il modello classico basato sulla sovrapproduzione e sovraconsumo. L'esaurimento, infatti, di risorse di importanza cruciale, sia per la vita dell'uomo che per il proseguimento dei suoi processi produttivi, è un problema cardine della società contemporanea, che ha portato necessariamente ad un aumento generalizzato dei prezzi delle materie prime, creando quindi un ostacolo alla crescita. Ed è così che il tradizionale modello di economia lineare, in cui il prodotto segue un percorso *“from cradle to grave”* (in cui i prodotti industriali, alla fine del loro ciclo di vita, sono destinati a divenire rifiuti inutilizzabili nei nuovi cicli di consumo e produzione), deve essere necessariamente sostituito con un modello più sostenibile: quello **circolare**, secondo il quale le abitudini di consumo devono evolversi verso atteggiamenti più consapevoli e, quindi, sostenibili.

Con l'Economia Circolare abbiamo un ribaltamento di visioni, in cui la modalità di comportamento dei diversi attori è basata sulla teoria che tutto ciò che viene estratto, ottenuto e utilizzato dall'ambiente per produrre prodotti, servizi ed energia rimanga parte del ciclo economico, anche dopo che sono stati soddisfatti i bisogni per cui è stato creato e concepito.

L'elaborato nella prima parte, introduce il modello Lineare rimasto in vigore fino a pochi decenni fa, spiegandone le caratteristiche e i punti di debolezza, per poi passare all'analisi della nascita e dello sviluppo del termine *“Economia Circolare”*, attraverso un'analisi storica dei diversi autori e ricercatori che hanno permesso di attribuire al modello il significato che ha oggi.

L'analisi prosegue poi con la definizione dei concetti di Ecologia Industriale e Simbiosi Industriale, concetti cardine di questo elaborato. Si entrerà poi nel vivo del concetto di Simbiosi Industriale, distinguendo le varie modalità organizzative

con cui si può realizzare, ovvero: i distretti industriali, le reti per la simbiosi industriale e gli *Eco-Industrial Parks*.

È proprio su quest'ultima categoria su cui si concentrerà principalmente l'elaborato. Infatti, ne verranno enunciati i principali punti di forza e di debolezza, fornendo anche l'esperienza positiva dell'Ecoparco di Kalundborg.

L'ultima parte dell'elaborato si focalizzerà invece sul modello di “*Goal Programming*”, dimostrando come sia possibile utilizzarlo per ottimizzare gli obiettivi che un Ecoparco si pone, attraverso l'analisi di un progetto di Simbiosi Industriale tra due aziende leader bresciane, Alfa Acciai e A2A.

Quello che ci si aspetta di ottenere da questa analisi empirica è di riuscire a dimostrare come un modello matematico possa essere applicato ad una realtà esistente e possa aiutare a ottimizzare gli obiettivi dell'Ecoparco, con i propri limiti e vincoli.

# CAPITOLO PRIMO

## L'ECONOMIA CIRCOLARE

### 1. Economia lineare: limiti e conseguenze.

Fin dalla Rivoluzione Industriale, l'economia mondiale ha funzionato secondo il paradigma "produzione-consumo-smaltimento", un modello lineare in cui il prodotto è inevitabilmente destinato a raggiungere un "fine vita".

Secondo questo modello, la vita di un prodotto di consumo ha un percorso "dalla culla, alla tomba" ("*from cradle to grave*") secondo questi passaggi: si parte dall'acquisizione delle materie prime, per passare poi alla trasformazione, al consumo e, infine, allo smaltimento finale in discarica (Figura 1). Questo determina uno sfruttamento indifferenziato e crescente di risorse non rinnovabili, destinate inevitabilmente ad esaurirsi.



Figura 1. Rappresentazione del modello di economia lineare.

Il presupposto da cui parte l'economia lineare è: *le risorse sono sempre abbondanti, generalmente disponibili, facilmente accessibili e agevolmente eliminabili, a costi economici contenuti*. Quello lineare è un modello di produzione e di consumo ad alta intensità di energia e di risorse naturali, nel quale i prodotti industriali, al termine del loro ciclo di vita, sono destinati a divenire per lo più rifiuti, inutilizzabili in nuovi cicli di consumo e di produzione. Tuttavia, col tempo le criticità e le conseguenze di tale modello non hanno tardato ad arrivare (Toni Federico, 2015).

Una delle conseguenze imputabili al modello lineare è la fluttuazione dei prezzi delle materie prime. Dal 2006, il livello e la fluttuazione dei prezzi delle materie prime sono aumentati in modo significativo, a causa sia della crescente domanda

di beni, sia della difficoltà nel reperire tali materie prime essenziali. Questo non crea problemi solo agli acquirenti di materie prime, ma crea anche maggiori rischi sul mercato. Inoltre, essendo l'Europa in gran parte dipendente dalle importazioni di risorse naturali, queste fluttuazioni dei prezzi impediscono alle aziende di fare previsioni precise sui prezzi, il che conferisce loro una posizione competitiva più debole rispetto alle aziende che dipendono meno dalle risorse di altri paesi (Circle Economy, 2018a). Una diretta conseguenza della volatilità e fluttuazione dei prezzi delle materie prime è l'inevitabile crisi a cui vengono condotte le imprese incapaci di far fronte agli aumenti dei prezzi, con ripercussioni che possono riguardare il licenziamento di parte della forza lavoro, ma anche la rinuncia da parte di alcune imprese a fornire determinati tipi di beni e servizi.

Oltre alla limitata disponibilità di materiali critici, le imprese devono fare i conti anche con un significativo aumento della domanda di beni dovuta al moderno consumismo, il quale porta i consumatori a comprare di più di quanto è effettivamente necessario e a sbarazzarsi degli oggetti ancora utilizzabili e in buone condizioni, con una conseguente durata di vita dei prodotti drasticamente inferiore. Si verifica un processo di *feedback* positivo: i consumatori vogliono prodotti nuovi e più velocemente, ciò significa che è necessaria una minore qualità, che a sua volta porta i consumatori a desiderare nuovi prodotti ancora più velocemente. Talvolta, vengono appositamente adottate delle strategie da parte dei produttori affinché il ciclo di vita del prodotto venga accelerato. Tra queste strategie riconosciamo:

- l'*obsolescenza percepita*, che si verifica quando l'azienda, di volta in volta, rinnova superficialmente l'aspetto del proprio prodotto, in modo tale da promuovere l'acquisto del nuovo prodotto, rendendo obsoleto quello vecchio.
- l'*obsolescenza programmata* che prevede l'utilizzo di componenti programmati per durare meno rispetto al prodotto nel suo complesso, in modo tale da comprometterne la sua funzionalità e durata;

- *l'obsolescenza tecnologica*, la quale rende il prodotto inutilizzabile a causa dei continui aggiornamenti del software.

Per queste ragioni il modello di economia lineare non è più sostenibile ed è necessario sostituirlo con un nuovo modello di economia circolare, che consente un utilizzo più efficiente delle risorse e la riduzione della produzione di rifiuti, con benefici sotto il profilo ambientale, economico e sociale (Vasileios Rizos, Katja Tuokko, Arno Behrens, 2017).

## **2. Le origini e le interpretazioni del modello circolare.**

Il concetto di economia circolare non può essere ricondotto a un'unica data o a un unico autore, ma piuttosto a diverse scuole di pensiero. Concettualizzata da economisti attenti all'ambiente, l'economia lineare convenzionale (descritta dalla linea ampiamente citata del *take-make-dispose*) deve essere sostituita dall'economia circolare (Furkan Sariatli, 2017).

Il concetto di economia circolare è stato introdotto da Pearce e Turner nel 1989, anche se il concetto ha radici profonde che risalgono agli anni '60. Gli albori dell'economia circolare possono essere fatti risalire infatti a *Boulding* (1966), che suggerì di implementare un sistema ecologico ciclico che sostituisse il modello economico lineare e dispendioso. Lo schema economico ciclico di Boulding ha stimolato un ulteriore sviluppo concettuale della sostenibilità.

Nel 1976 l'architetto e analista industriale *Walter R. Stahel*, coadiuvato da *Reday Genevieve*, pubblica un rapporto tecnico destinato alla Commissione europea, intitolato "*The potential for Substituting Manpower for Energy*" in cui analizza il tema dello spreco delle risorse legato alla rapida dismissione dei beni di consumo. Negli anni a venire Stahel conia l'espressione "*Performance Economy*". L'essenza dell'economia della performance è la ridefinizione del tema della produzione, della vendita e della manutenzione: al posto dei beni, le aziende dovrebbero commercializzare le prestazioni.

Un ulteriore passo verso la circolarità è stato compiuto da *Braungart e McDonough* con la filosofia “*cradle-to-cradle*” (“Dalla Culla alla Culla”), che considera tutti i materiali come composti da due tipi di componenti: componenti tecnici, ovvero quei materiali che, dopo essere stati riciclati, possono essere reintrodotti nel processo produttivo per dare vita a nuovi prodotti, e biologici, ovvero in materiali in grado di entrare a far parte dell’ambiente naturale senza inquinare (Furkan Sariatli, 2017).

Un ulteriore aspetto ed elemento costitutivo dell'economia circolare è la biomimetica, secondo la quale il sistema economico deve imitare (cioè prima imparare da e poi imitare) i modi della natura per affrontare le sfide industriali e commerciali e valutare l'efficienza operativa rispetto alle soluzioni sperimentate in natura. L'economia circolare si avvale anche dell'approccio scientifico dell'ecologia industriale, che si occupa del flusso energetico e materiale dei sistemi industriali, con l'obiettivo di creare processi a ciclo chiuso che riducano al minimo gli sprechi, utilizzando una metodologia scientifica interdisciplinare e tenendo conto degli ambienti naturali e sociali sia locali che globali (Ellen MacArthur Foundation, 2015c).

Fondamentale è il concetto di “*Blue Economy*”, ovvero un innovativo modello di sviluppo economico basato su durabilità, rinnovabilità e riutilizzo, che punta a rivoluzionare le nostre attività produttive e ad azzerare le emissioni inquinanti; al di là dei cicli produttivi interni a ciclo chiuso, i rifiuti di un'industria dovrebbero essere considerati come un potenziale input per diversi settori, la cui disposizione è spesso definita “a cascata”.

Prima di entrare nel merito della questione però è fondamentale dare una definizione di economia circolare. Vista la vasta letteratura a riguardo, ciascuno degli autori ha cercato di dare una propria definizione e interpretazione di *circolar economy*. Tra le più importanti, menzioniamo la definizione proposta dalla Commissione Europea, la quale descrive l'economia circolare come un'economia “*in cui il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse viene mantenuto nell'economia il più a lungo possibile e la produzione di rifiuti viene ridotta al*

*minimo*". Inoltre, la transizione verso un'economia più circolare darebbe *"un contributo essenziale agli sforzi dell'UE per sviluppare un'economia sostenibile, a basse emissioni di carbonio, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva"*.

Un'altra importante definizione è quella proposta dalla *Ellen MacArthur Foundation*, una fondazione senza scopo di lucro molto esposta in tema di circolarità, secondo la quale l'economia circolare è *"un'economia pensata per potersi rigenerare da sola. In un'economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera"*. L'obiettivo generale è quello di *"consentire flussi efficaci di materiali, energia, lavoro e informazioni in modo che il capitale naturale e sociale possa essere ricostruito"*.

Con tale definizione si ha un ripensamento complessivo e radicale rispetto al modello produttivo classico, basato sull'ipersfruttamento delle risorse naturali e orientato all'unico obiettivo della massimizzazione dei profitti tramite la riduzione dei costi di produzione.

Quindi, il concetto di economia circolare risponde alla necessità di crescita sostenibile, in un contesto in cui l'ambiente e, in particolar modo, le risorse mondiali sono sottoposti a una crescente pressione causata dalla produzione e da consumi intensivi. Adottare un approccio circolare significa rivedere tutte le fasi della produzione e prestare attenzione all'intera filiera coinvolta nel ciclo produttivo.

Questa attenzione passa per il rispetto di alcuni principi di base, che la Fondazione Ellen MacArthur ha individuato in cinque criteri fondamentali:

1. Eco progettazione.
2. Modularità e versatilità.
3. Energie rinnovabili.
4. Approccio ecosistemico.

5. Recupero dei materiali.

### **3. Dall'economia lineare all'economia circolare.**

Come analizzato nei paragrafi precedenti, il concetto di economia circolare risponde alla necessità di crescita sostenibile, in un contesto in cui l'ambiente e, in particolar modo, le risorse mondiali sono sottoposti a una crescente pressione causata da produzione e da consumi intensivi. Il nostro attuale sistema socioeconomico lineare, caratterizzato dallo scarto dei prodotti alla fine del loro ciclo di vita, è una delle cause principali di questo impoverimento naturale. Alcuni governi e istituzioni, come l'Unione Europea e la Fondazione Ellen MacArthur, chiedono un nuovo modello economico, orientato verso un'economia circolare, caratterizzata dal ripristino e dalla circolarità dei componenti dei prodotti.

Per sostenere questa transizione circolare, i responsabili aziendali si affidano allo sviluppo di nuovi modelli di business. I processi di economia circolare possono essere adottati sia da aziende che da Paesi. A livello aziendale, questi processi possono essere intesi come le diverse pratiche circolari adottate da un'azienda per passare da un modello di business lineare a uno circolare (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017).

Si possono identificare tre categorie, a cui fanno capo otto processi differenti:

1. Utilizzare meno risorse primarie.
  - 1) Il riciclaggio
  - 2) Utilizzo efficiente delle risorse
  - 3) Utilizzo di fonti di energia rinnovabili
2. Mantenere il massimo valore di materiali e prodotti.
  - 4) Rigenerazione, ricondizionamento e riutilizzo di prodotti e componenti
  - 5) Estensione della vita del prodotto

### 3. Cambiare i modelli di utilizzo.

6) Prodotto come servizio

7) Modelli di condivisione

8) Cambiamento nei modelli di consumo

Va sottolineato che le categorie di processi circolari non si escludono a vicenda. Molti dei loro elementi sono spesso interconnessi, mentre in alcuni casi le imprese possono adottare una strategia che coinvolge più processi (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017). Si esaminano di seguito nel dettaglio gli otto processi individuati.

#### A. Utilizzare meno risorse.

##### 1) Riciclaggio.

Il riciclaggio (*recycling*) è stato definito dalle Nazioni Unite come “*la reintroduzione di materiali residui nei processi produttivi in modo che possano essere riformulati in nuovi prodotti*”. Per molti decenni è stato il metodo più utilizzato per implementare i principi dell'economia circolare, catturando il valore dei prodotti e dei materiali esistenti e diminuendo l'uso di materie prime. La riduzione dell'estrazione di risorse primarie attraverso il riciclo può fornire molteplici benefici ambientali e contribuire a ridurre le emissioni di gas serra associate all'uso delle risorse materiali. Come indicato dalla definizione fornita da Nazioni Unite, il *recycling* non deve essere inteso solo come un mero recupero di materiali, ma anche come reindirizzamento dei materiali recuperati verso il loro successivo ciclo di vita. La qualità è una variabile chiave, in quanto il raggiungimento di un riciclo di alta qualità è un prerequisito per reintrodurre efficacemente i materiali nel processo produttivo (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017).

Quindi, il modello di riciclo si fonda sul recupero e riutilizzo di fonti nascoste negli *output* produttivi e nei prodotti di scarto. Ciò avviene anche gestendo una catena di fornitura bidirezionale, cioè che non va solo dal produttore al consumatore, ma anche dal consumatore che restituisce il rifiuto al produttore. Il modello ha diverse realizzazioni: da una filiera circolare a circuito chiuso, a modelli a circuito aperto, dove i materiali di scarto possono essere rivenduti ad altre imprese come materie prime. L'obiettivo è passare dalla riduzione dei rifiuti all'obsolescenza del concetto stesso di rifiuto.

## 2) **Utilizzo efficiente delle risorse.**

Un altro metodo che può portare all'utilizzo di meno risorse primarie è l'efficiente utilizzo delle stesse.

L'efficienza nell'utilizzo delle risorse è legata al concetto di produzione più pulita, che si concentra sul raggiungimento dell'efficienza nell'utilizzo delle risorse materiali ed energetiche e può comportare sia l'uso attento delle risorse che la sostituzione di quelle pericolose o a vita breve, incidendo sostanzialmente sia sui processi di produzione industriale che sui prodotti. Nel caso dei primi, può riferirsi alla conservazione delle materie prime, alla riduzione degli input di materiale, alla riduzione del consumo di energia e di acqua, all'eliminazione di sostanze tossiche nei processi e alla riduzione delle emissioni tossiche e dei rifiuti. Nel caso dei prodotti, può riferirsi alla riduzione degli impatti (ambientali, sulla salute e sulla sicurezza) lungo l'intero ciclo di vita del bene (Hinterberger & Schneider, 2001; Hilson, 2003).

Il miglioramento dell'efficienza nell'uso delle risorse è legato anche al concetto di eco-design ("*Environmental Design*"), che può incorporare non solo elementi legati al riciclo, alla rigenerazione e all'estensione della vita del prodotto, ma anche altri aspetti come la dematerializzazione e la selezione dei materiali (Almeida et al., 2010).

Prevenire la generazione di rifiuti lungo le fasi del ciclo di vita della produzione e del consumo può contribuire a evitare la perdita di risorse e gli impatti ambientali associati alla gestione dei rifiuti.

### **3) Utilizzo di fonti di energia rinnovabile.**

L' utilizzo di fonti energetiche rinnovabili è un requisito fondamentale per la transizione verso un'economia circolare.

Le energie rinnovabili sono fonti energetiche alternative a quelle tradizionali prodotte con i combustibili fossili quali petrolio, carbone e gas naturale (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017). Il termine “*rinnovabili*”, più precisamente, indica forme di energia rigenerabile e dunque non esauribile, che non implicano la distruzione delle risorse naturali e garantiscono pertanto un maggiore rispetto dell'ambiente.

Esistono diverse tecnologie di energia rinnovabile mirate a sostituire i combustibili fossili nei vari settori industriali. Attualmente, la biomassa e i rifiuti rinnovabili, l'idroelettrico, l'eolico e il solare dominano il mix di energie rinnovabili dell'UE (Commissione europea, 2016b). In Italia il 16% del consumo di energia deriva dalle fonti rinnovabili e deriva per un buon 65% da fonti idroelettriche e geotermiche, per il 30% da biomasse e solo il 3% deriva dalle nuove rinnovabili, come l'eolico (2,1%) e il solare (meno dello 0.15%).

I rifiuti possono essere un'altra fonte di energia rinnovabile. L'uso dei rifiuti biodegradabili nella produzione di energia o come fertilizzanti può avere impatti ambientali molto positivi. Ad esempio, al posto dello smaltimento in discarica, l'utilizzo di rifiuti biodegradabili nella produzione di biogas o come fertilizzante ha il potenziale di evitare fino a 2 tonnellate di emissioni di CO<sub>2</sub>. Il recupero di energia dai rifiuti, tuttavia, deve essere valutato attentamente nel contesto di un'economia circolare. Secondo la gerarchia dei rifiuti dell'UE20, il riciclaggio è un'opzione più vantaggiosa della combustione dei rifiuti per la produzione di

energia. Pertanto, sebbene le soluzioni di termovalorizzazione possano avere in alcuni casi impatti ambientali positivi, la Commissione europea sottolinea che dovrebbero essere utilizzate tecniche più efficienti dal punto di vista energetico.

## **B. Mantenere il massimo valore di materiali e prodotti.**

### **4) Rigenerazione, ricondizionamento e riutilizzo di prodotti e componenti.**

La rigenerazione, il ricondizionamento e il riutilizzo sono tutti modi in cui i prodotti usati vengono recuperati dopo il loro utilizzo e a cui viene data una “*nuova vita*”.

Con il ricondizionamento e la rigenerazione, le “*parti centrali*” dei prodotti vengono ripristinate in modo da mantenere il valore aggiunto dei materiali. In particolare, con “*rigenerazione*” si indica l'idea di un processo più approfondito che mira a riportare il prodotto al suo stato iniziale, come se fosse nuovo. La rigenerazione è comunemente applicata ad alcune parti, spesso di alto valore, di prodotti come computer o automobili. Tali pratiche sono strettamente legate all'eco-design: quando le opzioni di rigenerazione sono già considerate durante la fase di progettazione del prodotto, ciò può facilitare, ad esempio, il suo smontaggio e la rigenerazione delle parti (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017).

Il ricondizionamento, invece, si riferisce a un ripristino meno approfondito del valore di un prodotto o di un componente.

Il riutilizzo di un prodotto è il riutilizzo diretto e/o la rivendita dell'intero prodotto o di una sua parte.

Tutti questi processi sono potenzialmente in grado di modificare i flussi di reddito delle imprese, poiché possono consentire loro di ottenere un secondo o un terzo reddito dalla vendita del prodotto (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017).

## 5) **Estensione della vita del prodotto.**

Collegata ai processi economici precedentemente discussi, la circolarità può essere implementata attraverso pratiche di estensione della vita del prodotto. Come nel caso della rigenerazione, l'estensione della vita del prodotto richiede una maggiore attenzione sulla fase di progettazione del ciclo di vita del prodotto (Bocken et al., 2016). Ciò si traduce, ad esempio, nella standardizzazione dei componenti in termini di dimensioni o materiali.

Il paradigma dell'estensione del ciclo di vita del prodotto mira all'estrazione di quanto più valore possibile da ogni unità di risorsa consumata, sviluppando i prodotti in modo da farli durare a lungo e mettendo a disposizione aggiornamenti, servizi, parti di ricambio.

L'estensione della vita del prodotto è correlata al concetto di durabilità, ovvero alla progettazione e generazione di prodotti che hanno una durata di vita superiore rispetto agli standard precedenti, consentendo così di eliminare la cosiddetta “*obsolescenza programmata*”, discussa nel paragrafo precedente.

### C. **Cambiare i modelli di utilizzo.**

#### 6) **Prodotto come servizio.**

Il concetto di “*product as a service*” si riferisce alla “*vendita di un prodotto come un servizio, che sfida l'approccio tradizionale di prodotto come bene tangibile*” (il concetto verrà approfondito nel paragrafo 1.2.1).

*Tukker* (2004) ha identificato otto categorie di modelli di *product as a service*.

Tra i più significativi si menzionano:

1. Il **pagamento per unità di servizio**, in cui il consumatore paga per la produzione del prodotto in base al livello di utilizzo.
2. Il **noleggio o condivisione del prodotto**, in cui il consumatore acquista l'accesso al prodotto per un periodo di tempo concordato.

3. Il **leasing** del prodotto, in cui il consumatore ha un accesso continuo al prodotto.
4. Il **pooling** del prodotto, in cui molti clienti utilizzano lo stesso prodotto nello stesso momento (es. car sharing).

Nei citati casi, l'azienda mantiene la proprietà del prodotto in questione e offre al cliente l'accesso al prodotto. In questo modo, l'azienda mantiene le risorse materiali a sua disposizione: questo è il concetto di **servitizzazione**. Con la servitizzazione si avrà il passaggio dalla mera vendita del prodotto fisico all'offerta di una soluzione integrata di prodotto-servizio, in cui il ruolo del cliente passa da consumatore a utilizzatore, mentre la proprietà del prodotto rimane in carico al venditore/produttore. Di conseguenza le imprese, non più incentivate a massimizzare il numero di unità vendute (che si trasformerebbero in rifiuto), sono naturalmente incentivate a progettare prodotti il cui scopo è durare il più a lungo possibile ed essere recuperati a fine utilizzo, al fine di avviare cicli di rigenerazione in maniera continuativa (M. Perona, G. Bressanelli, N. Saccani, 2018). Per questo, il concetto di prodotto come servizio è strettamente legato al concetto di estensione del ciclo di vita del prodotto, analizzato nel punto precedente.

#### 7) **Modelli di condivisione.**

I modelli di “*sharing economy*” si basano sull'offerta di una piattaforma per mettere in contatto tra di loro proprietari di beni di consumo con altri utenti interessati ad usarli. Inoltre, essi possono anche contribuire alla creazione di un vero e proprio capitale sociale e un senso di comunità.

I modelli di condivisione sono stati utilizzati nei servizi di car-sharing e di alloggio e sono facilitati dai progressi della tecnologia digitale. A volte vengono definiti “consumo collaborativo”, poiché sono spesso attuati tramite piattaforme sociali.

I modelli di condivisione e l'idea dell'estensione della durata di vita dei prodotti sono legati anche all'idea di sufficienza come modello di business. La sufficienza

si basa sul principio della moderazione complessiva del consumo di risorse, concentrandosi sulla riduzione della domanda attraverso il cambiamento del comportamento dei consumatori tramite l'educazione. Affinché i modelli di prodotto come servizio e di sharing economy possano prosperare, è necessario un cambiamento nella mentalità dei consumatori, che non devono più possedere un prodotto, come ad esempio un'automobile (Bocken et al., 2016).

#### **8) Cambiamento nei modelli di consumo.**

I progressi tecnologici e il miglioramento delle informazioni per i consumatori possono determinare un cambiamento nei modelli di consumo. Infatti, i consumatori sono sempre più orientati a prodotti o servizi che forniscono la loro utilità “*virtualmente*” anziché materialmente (es. e-book). Allo stesso modo, le aziende stesse cercano sempre più di fornire i loro prodotti attraverso canali virtuali, come pubblicità sul web, e-mail e social media (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017).

Questi cambiamenti possono portare a un risparmio di risorse e ad un aumento della produttività; tuttavia, occorre tenere in considerazione che vi sono anche preoccupazioni circa l'entità delle criticità che potrebbero crearsi da questi prodotti e servizi a causa degli effetti di rimbalzo e dell'elevato consumo energetico dei centri dati (V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, 2017).

Da ciò si evince che mantenere un modello di business basato sullo sfruttamento lineare delle risorse significherebbe confrontarsi regolarmente con una sempre maggiore volatilità dei prezzi e una possibile inflazione dei beni *commodity* fondamentali, in particolare delle materie prime e delle risorse naturali.

Urbinati *et al* (2017) hanno individuato alcuni approcci alla circolarità delle aziende, differenziando rispetto all'ambito aziendale su cui focalizzare l'integrazione dei principi circolari ed i conseguenti benefici che l'azienda può conseguire.

1. *Market-driven*. Il primo approccio riguarda le imprese che adottano uno schema di pricing o campagne di marketing basate sull'utilizzo e riutilizzo dei prodotti, ma in cui le pratiche interne e le procedure di progettazione dei prodotti non riflettono un approccio di tipo lineare. Si tratta quindi di un modello che concentra la sua attenzione sull'accettazione da parte del cliente del modello *pay-to-use*, senza però modificare la propria *policy* interna. In questo tipo di modello, il focus rimane sulle entrate e sul vantaggio legato alla penetrazione del mercato.
2. *Efficiency-driven*. Il secondo approccio riguarda le imprese che mettono in primo piano i principi circolari nelle attività di progettazione e riescono a creare relazioni efficaci con fornitori, ma che non rendono visibile ai loro clienti finali. L'attenzione delle imprese si focalizza sulla struttura dei costi e il loro vantaggio è legato all'efficienza.
3. *Circular-embeddness*. Il terzo approccio riguarda imprese circolari sia internamente che esternamente. Queste imprese non solo gestiscono il sistema di produzione secondo i principi dell'economia circolare, ma anche il coinvolgimento dei fornitori nel suo sistema di produzione circolare e la comunicazione ai clienti è focalizzata sulla realizzazione di pratiche circolari.

### 3.1. Il modello Product-Service System (PSS).

Il "Product-Service System" può essere definito come *"un modello di offerta che fornisce un mix integrato di prodotti e servizi in grado di soddisfare una particolare domanda del cliente (per fornire una "unità di soddisfazione"), basato su interazioni innovative tra gli attori del sistema di produzione del valore (sistema di soddisfazione), in cui l'interesse economico e competitivo dei fornitori cerca continuamente nuove soluzioni vantaggiose per l'ambiente"* (Vezzoli et al., 2014).

Le caratteristiche principali delle innovazioni PSS possono risiedere nell'esistenza di un modello economico basato sulla soddisfazione, in cui ogni offerta è sviluppata, progettata e consegnata considerando come prioritaria la soddisfazione del cliente; inoltre, le innovazioni sono una risorsa chiave, in quanto sono basate sull'interazione tra gli stakeholder, cioè innovazioni radicali, meno tecnologiche, come nuove interazioni e partnership tra gli stakeholder di una particolare catena di produzione della soddisfazione. Esse hanno un potenziale intrinseco di sistema eco-efficiente, ossia un'innovazione in cui è l'interesse economico e competitivo dell'azienda/imprese a portare a una riduzione dell'impatto ambientale, in cui la creazione di valore è svincolata dal consumo di risorse (Vezzoli et al., 2014).

Sono stati studiati tre principali approcci aziendali all'innovazione di sistema e sono stati studiati ed elencati come favorevoli all'eco-efficienza (UNEP 2002; UNEP 2009):

1. *PSS orientati al prodotto*: servizi che forniscono valore aggiunto al ciclo di vita del prodotto.
2. *PSS orientati ai risultati*: servizi che forniscono risultati finali e soddisfacenti ai clienti.
3. *PSS orientati all'uso*: servizi che forniscono piattaforme abilitanti per i clienti.

#### **1. PSS orientati al prodotto.**

Un'innovazione PSS orientata al prodotto è definita come “*un'azienda (o un'alleanza di aziende) che fornisce servizi aggiuntivi per garantire un'estensione delle prestazioni del ciclo di vita del prodotto/semilavorato (venduto al cliente)*”.

Un tipico contratto di assistenza comprende servizi di manutenzione, riparazione, aggiornamento, sostituzione e ritiro del prodotto per un determinato periodo di tempo.

Questo riduce la responsabilità dell'utente nell'uso e/o nello smaltimento del prodotto/semilavorato (di sua proprietà) e l'interazione innovativa tra l'azienda e il cliente spinge l'interesse economico e competitivo dell'azienda a ricercare continuamente nuove soluzioni vantaggiose per l'ambiente.

L'obiettivo è quello di aggiungere valore al ciclo di vita del prodotto (Vezzoli et al., 2014).

## **2. PSS orientati al risultato.**

Un'innovazione PSS orientata ai risultati può essere definita come “*un'azienda (o un'alleanza di aziende) che fornisce un mix personalizzato di servizi (in sostituzione dell'acquisto e dell'uso di prodotti), al fine di fornire una soluzione integrata che soddisfi un particolare cliente (in altre parole, uno specifico risultato finale)*”. Il mix di servizi non richiede che il cliente si assuma la piena responsabilità dell'acquisto del prodotto in questione. Pertanto, il produttore mantiene la proprietà dei prodotti e viene pagato dal cliente solo per la fornitura dei risultati concordati (Vezzoli et al., 2014).

## **3. PSS orientati all'uso.**

Un'innovazione PSS orientata all'uso può essere definita come “*un'azienda (un'alleanza di aziende) che offre l'accesso a prodotti, strumenti, opportunità o capacità che consentono ai clienti di soddisfare una particolare soddisfazione che desiderano (in altre parole, soddisfare in modo efficiente un bisogno e/o un desiderio specifico)*”.

Il cliente ottiene l'utilità desiderata, ma non possiede il prodotto che la fornisce e paga solo per il tempo in cui il prodotto viene effettivamente utilizzato. A seconda dell'accordo contrattuale, l'utente può avere il diritto di detenere il/i prodotto/i per un determinato periodo di tempo. Le strutture commerciali per la fornitura di tali servizi includono il leasing, il pooling o la condivisione di determinati beni per un uso specifico (Vezzoli et al., 2014).

In definitiva, un modello PSS crea alcuni vantaggi chiave per i clienti, le aziende e la società nel suo complesso. Dal punto di vista dei clienti, i vantaggi principali sono che non devono acquistare e mantenere prodotti o apparecchi costosi e hanno accesso a una gamma più ampia di scelte per il valore che ricevono. Dal punto di vista delle imprese, il modello aumenta la redditività perché riduce i costi di produzione. È necessario produrre un minor numero di prodotti e quelli prodotti vengono utilizzati più volte, fornendo un flusso di entrate costante anziché una vendita unica. Inoltre, i prodotti vengono utilizzati quando sono effettivamente necessari, invece di rimanere inattivi e in attesa di un uso sporadico da parte di un proprietario. Il risultato è che la domanda di nuovi prodotti si riduce, diminuendo la nostra dipendenza dalle risorse limitate della Terra (Vezzoli et al., 2014).

### 3.2. **L'importanza della tecnologia nello sviluppo dell'economia circolare: Industry 4.0.**

Recenti ricerche hanno dimostrato che esiste una correlazione diretta tra l'economia circolare e l'Industria 4.0. Inoltre, la *circular economy* utilizza le diverse tecnologie *Industry 4.0* per passare dall'economia lineare esistente al modello economico circolare; sebbene si sia cominciato a parlare di economia circolare fin dall'inizio del secolo scorso, è solo di recente che si trova un'abbondante letteratura che valuta la sua relazione con l'Industria 4.0.

La *Boston Consulting Group* definisce l'Industria 4.0 come un insieme di nove tecnologie in grado di cambiare radicalmente le modalità di produzione e fabbricazione dei prodotti.

1. **Manifattura additiva.** L'esempio classico di produzione additiva è la stampa 3D. Invece di prototipare singoli componenti, le aziende possono ora produrre piccoli lotti di prodotti personalizzati. I vantaggi che ne derivano includono la produzione rapida di progetti complessi e leggeri.

2. **Robotica.** I robot autonomi possono interagire tra loro e lavorare in sicurezza fianco a fianco con l'uomo.
3. **Big Data e Data Analysis.** In un contesto di Industria 4.0, la raccolta e la valutazione completa dei dati provenienti da molte fonti diverse (apparecchiature e sistemi di produzione, nonché sistemi di gestione aziendale e dei clienti) diventeranno un punto di riferimento.
4. **Cloud.** Più un'azienda intraprende iniziative legate alla produzione, più ha bisogno di condividere i dati tra i vari siti. Nel frattempo, le tecnologie cloud continuano a diventare sempre più veloci e potenti. Le aziende distribuiranno sempre più dati e analisi nel cloud, consentendo così un maggior numero di servizi basati sui dati per i sistemi di produzione.
5. **Realtà aumentata e virtuale.** I sistemi di realtà aumentata (AR) supportano una serie di servizi, come la selezione di pezzi in un magazzino e l'invio di istruzioni per la riparazione tramite dispositivi mobili. Con la AR, le aziende possono fornire ai lavoratori informazioni in tempo reale che migliorano il processo decisionale e le procedure di lavoro.
6. **Cybersecurity.** Vista la crescente condivisione di dati nel web, sono essenziali comunicazioni sicure e affidabili, insieme a una sofisticata gestione degli accessi alle macchine e alla verifica dell'identità degli utenti.
7. **Integrazione orizzontale e verticale dei sistemi.** L'Industria 4.0 consente alle aziende, ai reparti, alle funzioni e alle capacità di diventare molto più coese. Le reti di integrazione universale dei dati tra aziende si evolvono e consentono catene del valore realmente automatizzate.
8. **Internet of things.** Nell'Industria 4.0 un numero sempre maggiore di dispositivi si arricchisce dell'informatica incorporata. Questo processo consente ai dispositivi di comunicare e interagire tra loro e con controllori più centralizzati. Inoltre, decentra l'analisi e il processo decisionale, consentendo risposte in tempo reale.

9. **Simulazione.** Le simulazioni sono una pietra miliare della rivoluzione industriale 4.0. Vengono utilizzate ampiamente nelle operazioni di impianto per sfruttare i dati in tempo reale e per rispecchiare il mondo fisico. Se fatti bene, questi modelli consentono agli operatori di testare e ottimizzare le impostazioni in numerose varianti, riducendo così i tempi di impostazione delle macchine e aumentando la qualità.

Queste nove tipologie di tecnologie 4.0, se integrate correttamente all'interno del sistema aziendale, possono apportare incredibili benefici dal punto di vista ambientale e sostenibile, permettendo l'adozione di politiche circolari: dal prolungamento del ciclo di vita dei prodotti attraverso la robotica alla riduzione dell'inquinamento e dello spreco attraverso la manifattura additiva.

Si può dedurre, quindi, che la transizione verso un modello economico più sostenibile deve essere accompagnata, da una parte, da un cambiamento nei modelli di business delle imprese e un aumento delle collaborazioni con soggetti interni ed esterni alla catena del valore e, dall'altra, dall'introduzione di tecnologie verdi (*green technologies*) che monitorano le risorse, riducono gli sprechi e in generale diminuiscono l'impatto negativo che le attività dell'uomo hanno verso l'ambiente.

### 3.3. **La manifattura additiva nell'economia circolare.**

Uno studio, condotto da Laskurain-Iturbe et al. e descritto nel rapporto "*Exploring the influence of Industry 4.0 technologies on the circular economy*", conferma l'esistenza di un'ampia gamma di influenze che le tecnologie dell'Industria 4.0 offrono alle aziende per migliorare la circolarità. Questi miglioramenti sono principalmente legati alla riduzione del consumo di materiali ed energia e alla produzione di rifiuti ed emissioni. Tuttavia, esistono importanti differenze tra gli impatti potenziali di ciascuna tecnologia. In particolare, è più evidente l'impatto positivo della manifattura additiva rispetto alle altre tecnologie.

La manifattura additiva rappresenta un'alternativa alla produzione tradizionale, che parte da una forma non definita e rimuove il materiale dove non è necessario. Con un investimento limitato, AM può consentire ai produttori di decentrare la produzione di prodotti altamente ingegnerizzati. Analizzando la produzione di un'impresa che lavora nel settore degli aeromobili, si è potuto constatare che, rispetto alla lavorazione tradizionale, a seconda della geometria del prodotto, la manifattura additiva consente di raggiungere una riduzione del consumo di materiale che varia dal 20% all'85%. Invece di consumare materiale durante la produzione, il materiale viene aggiunto a strati e, prendendo ad esempio la produzione di un iniettore di carburanti per aerei, le molteplici parti che compongono tale prodotto possono essere ridotte a una sola. Nella fabbricazione convenzionale di questo prodotto, il materiale di scarto del processo di produzione dei componenti era pari all'83%. Nel nuovo processo, invece, il materiale di scarto è quasi inesistente.

Inoltre, questa tecnologia consente di fabbricare prodotti che subiscono meno l'usura e resistono meglio alle alte temperature, offrendo qualità molto vicine a quelle della forgiatura. Ciò consente di prolungare la fase di utilizzo del prodotto e di ridurre il numero di pezzi di ricambio da produrre. Le riduzioni del consumo energetico nella fase di produzione ci sono, ma sono molto ridotte.

Un migliore utilizzo dei materiali implica la riduzione dei rifiuti non solo nella fase di produzione, ma anche nella fase di utilizzo. Inoltre, si può sottolineare come la riduzione del peso dell'aereo contribuisce a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> e il consumo di energia nella fase di utilizzo, di valori quasi pari al 90%.

In molte applicazioni il suo vantaggio ambientale è enorme: può ridurre il peso fino al 30-40% rispetto alla produzione tradizionale e la sua flessibilità consente di fabbricare prodotti unici piuttosto che lavorare con lotti minimi.

Tuttavia, questa tecnologia presenta dei limiti. Le dimensioni, il tipo di materiali e le tolleranze dei pezzi richiesti sono potenzialmente alcuni dei principali. Inoltre,

i prodotti richiedono solitamente attività di post-lavorazione, soprattutto a causa delle staffe create nella fase di lavorazione.

## CAPITOLO SECONDO

### IL PARCO ECO-INDUSTRIALE (EIP).

#### 1. Concetti chiave: Ecologia industriale e Simbiosi industriale.

Il tema dello sviluppo sostenibile associato all'economia circolare sta diventando sempre più importante nello scenario europeo. In particolare, il settore industriale ha dovuto accelerare nella corsa all'adeguamento sostenibile ed inclusivo delle proprie attività, con particolare riguardo al tema dell'efficientamento delle risorse e della consistente riduzione delle emissioni prodotte dalle industrie nell'ambiente.

Nel 1992 *Frosch*, nell'ambito di un *Colloquium paper*, introduce il concetto di analogia tra ecosistemi naturali ed ecosistemi industriali, ossia di “**ecologia industriale**”. Secondo *Frosch*, per analogia con gli ecosistemi naturali, un sistema eco-industriale, oltre a ridurre la produzione di rifiuti nei processi, dovrebbe massimizzare l'impiego efficiente dei materiali di scarto e dei prodotti a fine vita, utilizzandoli come input per altri processi produttivi. Tale sistema può essere innescato solo se si ha l'interazione di numerosi attori che concorrono a risolvere un numero congruo di potenziali problemi. Nell'ambito delle azioni che possono essere realizzate per andare verso un sistema eco-industriale, *Frosch* include la progettazione dei prodotti finalizzata al riciclo/riuso a fine vita, l'internalizzazione dei costi di smaltimento dei rifiuti per prodotti e processi e la responsabilità del produttore (ENEA, 2012).

Negli stessi anni, *Ayres* (1989) elabora la metafora della biosfera/tecnosfera, al fine di spiegare ed illustrare i concetti di ecologia e metabolismo industriale. L'analogia (*Tabella 1*) si basa sulle seguenti considerazioni: nella biosfera, l'evoluzione ha portato ad un uso efficiente dei materiali e dell'energia; nella tecnosfera, si assiste allo sfruttamento delle risorse ed al rilascio nell'ambiente di sottoprodotti inutilizzati (emissioni in aria, acqua, suolo); imparando dalla biosfera, la tecnosfera può progettare e gestire i propri processi cercando di migliorare la

propria efficienza e limitando il più possibile il rilascio di sottoprodotti inutilizzati nell'ambiente (ENEA, 2012).

Biosfera	Tecnosfera
Ambiente	Mercato
Organismo	Azienda
Prodotto naturale	Prodotto industriale
Selezione naturale	Competizione
Ecosistema	Parco eco-industriale
Nicchia ecologica	Nicchia di mercato
Anabolismo/Catabolismo	Produzione/Gestione dei rifiuti
Mutazione e selezione	Eco-progettazione
Successione ecologica	Crescita economica
Adattamento	Innovazione
Catena alimentare	Ciclo di vita del prodotto

Tabella 1. *La metafora di Ayres per illustrare la disciplina dell'ecologia industriale* (Ayres, 1989).

Attraverso l'analogia con gli ecosistemi naturali, che si distinguono per il loro carattere ciclico, si introducono i concetti di **metabolismo industriale** e di **simbiosi industriale**. Secondo *Hawken* l'ecologia industriale fornisce per la prima volta uno strumento di gestione integrata, su larga scala, che progetta le infrastrutture industriali “*come se fossero una serie di ecosistemi industriali interconnessi ed interfacciati con l'ecosistema globale*”. Per la prima volta l'industria va oltre la metodologia del ciclo di vita, applicando il concetto di ecosistema al complesso delle attività industriali, collegando il metabolismo industriale di un'impresa con quello di un'altra. Secondo *Ayres* con “*metabolismo industriale*” si intende la catena dei processi fisici che trasformano le materie prime e l'energia, oltre al lavoro, in prodotti e rifiuti. Uno degli obiettivi della disciplina del metabolismo industriale è quello di studiare il flusso dei materiali attraverso la società, al fine di comprendere meglio le fonti, le cause e gli effetti delle emissioni.

Per quanto riguarda il concetto di simbiosi industriale, *Renner* già nel 1947 aveva introdotto tale concetto, postulando che: *“ci sono rapporti tra le industrie, a volte semplici, ma spesso molto complessi, che entrano in gioco e complicano l’analisi. Tra questi uno dei principali è il fenomeno della simbiosi industriale. Con questo si intende l’insieme degli scambi di risorse tra due o più industrie dissimili”*. La simbiosi industriale offre, quindi, uno strumento per la chiusura dei cicli delle risorse, proponendo la relazione, e quindi lo scambio di risorse, tra “dissimili”, ovvero tra industrie che producono e lavorano prodotti differenti.

Secondo *Chertow*, la **“simbiosi industriale”** coinvolge industrie tradizionalmente separate con un approccio integrato, finalizzato a promuovere vantaggi competitivi attraverso lo scambio di materia, energia, acqua e/o sottoprodotti. Tra gli aspetti chiave che consentono il realizzarsi della simbiosi industriale ci sono la collaborazione tra imprese e le opportunità di sinergia disponibili in un opportuno intorno geografico ed economico. Quindi, il concetto di ecologia industriale *“richiede che un sistema industriale sia visto non in modo isolato dai sistemi circostanti, ma in concerto con essi”*. L’espressione *“simbiosi”*, invece, si basa sulla nozione di relazioni biologiche simbiotiche in natura, in cui almeno due specie, altrimenti non correlate, si scambiano materiali, energia o informazioni in modo reciprocamente vantaggioso, un tipo specifico di simbiosi noto come *mutualismo*. Lavorando insieme, le imprese cercano di ottenere un beneficio collettivo superiore alla somma dei benefici individuali che si potrebbero ottenere agendo da soli.

*Chertow et al.* (2008) identificano tre modalità per condividere le risorse:

- **Scambio di sottoprodotti.** Tale concetto implica l’uso di materiali di scarto o rifiuti tradizionalmente eliminati come sostituti di prodotti commerciali o materie prime. Gli scambi di sottoprodotti possono migliorare l’efficienza delle risorse di un’impresa sfruttando il valore economico intrinseco dei “rifiuti” e sono fondamentali nel passaggio dai flussi lineari a quelli circolari.

- **Condivisione di infrastrutture**, che consiste nell'uso congiunto e nella gestione di risorse comunemente utilizzate come vapore, elettricità, acqua e acque reflue. 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.
- **Approvvigionamento condiviso di servizi**, coinvolgendo le aziende che soddisfano collettivamente le loro esigenze accessorie, che si riferiscono a materiali e servizi non direttamente correlati al core business di un'azienda. Impianti antincendio, sicurezza, pulizia, catering e gestione dei rifiuti sono esempi di servizi ausiliari che hanno implicazioni ambientali (Chertow et al., 2008).

Dal punto di vista organizzativo, la simbiosi industriale si può realizzare secondo diversi modelli:

- i distretti di simbiosi industriale;
- i parchi eco-industriali;
- le reti per la simbiosi industriale.

Ai **distretti industriali** appartengono esperienze di sviluppo di meccanismi di simbiosi industriale in ambiti territoriali più o meno estesi, tra più realtà che nel tempo realizzano specifici interventi per la chiusura e l'ottimizzazione dei cicli. Si tratta cioè di un approccio *bottom-up*: il sistema di relazioni tra imprese nasce sulla base di specifici accordi tra due interlocutori che si accordano per realizzare scambi di materia, energia o servizi.

Al secondo gruppo, ai **Parchi Eco-Industriali**, appartengono iniziative di stampo statunitense, realizzate inizialmente, e principalmente, negli Stati Uniti/Canada ed

in Asia. Si tratta in questo caso di un approccio *top-down*, dove il parco eco-industriale è programmato, progettato e gestito sulla base dei principi dell'ecologia e della simbiosi industriale.

Le **reti per la simbiosi industriale**, invece, sono strumenti di tipo conoscitivo/relazionale, finalizzati a consentire l'incontro tra domanda ed offerta di risorse tra interlocutori che per attività economica e sociale non hanno altrimenti occasione di incontro.

In tutto il capitolo l'attenzione verrà posta prevalentemente sui Parchi Eco-Industriali e sulla Simbiosi Industriale.

## 2. Cos'è un Parco Eco-industriale (Eco-Industrial Park, EIP)?

Nel contesto di simbiosi industriale si inseriscono i **parchi eco-industriali** (conosciuti più frequentemente con il termine inglese *Eco-Industrial Parks*, o Eco-parchi), uno strumento divenuto particolarmente efficace nell'aiutare il settore industriale a superare le sfide legate all'inclusività e alla sostenibilità nel lungo periodo. L'EIP è una sorta di comunità di imprese collocate in una proprietà comune, la quale si impegna a migliorare le proprie prestazioni in termini ambientali, economici e sociali attraverso una gestione congiunta ed interconnessa delle problematiche ambientali e di efficientamento delle risorse dedicandosi, così, alla simbiosi industriale.

Per evitare di utilizzare terminologie diverse, in contesti diversi, per indicare uno stesso concetto, nel workshop sulla sostenibilità ospitato nel 1996 dagli Stati Uniti (PCSD, 1997) si cercò di trovare una definizione univoca di parco eco-industriale.

Nello specifico, due definizioni riscossero successo. Una prima definizione descriveva il parco eco-industriale come *“una comunità di imprese che cooperano tra loro e con la comunità locale per condividere in modo efficiente le risorse (informazioni, materiali, acqua, energia, infrastrutture e habitat naturale), portando a guadagni economici e di qualità ambientale e a un'equa valorizzazione*

*delle risorse umane per l'impresa e la comunità locale*". Tale definizione è incentrata principalmente sulle prestazioni sociali dell'eco-parco, sottolineando il bisogno di imprese e cittadini di lavorare insieme per condividere le risorse naturali e gestirle in maniera equa e rispettosa dell'ambiente. *Lowe, Moran e Holmes* (1995) si soffermarono sul concetto di socialità, ribadendo il concetto del vantaggio collettivo perseguibile "*maggiore della somma dei benefici individuali che ciascuna azienda avrebbe realizzato se ottimizzato i suoi interessi in maniera individuale*". L'enfasi sulla componente sociale lascia intuire la necessità di uno sforzo collettivo per raggiungere un obiettivo ambizioso e non facilmente raggiungibile da singole entità, da qui il concetto di simbiosi industriale.

Una seconda definizione, invece, descrive il parco eco-industriale come "*un sistema industriale di scambi pianificati di materiali ed energia che cerca di ridurre al minimo l'uso di energia e materie prime, di minimizzare i rifiuti e di costruire relazioni economiche, ecologiche e sociali sostenibili*". Questa definizione, a differenza della prima, si sofferma su aspetti più tecnici che sociali. Infatti, essa si riferisce ad un sistema industriale pianificato che scambia energia e che deve cercare di ridurre al minimo i consumi e gli sprechi attraverso relazioni economiche, sociologiche e sostenibili. L'aspetto tecnico fu già qualche anno prima sottolineato da *Côté e Hall* (1995) i quali avevano identificato quattro obiettivi che un eco-parco dovrebbe conseguire:

1. la conservazione di risorse naturali ed economiche;
2. la riduzione della produzione, materiale, energia, assicurazioni e trattamenti costi e responsabilità;
3. il miglioramento dell'efficienza operativa, della qualità, salute dei lavoratori e immagine pubblica;
4. la generazione di reddito dall'uso e vendita di materiali sprecati.

Questo impegno della comunità e per la comunità nel promuovere obiettivi di natura ambientale ed economica è sfociato nel concetto di simbiosi industriale, ritenuta da alcuni come principio comune agli *Eco-Industrial Parks*.

Questo progressivo sviluppo del concetto di *Eco-industrial Parks*, con assunzione di atteggiamenti sostenibili da parte dei Paesi considerati industriali, può essere attribuito a una serie di fattori alla base dei mercati emergenti:

- La crescente richiesta di prodotti di provenienza e produzione più sostenibili.
- Il desiderio di costruttori e di operatori delle zone di fornire servizi aggiuntivi ai cittadini, in modo da differenziarsi dagli altri Paesi industriali.
- Crescenti pressioni da parte di stakeholder esterni come il governo, le autorità di regolamentazione, le organizzazioni non governative e le organizzazioni sociali, che obbligano i paesi a operare in modo responsabile dal punto di vista ambientale.
- Azioni volontarie di autoregolamentazione da parte dell'industria e maggiore attenzione agli sforzi pratici di responsabilità sociale d'impresa.

### 2.1. **Caratteristiche degli EIPs.**

Gli *Eco-Industrial Parks* sono una parte del complesso di zone, chiamate *Special Economic Zones (SEZs)*, ed essi possono assumere nomi diversi a seconda delle diverse priorità ricoperte da ogni singolo parco. Possiamo distinguere:

1. Le *zone (o parchi) industriali a basse emissioni di carbonio*, le quali riducono le emissioni di carbonio all'interno dell'area industriale attraverso un rigoroso calcolo delle emissioni di gas serra e la definizione di obiettivi annuali. Le misure a livello di zona (o parco) e di impresa si concentrano sulle maggiori opportunità di riduzione delle emissioni (E. Kechichian, M. H. Jeong, 2016).

2. Le *zone* (o parchi) *eco-industriali* si concentrano sui miglioramenti ecologici in termini di riduzione dei rifiuti e di miglioramento delle prestazioni ambientali delle imprese (E. Kechichian, M. H. Jeong, 2016).
3. Le *zone verdi* riducono l'uso delle risorse all'interno delle infrastrutture e delle imprese locatarie, come in un PEI, e si concentrano anche sulla generazione di investimenti nella produzione e nei servizi verdi (E. Kechichian, M. H. Jeong, 2016).
4. Le *aree industriali sostenibili* si concentrano sul livello di gestione di una zona o di un parco industriale, con l'intento di guidare l'area industriale nel suo complesso a diventare più sostenibile. Sebbene questo approccio non si occupi delle singole aziende, il quadro di sostenibilità a livello di parco è in grado di avviare e promuovere cambiamenti positivi anche a livello aziendale (E. Kechichian, M. H. Jeong, 2016).
5. Le *Eco-città* si riferiscono a un approccio di pianificazione urbana e di gestione ambientale in cui le industrie situate nell'area designata perseguono sinergie nell'utilizzo delle risorse, nella gestione dei rifiuti, nella conservazione dell'ambiente, nell'efficienza delle risorse all'interno dei loro processi produttivi e tra le industrie, e nella promozione dello sviluppo industriale ed economico (GEC, 2005).
6. Le *zone a economia circolare* mirano a promuovere l'efficienza delle risorse, la gestione dei rifiuti e il controllo delle emissioni nelle aziende, nelle zone e nelle regioni attraverso un modello di economia circolare (E. Kechichian, M. H. Jeong, 2016).

Data la diversità degli eco-parchi, non esistono delle caratteristiche comuni o un quadro di applicazione univoco, atto a classificarli (Caiazza Rosa *et al*, 2022). Tuttavia, attraverso i molteplici contributi presenti in letteratura è possibile, derivare dei criteri di classificazione suddivisibili per:

1. Obiettivi dell'eco-parco;
2. Strategia di sviluppo;
3. Composizione degli attori;
4. Ruoli;
5. Innovazioni tecnologiche.

## 2.2. **Obiettivi degli EIPs.**

Dalle definizioni di parco eco-industriale, fornite precedente, sono facilmente derivabili almeno tre tipologie di obiettivi:

1. obiettivi ambientali;
2. obiettivi economici;
3. obiettivi sociali.

Nello specifico, i primi due obiettivi devono essere stabiliti coerentemente con i requisiti normativi in tema di ambiente e società che sono redatti a livello nazionale, europeo o globale. L'**obiettivo ambientale** è legato alla gestione sostenibile di risorse quali acqua, rifiuti, energia e cambiamento climatico. A tal proposito, possiamo identificare due normative che un parco deve considerare: in primo luogo, la convenzione di Stoccolma per gli inquinanti organici, che si prefigge di ridurre al minimo le emissioni globali di queste sostanze nell'ambiente; in secondo luogo, la convenzione di Vienna, con la quale si stabiliscono i principi per proteggere lo strato di ozono, in seguito ad avvertimenti scientifici che la riduzione rappresenta un pericolo per la salute umana e l'ambiente (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

L'**obiettivo sociale** è connesso invece alle ricadute dell'eco-parco industriale sulla comunità in cui svolge la propria attività e sui cittadini che risiedono nell'area a cui afferisce il parco. Più nello specifico, esso ha ad oggetto il dialogo con la

comunità, la creazione di nuove imprese e nuovi posti di lavoro, infrastrutture lavorative dignitose, l'inclusività, le pari opportunità e il benessere della comunità (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

Gli **obiettivi economici** sono connessi alla gestione del parco, ma anche alla gestione delle singole organizzazioni coinvolte, che si pongono come obiettivo la riduzione dei costi di produzione, un migliore efficientamento dei processi produttivi, e il miglioramento della competitività. Inoltre, essendo un importante veicolo utilizzato dai governi per rafforzare il loro settore manifatturiero e per aggiungere valore all'economia, un ulteriore obiettivo potrebbe essere quello di attrarre investimenti e finanziamenti da attori internazionali (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

I tre obiettivi non si escludono a vicenda, ma in alcuni casi pratici è evidente che uno dei tre prevalga sugli altri. Heeres, Vermeulen e De Walle (2004) hanno condotto un'analisi comparativa tra gli eco-parchi olandesi e statunitensi. Tale analisi ha permesso di verificare che il primo, nonché più importante, obiettivo negli eco-parchi americani è quello della creazione di posti di lavoro con salari dignitosi per la popolazione locale; quindi, l'obiettivo economico e sociale risulta più importante dell'obiettivo ambientale. Nelle realtà olandesi, invece, i progetti per i diversi eco-parchi sono stati avviati sia per motivi economici ma anche, e soprattutto, per motivi ambientali, in modo tale da poter migliorare contemporaneamente sia l'aspetto economico che le prestazioni ambientali delle aziende partecipanti. Quindi, gli obiettivi ambientali ed economici hanno in questo contesto la stessa importanza.

### 2.3. **Strategia di sviluppo.**

Un'altra caratteristica dei parchi eco-industriali è quella di poter essere distinti in base alla propria strategia di sviluppo. Lambert e Boons (2002) propongono una classificazione tra parchi *greenfield* e *browfield*. Gli eco-parchi *greenfield* sono dei

parchi creati ex-novo e quindi già costruiti nel rispetto di alcuni requisiti di base per un eco-parco. Inoltre, essi danno vita ad un nuovo complesso di attività industriali tenendo conto dell'impatto ecologico e sociale già nelle prime fasi di progettazione. Insieme allo sviluppo del parco, indirizzano e pianificano anche gli sviluppi economico-sociali dell'area geografica in cui risiedono. Gli eco-parchi *brownfield* prendono vita da parchi industriali esistenti e si occupano della ristrutturazione di infrastrutture invecchiate e delle relazioni trascurate. Quindi essi, dovendosi occupare del rilancio di complessi industriali esistenti, hanno come obiettivo primario la riduzione dell'impatto ecologico. In maniera indiretta la riqualificazione delle strutture aziendali esistenti comporta anche la ridestinazione delle aree limitrofe al parco e l'attivazione di elementi di attrattività per le imprese del territorio ormai delocalizzate (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

#### 2.4. **Composizione.**

La tipologia di attori coinvolti nella costituzione di un eco-parco non si limita all'inclusione delle sole industrie pesanti a vocazione produttiva ed alta intensità energetica, ma può includere organizzazioni di diverse dimensioni e diversa natura.

Alcuni parchi, ad esempio, sono costituiti da piccole e medie imprese interconnesse da numerosi scambi di materiale ed energia relativamente di ridotta portata. In aggiunta, alcuni autori sottolineano l'importanza dell'inclusione di soggetti non solo industriali, ma anche imprese di servizi come finanziatori, imprese di consulenza, sindacati; organizzazioni pubbliche quali le agenzie governative locali, regionali o nazionali; consulenti di vario tipo o persone fisiche come esperti in questioni ambientale, gestionali, architettoniche, che allo stesso modo delle industrie protagoniste apportano valore all'eco-parco (Heeres, Vermeulen e De Walle, 2004).

La composizione dell'eco-parco può influire sulle sue dimensioni. Non esiste alcuna dimensione standard o media, esistono eco-parchi di piccole o di grandi dimensioni che superano i 10.000 attori, alcune domestiche, alcune straniere (Yu, De Jong, Dijkema, 2014).

Lambert e Boons (2002), sulla base della composizione delle industrie protagoniste hanno suddiviso i parchi in:

1. Parchi classici;
2. Parchi industriali misti;
3. Parchi industriali virtuali.

I **parchi classici** si compongono di attività industriali geograficamente concentrate, talvolta lungo un corso d'acqua o un deposito di materiali. Principalmente sono formati da industrie di processo, con stretti accoppiamenti dovuti a scambi di materiali e processi di produzione interrelati.

I **parchi industriali misti** sono composti principalmente da piccole e medie imprese. Si concentrano in aree dedicate ma hanno una natura diversificata e uno scarso accoppiamento tra le parti: sono meno interrelati in termini di processi produttivi e materiali scambiati. Questa tipologia sta emergendo in particolar modo nei paesi di recente industrializzazione.

I **parchi industriali virtuali** si sviluppano su un'area geografica o amministrativa più ampia. Di solito si riferiscono a una varietà di industrie, ma con una specializzazione definita.

## 2.5. **Ruoli.**

La definizione dei ruoli è una delle parti essenziali, sin dalle prime fasi della progettazione di un eco-parco.

Heeres, Vermeulen e De Walle (2004) ritengono che l'iniziatore del progetto, ovvero colui che per primo si adopera per avviare la progettazione di un eco-parco,

può essere di natura pubblica o privata. Gli iniziatori di natura pubblica sono spesso il governo locale o regionale che intendono migliorare l'economia della loro regione o località. Gli iniziatori di natura privata, invece, sono gruppi di imprese o associazioni di imprenditori che possono o meno sin dalla fase iniziale coordinarsi con gli enti locali per velocizzare i tempi di realizzazione dell'eco-parco. Come dimostrato dallo studio degli eco-parchi americani, quando l'iniziatore è pubblico, le aziende partecipanti hanno un atteggiamento passivo verso nello sviluppo del progetto, mentre se la spinta è privata, le aziende partecipano con maggiore coinvolgimento.

Il ruolo di iniziatore può essere però distinto dal finanziatore. Sebbene l'iniziatore del progetto sia un ente pubblico, molto spesso i finanziatori sono le imprese, che contribuiscono attraverso la fornitura di attrezzature e personale; viceversa, nel caso in cui l'iniziatore sia un gruppo di imprese, talvolta questi si avvalgono di fondi pubblici per avviare il progetto (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

L'organo di sviluppo del progetto è l'organo adibito alla gestione dell'eco-parco. Esso non deve limitarsi al solo coinvolgimento delle imprese o degli organi finanziatrici, ma dovrà coinvolgere la comunità di residenti e le imprese estranee al progetto, ma con le quali si condividono risorse ambientali e infrastrutture (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

## **2.6. Innovazioni tecnologiche.**

L'aggregazione di organizzazioni che condividono obiettivi comuni e che svolgono attività diverse può favorire l'innovazione e l'apprendimento tecnologico. Per questo motivo i parchi eco-industriali risultano un terreno fertile per lo sviluppo di innovazioni o di nuove implementazioni e tecnologiche. Molto spesso, l'innovazione è una delle componenti essenziali per un eco-parco, che si trova tipicamente a fronteggiare sfide complesse di carattere ambientale. Tuttavia, non tutti i parchi possono esercitare il ruolo

di soggetti innovatori, in quanto molto spesso adottano le innovazioni già implementate in altri contesti. I parchi innovatori, a differenza di quelli *adopter*, vedono come rilevante il coinvolgimento delle università e dei centri di ricerca e richiedono investimenti iniziali e di sviluppo più ingenti rispetto ai parchi *adopter* (Ewa Liwarska-Bizukojs et al., 2009).

### **3. Fattori abilitanti, benefici e barriere nella realizzazione degli EIP.**

#### **Fattori abilitanti.**

Raramente gli eco-parchi industriali nascono in maniera spontanea; essi sono abilitati da fattori di diversa natura. Principalmente si tratta di fattori di natura normativa, che spingono le industrie a cooperare e a preoccuparsi di questioni ambientali causate dalla crescita esponenziale delle produzioni oppure a occuparsi di trainare lo sviluppo economico di una regione in maniera ecosostenibile. Un esempio in questo caso può essere quello della Cina. In Cina, gli eco-parchi sono nati grazie agli incentivi stanziati dal governo nel 2001, con i quali si è avviato un programma nazionale col fine di risolvere le problematiche relative alle emissioni di biossido di carbonio e anidride solforosa e la produzione di rifiuti solidi e tossici. Inoltre, le normative molto spesso comprendono tipicamente anche un sostegno economico o che in maniera concreta invita le aziende ad un cambio di prospettiva (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

Altre volte il fattore principale è il mercato, che induce le imprese a creare nuove condizioni per il vantaggio competitivo. Alcune imprese, infatti, per rendersi attrattive ai mercati esteri o per conseguire vantaggi di costo e produzione, percepiscono come vantaggiosa, per sé stessi e per l'intero

comparto industriale, la formalizzazione di un accordo industriale che vede più imprese impegnarsi per uno scopo comune (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

Pochi autori hanno invece esplorato il fattore cultura come abilitante per la creazione degli eco-parchi.

### **Benefici.**

Gli EIPs possono offrire vantaggi alle aziende che vi partecipano, alla comunità locale e alla comunità in generale.

Innanzitutto, è possibile distinguere i benefici in quattro categorie:

1. benefici ambientali;
2. benefici economico-gestionali;
3. benefici organizzativi;
4. benefici sociali.

I **benefici ambientali** sono principalmente di natura esterna all'organizzazione e talvolta esterna all'eco-parco. La conservazione e preservazione delle risorse, la qualità dell'aria e delle acque sono risultati di cui ne beneficeranno le comunità localizzate nelle zone in cui è insediato il parco, ma anche le generazioni future (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

I benefici che invece saranno direttamente tratti dalle imprese riguardano la componente economico-gestionale ed organizzativa. I **benefici economico-gestionali** sono relativi al risparmio sui costi operativi, all'ottimizzazione dei processi, all'attrazione di investimenti esteri, al trasferimento tecnologico, fino a benefici più indiretti, quali l'aggiornamento delle competenze e una positiva reputazione dell'industria rispetto a fornitori e consumatori (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

I **benefici organizzativi** riguardano l’inserimento di figure professionali adibite alla transazione ecologica e l’aggiornamento delle infrastrutture fisiche e tecnologiche. In particolare, le infrastrutture tecnologiche sono cruciali per la gestione delle informazioni, dei dati e delle relazioni. Infine, i benefici di natura sociale. Questi concernono la creazione di nuovi posti di lavoro, l’uguaglianza di genere, migliori condizioni di sicurezza per i lavoratori, fino all’insediamento di infrastrutture sociali a vantaggio della comunità, ad esempio ospedali, servizi finanziari, scuole, ecc. (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

### **Barriere.**

*Heeres, Vermeulen e De Walle* (2004) hanno individuato cinque tipologie di ostacoli:

1. Ostacoli di natura normativa;
2. Ostacoli di natura economica;
3. Ostacoli di natura organizzativa;
4. Ostacoli di natura informativa;
5. Ostacoli di natura tecnica.

Alcuni di questi ostacoli sono connessi all’incapacità di incisione dei fattori abilitanti che risultano debolmente influenzanti per la rete di industrie intenzionate a costituire un eco-parco industriale. Individuiamo ostacoli di natura **normativa**, nei casi in cui le leggi e i regolamenti siano ambigui o poco tutelanti nei confronti dei soggetti finanziatori ed iniziatori. Gli ostacoli di natura **economica**, che si verificano quando gli attori percepiscono lo

scambio di risorse e materiali economicamente inadeguato e rischioso dal punto di vista aziendale. L'incertezza del conseguimento di benefici porta gli attori a ritirarsi o a non impegnarsi alla realizzazione del progetto (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

Le barriere di natura **organizzativa** sono connesse all'inadeguatezza nella gestione del progetto, soprattutto nella fase iniziale, dove non vengono adeguatamente definiti i ruoli tra le aziende o non viene riconosciuto l'organo di governo come soggetto adibito alla guida e al monitoraggio delle attività. Le barriere organizzative sono molto spesso collegate a quelle di natura **informativa**, poiché una scarsa organizzazione delle parti crea una frizione nella circolazione delle informazioni. Infine, gli ostacoli di natura **tecnica** sono dovuti sia ad errori di previsione sulla congruenza degli scambi di materiali e risorse e pertanto i processi di efficientamento sono tecnicamente irrealizzabili. Altre volte sono invece dovuti ad una mancanza di strumenti ed infrastrutture che, non essendo rese disponibili alle industrie, ne compromettono la realizzazione degli obiettivi (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

Quindi, l'EIP offre ai partecipanti l'opportunità di ridurre i costi di produzione attraverso una maggiore efficienza dei materiali e dell'energia, il riciclaggio dei rifiuti, la condivisione dei costi infrastrutturali e l'evitamento di sanzioni normative. Le aziende che partecipano a un EIP interagiscono in modi che sono sconosciuti a molte aziende statunitensi e che possono comportare rischi significativi.

### **Benefici e rischi per le industrie.**

Alle aziende coinvolte, un parco eco-industriale offre l'opportunità di ridurre i costi di produzione grazie a una maggiore efficienza nell'utilizzo di materiali ed energia, a nuovi flussi di reddito derivanti dall'utilizzo dei rifiuti e alla riduzione degli oneri normativi. L'aumento dell'efficienza consente ai membri del parco di produrre prodotti più competitivi sui mercati nazionali e globali.

Inoltre, alcuni costi un tempo sostenuti esclusivamente da singole imprese potrebbero essere condivisi da tutte le imprese aderenti al parco. Tali costi riguardano ad esempio i costi delle infrastrutture, della ricerca e sviluppo, costi di formazione del personale e le spese di progettazione e manutenzione di sistemi informativi sofisticati. Questa collaborazione potrebbe aiutare i membri dell'eco-parco a raggiungere una maggiore efficienza economica rispetto alle loro controparti autonome. Le aziende potrebbero inoltre utilizzare la loro adesione all'eco-parco come solida base per campagne di marketing ecologico.

Tuttavia, l'EIP presenta anche dei rischi per l'industria. L'adesione all'EIP richiede un rapporto speciale di dipendenza tra tutti i suoi membri (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

#### **Benefici e rischi per la comunità locale.**

Il miglioramento dei risultati economici delle imprese partecipanti potrebbe rendere l'eco-parco un potente strumento di sviluppo economico. Gli EIPs possono fornire alle comunità un punto focale per le attività di reclutamento industriale. Questa attività può diversificare la comunità industriale, stabilizzando l'economia della comunità.

Gli EIPs possono ridurre l'onere ambientale delle imprese esistenti e di quelle nuove, riducendo gli scarichi e l'uso di risorse naturali scarse a livello locale.

Tuttavia, le comunità devono anche affrontare sfide significative nello sviluppo degli eco-parchi. Tra queste, il reperimento di fondi per lo sviluppo, il reclutamento di aziende adeguate e la gestione flessibile del parco (Caiazza Rosa *et al*, 2022).

#### **Benefici per la comunità nel suo insieme.**

La comunità, intesa nel suo insieme e non solo a livello locale, può massimizzare i benefici degli EIPs e minimizzarne i rischi esaminando attentamente i potenziali ostacoli e determinando se possono essere superati.

Gli EIPs producono una riduzione significativa di molte fonti di inquinamento e una diminuzione della domanda di risorse naturali. La combinazione di benefici ambientali ed economici potrebbe dimostrare i principi dello sviluppo sostenibile in un contesto reale. L'evoluzione dell'EIP potrebbe anche creare una domanda di approcci più innovativi alla prevenzione dell'inquinamento, all'efficienza energetica, al recupero delle risorse, al disassemblaggio dei prodotti e ad altre tecnologie avanzate di gestione ambientale. Questa domanda aumenterà a sua volta la richiesta di ricerca e sviluppo in questi settori. Ogni parco servirà da modello di lavoro per i futuri eco-parchi e per altre forme di gestione aziendale rispettose dell'ambiente. Gli EIPs forniscono inoltre ai governi un laboratorio per la creazione di politiche e regolamenti più efficaci per l'ambiente e meno onerosi per le imprese.

Il rischio che un EIP comporta per la comunità generalmente intesa è la possibilità che, dopo aver speso ingenti risorse per sviluppare il concetto di EIP, esso si riveli inattuabile a causa di vincoli quali restrizioni normative, standard di pratica commerciale, limiti tecnologici o benefici economici insufficienti. È quindi importante esaminare attentamente i potenziali ostacoli agli EIPs e stabilire se possono essere superati. Ciò può essere fatto impegnandosi in studi di caso esplorativi, come verrà visto nel paragrafo successivo.

#### **4. L'esperienza del Parco Eco-industriale di Kalundborg.**

Nel paragrafo 1 di questo capitolo è stato ampiamente illustrato il concetto di Simbiosi Industriale, profondamente legato al concetto di Ecologia Industriale e sul quale si basa lo sviluppo di un EIP.

Come abbiamo visto, uno dei principali modelli di Simbiosi Industriale sono i distretti industriali. A questo gruppo appartengono esperienze di sviluppo come quella di Kalundborg, ossia processi di applicazione di meccanismi di Simbiosi Industriale in ambiti territoriali più o meno estesi, tra numerose realtà che nel tempo realizzano specifici interventi per la chiusura e l'ottimizzazione dei cicli

produttivi. Si tratta, nello specifico, di un approccio “*bottom-up*”: il sistema di relazioni tra gli attori nasce indipendentemente da una specifica programmazione, in quanto avviene sulla base di accordi finalizzati alla realizzazione di scambi di materia, energia, servizi e competenze.

Entrando nel merito, Kalundborg è una cittadina della Danimarca di circa 16.000 abitanti, localizzata a 110 chilometri a ovest di Copenaghen. Essa è il modello di Simbiosi Industriale sicuramente più citato in letteratura: a partire dalla fine degli anni ‘80 ha cominciato a essere studiato, ed è diventato nel tempo il modello di riferimento per questa pratica.

La storia della simbiosi a Kalundborg è iniziata però già nei primi anni ‘60 e ‘70 del secolo scorso, quando all’interno dell’area industriale della piccola cittadina ha cominciato a svilupparsi, in maniera spontanea e non pianificata a livello istituzionale, una complessa rete di scambi di materiali ed energia, che hanno coinvolto un numero sempre maggiore di soggetti. Quindi, nonostante sia stato creato senza una specifica e chiara pianificazione strategica, esso è considerato a tutti gli effetti un modello di Parco Eco-industriale. Infatti, l’Ecoparco di Kalundborg è stato concepito in risposta ai problemi delle imprese localizzate in quell’area, le quali hanno sviluppato spontaneamente intense relazioni economiche e strategiche.

Nel corso degli anni, questo parco “non pianificato” ha attratto un numero sempre crescente di attori pubblici e privati, interessati allo scambio di input produttivi.

Attualmente, il modello di simbiosi industriale di Kalundborg è composto *principalmente* (ma non unicamente) da cinque imprese:

- Asnaes DONG Energy (centrale elettrica), Statoil (raffineria);
- Gyproc (produttore di cartongesso);
- Kara-Novoren (società di gestione dei rifiuti);
- Novo Nordisk (azienda farmaceutica e biotecnologica);
- Comune di Kalundborg.

Inoltre, ci sono molte altre piccole imprese al di fuori dell’area industriale di Kalundborg che hanno rapporti simbiotici con tali strutture.

La simbiosi industriale è iniziata quando Gyproc ha deciso di localizzare la sua fabbrica di cartongesso nella zona. Questa decisione è stata presa per ridurre i costi di produzione attraverso lo sfruttamento del gas in eccesso bruciato in modo non redditizio da Statoil. Entrambe le imprese hanno ottenuto benefici economici e produttivi grazie a questo scambio: da un lato, Gyproc ha ridotto i suoi costi di approvvigionamento, acquistando gas a basso costo; dall'altro, Statoil ha venduto il gas prodotto in eccesso. Da quel momento, le imprese vicine hanno compreso il potenziale e i vantaggi di queste relazioni produttive "win-win".

Inoltre, per far fronte alla carenza d'acqua nel sottosuolo, Asnaes ha trasformato il suo sistema di approvvigionamento idrico (in cambio di energia) combinando l'acqua del lago di Tisso con acqua di raffreddamento e acque reflue della raffineria Statoil. Gradualmente, Asnaes ha iniziato a riutilizzare le proprie acque reflue, riducendo del 100% l'uso di acqua sotterranea. Il comune di Kalundborg riceve energia da Asnaes in cambio dell'acqua del lago di Tisso. La centrale elettrica fornisce quindi energia per il sistema di teleriscaldamento che sostituisce circa 3.500 sistemi di riscaldamento individuali. Inoltre, Asnaes utilizza anche gas prodotto in eccesso da Statoil, riducendo le emissioni di carbonio e di gas serra.

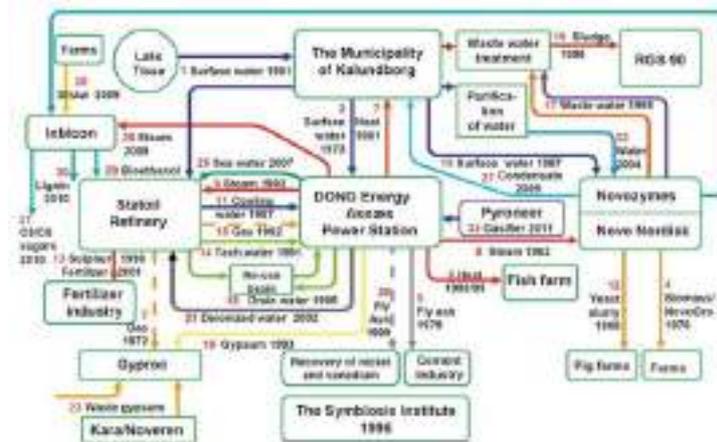


Grafico 1. Relazioni instaurate tra i vari attori all'interno del Parco Eco-industriale di Kalundborg (Kalundborg Symbiosis Institute).

Le ceneri e il gesso prodotti come rifiuti nel processo di desolforizzazione della centrale elettrica sono utilizzati da Aalborg Portland per la produzione di cemento

e da Gyproc per i cartongessi. Il grafico 1 mostra tutte le relazioni instaurate all'interno del parco.

Durante gli oltre quarant'anni di attività i rapporti all'interno dell'EIP di Kalundborg si sono evoluti ed è risultato chiaro che, con il nascere di nuovi scambi e nuovi attori, anche le tipologie stesse di interazione si sono evolute.

Tre fasi hanno contraddistinto in maniera marcata l'evoluzione dei rapporti in Kalundborg:

**FASE 1: Embrionale.** Nella prima fase collochiamo l'instaurazione delle prime relazioni tra le aziende partecipanti, entrate nella rete attraverso interazioni tra i dirigenti delle varie aziende. Ma non tutte le relazioni si sono evolute con lo stesso successo.

**FASE 2: Cooperazione.** Si tratta dell'escalation cooperativa tra imprese. In questa fase sono andati consolidandosi i rapporti di reciproca fiducia, la rete di cooperazioni si espande e nuove imprese entrano a far parte del progetto. In questa fase, le sfide operative associate alla condivisione delle risorse o dei flussi di rifiuti sono state risolte. La cooperazione è simile ad una filiera industriale. *Comi et al.* (2014) hanno parlato di “*collaborazione transazionale*”, in quanto ciò che una volta era una transazione tra due entità strategicamente disconnesse, ora diviene routine per entrambe le aziende. A Kalundborg, le relazioni tra Statoil, DONG Energy, Kalundborg Forsyning, Novo Nordisk e Novozymes si adattano a questo modello.

**FASE 3: Collaborazione.** Si tratta dell'ultima fase, quella più difficile da raggiungere; infatti, sono poche le imprese che raggiungono uno stadio di simbiosi di questo tipo. Per le poche aziende che riescono nell'obiettivo, si riconosce la fine del cooperare e l'inizio della collaborazione. *Comi et al.* (2014) si riferiscono a questo stadio come “*collaborazione consultiva*”. Il livello di fiducia si è ormai consolidato e i rapporti sono efficienti; infatti, avviene quasi una fusione tra le

strategie delle imprese che collaborano. In questa fase, grazie a una comprovata esperienza di successo operativo di collaborazione, le sfide di business che un tempo erano affare delle singole imprese vengono ora affrontate sinergicamente. Questa fase è la più difficile da raggiungere, in quanto è necessario passare da una visione individuale, a livello di singola impresa, a una visione di insieme. Persino nella simbiosi di Kalundborg sono poche le imprese che hanno questo tipo di collaborazione.

Quindi, far parte di una Simbiosi Industriale come quella di Kalundborg crea vantaggi sia per le aziende che per le autorità locali. Infatti, le aziende riducono al minimo i costi legati agli input di produzione e allo smaltimento dei rifiuti, risparmiando sui costi sostenuti dalle imprese per le cosiddette “*tasse verdi*”. Inoltre, beneficeranno dei risultati non solo le imprese che ne fanno parte, ma avremo un effetto “*spillover*”, fenomeno per cui un'attività economica volta a beneficiare un determinato settore o una determinata area territoriale produce effetti positivi anche oltre tali ambiti. Le autorità locali, invece, beneficiano di una riduzione dell'inquinamento ambientale e delle sostanze industriali nocive. Inoltre, il parco aumenta la qualità della vita, il tasso di occupazione e l'attrattiva dell'area, migliorandone l'immagine.

### **Servizi e infrastrutture di Kalundborg.**

Per quanto riguarda i servizi e le infrastrutture, nell'Ecoparco di Kalundborg sono presenti numerose infrastrutture verdi, sia pubbliche che private. Il parco è infatti dotato di:

- due impianti di trattamento delle acque reflue;
- due sistemi di raffreddamento;
- un depuratore e un contenitore d'acqua;
- un impianto di smaltimento dell'azoto;
- due impianti di riciclaggio dei rifiuti;
- due centrali elettriche che produrranno solo energia verde a partire dal 2015;

- un inceneritore di rifiuti.

Le imprese coinvolte hanno accesso diretto a queste infrastrutture e ai diversi servizi, che vanno dall'analisi dell'area e monitoraggio delle emissioni ambientali, all'assistenza per il reclutamento di risorse umane qualificate, all'individuazione di potenziali partner commerciali e produttivi.

### **Il consiglio d'amministrazione di Kalundborg.**

Il consiglio di amministrazione è composto da un delegato di ciascuna impresa partecipante e da un delegato del Comune di Kalundborg. Inizialmente il CdA era un organo esecutivo e amministrativo, ma il suo potere è stato ridotto dalla forte opposizione delle imprese che volevano mantenere la loro autonomia.

Oggi, i compiti principali del consiglio di amministrazione sono:

- stimolare la collaborazione tra le aziende del parco;
- organizzare incontri annuali con le aziende
- realizzare progetti ad hoc per risolvere i problemi che le aziende incontrano e che vengono discussi durante le riunioni annuali;
- gestire le infrastrutture pubbliche e i servizi.

Il CdA organizza una o due volte l'anno incontri con le imprese per discutere di problemi o esigenze e come affrontarli attraverso progetti specifici. Questi progetti sono realizzati in collaborazione con le imprese interessate e sono coordinati dal consiglio di amministrazione. Si tratta di progetti che affrontano principalmente questioni ambientali. Attualmente sono in corso 33 progetti, suddivisi come segue:

- 14 sul riutilizzo dell'acqua
- 7 sulla produzione di energia verde;
- 12 sul riciclaggio dei rifiuti.

Il CdA è anche incaricato di promuovere il parco organizzando eventi, conferenze e workshop in cui vengono evidenziati i suoi benefici economici e ambientali. Una volta al mese il parco ospita imprenditori stranieri interessati a capire meglio come funziona il parco e quali sono i vantaggi interessati a capire meglio come funziona il parco e quali benefici può offrire. Esistono anche collaborazioni con le università

locali, in particolare con la Copenhagen Business School e l'Università di Roskilde. Infine, il parco è stato oggetto di discussione nei media e in diversi giornali accademici, perché considerato un esempio unico di simbiosi industriale.

In conclusione, cosa si può dire di aver imparato dall'esperienza di Kalundborg? Innanzitutto, possiamo riconoscere diversi punti di forza che rendono l'Ecoparco di Kalundborg un modello di riferimento, come:

- la presenza di molte grandi aziende nell'area;
- la breve distanza tra le aziende raggruppate nell'area industriale di Kalundborg;
- l'assenza di concorrenza tra le imprese;
- gli incentivi economici per le aziende coinvolte nella riduzione dell'inquinamento;
- l'assenza di barriere legali;
- l'assenza di una struttura piramidale all'interno del parco, perché il compito principale del consiglio di amministrazione è quello di favorire le relazioni tra le imprese.
- l'autonomia delle imprese coinvolte.

Inoltre, i principali risultati raggiunti dall'Ecoparco di Kalundborg negli ultimi anni possono essere riassunti essenzialmente in tre macroaree principali:

- **risparmio ambientale**, con un risparmio pari a 19.000 tonnellate di petrolio, 30.000 tonnellate di carbone e 600.000 m<sup>3</sup> di acqua (su 3 milioni).
- **riduzione delle emissioni inquinanti**, con una riduzione di 130.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> (su 4 milioni di tonnellate) e di 3.700 tonnellate di SO<sub>2</sub> (su 29.000 tonnellate).
- **riutilizzo dei rifiuti industriali**, pari a 135 tonnellate di ceneri volanti, 2.800 tonnellate di zolfo, 80.000 tonnellate di gesso e 800.000 tonnellate di azoto.

Ma a quale costo? L'investimento necessario per realizzare i diversi scambi di materiali e i progetti è stato stimato in 75 milioni di dollari. Il tempo di ritorno di un progetto è in media inferiore a cinque anni. Pertanto, una seconda lezione è che un utilizzo più razionale delle risorse può far risparmiare denaro.

Inoltre, come ha osservato *Frosch* (1992), un altro insegnamento derivante dall'osservazione dell'esperienza di Kalundborg è quella che, in un sistema industriale così attentamente pianificato e integrato, le singole parti sono troppo collegate e dipendenti l'una dall'altra, rendendo quindi il modello fragile e suscettibile di collasso. Egli ha espresso inoltre la sua preferenza per un sistema industriale che si auto-organizza, per ridurre al minimo gli sprechi, pur riconoscendo che potrebbe essere necessario contribuire a "rifornire" l'ecosistema industriale con alcuni tipi di aziende per creare un migliore equilibrio, fornendo informazioni sulle opportunità commerciali o sostenendo le start-up.

Un altro insegnamento è che la vicinanza delle aziende partner ha indubbiamente contribuito a ridurre i costi delle infrastrutture per facilitare gli scambi di materiali, come le condutture.

Questi insegnamenti della simbiosi industriale possono chiaramente essere applicati a una zona industriale. Per questo, nel prossimo capitolo verrà analizzato un caso studio, riportando i vantaggi e gli svantaggi del modello.

## **CAPITOLO TERZO.**

### **IL MODELLO DI GOAL PROGRAMMING PER L'OTTIMIZZAZIONE DI UN EIP: UN CASO EMPIRICO.**

#### **1. Introduzione al modello di *Goal Programming*.**

Una situazione decisionale è generalmente caratterizzata da più obiettivi. Alcuni di questi obiettivi possono essere complementari, mentre altri possono essere in conflitto. La programmazione per obiettivi consente ai decisori (i *Decision Makers*, DM) di specificare un obiettivo per ogni funzione obiettivo. La soluzione preferita è quella che minimizza la somma delle deviazioni dall'insieme dei valori obiettivo prescritti.

Di *Goal Programming* (GP o Programmazione per obiettivi) si è iniziato a parlare già nei primi anni Cinquanta, ma è solo a partire dalla metà degli anni Settanta che la *Goal Programming* ha finalmente ricevuto un'attenzione davvero sostanziale e diffusa. Gran parte dell'interesse è dovuto alla dimostrata capacità del modello di fungere da strumento efficiente ed efficace per la modellazione, la soluzione e l'analisi di modelli matematici che coinvolgono obiettivi multipli e conflittuali, il tipo di modello che più naturalmente rappresenta i problemi del mondo reale. Un'altra ragione dell'interesse per la *Goal Programming* è il risultato della crescente consapevolezza che i metodi di programmazione a obiettivo singolo, come ad esempio la programmazione lineare (infatti la *Goal Programming* non è nient'altro che un'estensione del modello di programmazione lineare), non sempre forniscono risposte ragionevoli, né in genere portano a una vera comprensione del problema reale (James P. Ignizio, 1985). L'idea alla base dei modelli di *Goal Programming* è che esista un obiettivo ideale da raggiungere, soddisfacendo allo stesso tempo dei vincoli stringenti. Questo obiettivo però può essere accompagnato da una serie di obiettivi diversi, che possono a loro volta essere in conflitto tra loro, come ad esempio la massimizzazione del profitto aumentando allo stesso tempo

gli stipendi pagati ai dipendenti; oppure l'aumento della qualità dei prodotti diminuendone però il prezzo di vendita (Alessio Ishizaka, Philippe Nemery, 2013).

La programmazione degli obiettivi viene tipicamente utilizzata per eseguire tre tipi di analisi:

- Determinare le risorse necessarie per raggiungere un insieme di obiettivi desiderati.
- Determinare il grado di raggiungimento degli obiettivi con le risorse disponibili.
- Fornire la migliore soluzione soddisfacente al variare delle risorse e delle priorità degli obiettivi.

Un tipico modello di *Goal Programming* può essere definito come segue:

$$\min \sum_{i=1}^p |F_i(x) - T_i|$$

*Subject to*  $x \in X$

Dove:

$T_i$  denota l'obiettivo fissato dal decisore per la funzione obiettivo  $F_i(x)$  e  $X$  rappresenta la regione fattibile nella quale devono essere effettuate le scelte del vettore  $x$ . Il criterio, quindi, è quello di minimizzare la somma dei valori assoluti delle differenze tra i valori target e i valori effettivamente raggiunti.

La modellazione del problema di programmazione per obiettivi richiede, come la programmazione lineare, l'identificazione delle variabili decisionali, nonché degli obiettivi e dei vincoli.

- Identificazione delle variabili decisionali.** Le variabili decisionali sono variabili indipendenti che vengono modificate fino a ottenere la quantità desiderata. L'insieme delle variabili decisionali descrive completamente il

problema e forma la decisione da prendere. Lo scopo del modello di programmazione per obiettivi può essere visto come una ricerca di tutte le possibili combinazioni di valori delle variabili decisionali (note come “spazio decisionale”) al fine di determinare il punto che meglio soddisfa gli obiettivi e i vincoli del decisore. Nell’esempio possono essere identificate le variabili  $x_1$ , che rappresenta il numero di unità di prodotto A fabbricate a settimana, e  $x_2$ , il numero di unità di prodotto B fabbricate a settimana.

- b. **Identificazione degli obiettivi.** Gli obiettivi vengono tipicamente identificati tramite la funzione obiettivo, la quale consiste nella massimizzazione o minimizzazione di uno specifico criterio, come il costo, il profitto, il tempo, la distanza, ecc. (Alessio Ishizaka, Philippe Nemery, 2013).
- c. **Identificazione dei vincoli “soft” e “hard”.** Un vincolo *hard* (o rigido) è una disuguaglianza che descrive una soglia che non può essere superata in quanto rappresenta una regione di soluzioni non fattibili. Tutte le soluzioni al di sotto della soglia hanno la stessa preferenza. Un obiettivo con un vincolo *soft* (o morbido) ha una soglia che è un punto ideale, ma può essere superata perché le soluzioni al di sopra di questo punto sono fattibili anche se non sono attraenti. In questo caso, è necessario aggiungere entrambe le variabili di deviazione. Perché le soluzioni non attraenti dovrebbero essere accettate? Poiché spesso ci sono diversi obiettivi, non tutti possono essere raggiunti contemporaneamente; pertanto, alcune soluzioni valide possono essere poco attraenti per alcuni obiettivi. Un obiettivo con un vincolo rigido ha una soglia che è un punto ideale e non può essere superata. Le soluzioni più vicine al punto ideale sono preferite. In questo caso, solo la variabile di deviazione da minimizzare deve essere introdotta nell’equazione. Nel modello i vincoli sono rappresentati con segno di uguaglianza (=) oppure con i segni  $\leq$  e  $\geq$ .

**Deviazione positiva:**  $f(x) \leq a$

$$f(x) - d^+ = a$$

**Deviazione negativa:**  $f(x) \geq a$

$$f(x) + d^- = a$$

**Entrambe le deviazioni:**  $f(x) = a$

$$f(x) - d^+ + d^- = a$$

Un modello di programmazione per obiettivi cerca di prendere in considerazione simultaneamente diversi obiettivi o scopi che interessano al decisore. Mentre un modello di programmazione lineare è costituito da vincoli e da una singola funzione obiettivo da massimizzare o minimizzare, un modello di programmazione per obiettivi è costituito da vincoli e da un insieme di obiettivi che sono in qualche modo prioritari.

Sia nei problemi di programmazione lineare che in quelli di programmazione per obiettivi, se i vincoli sono incoerenti, non esistono soluzioni fattibili per il modello. Nella programmazione per obiettivi, invece, ci si può aspettare che, sebbene esista un insieme di soluzioni fattibili che soddisfano i vincoli, nessuna di esse possa soddisfare contemporaneamente tutti gli obiettivi in conflitto dell'organizzazione. L'obiettivo della programmazione degli obiettivi è quello di trovare una soluzione che soddisfi i veri vincoli e che si avvicini di più al raggiungimento degli obiettivi dichiarati (A. Ishizaka, P. Nemery, 2013).

Gli approcci di programmazione degli obiettivi analizzano quanto una soluzione proposta si discosti da ciascun obiettivo dichiarato. Di conseguenza, per ogni obiettivo viene definita una coppia di variabili di deviazione (una pari alla quantità di cui la soluzione supera l'obiettivo,  $d^+$ ; l'altra pari all'entità del mancato raggiungimento dell'obiettivo  $d^-$ ).

Esistono due modelli principali di *Goal Programming*:

- **“Non-preemptive Goal Programming” (programmazione non preventiva)**. In questo tipo di modello si cerca di minimizzare la somma

ponderata di tutte le deviazioni indesiderate. In altre parole, si dice che nessun obiettivo domina un altro obiettivo. Tuttavia, è possibile che i decisori attribuiscono un'importanza diversa alle deviazioni. Utilizzando questi pesi, si può convertire il modello di programmazione degli obiettivi in un modello di programmazione lineare con l'obiettivo di minimizzare gli scostamenti totali ponderati dagli obiettivi.

**Esempio 1.** Consideriamo il seguente problema di programmazione lineare:

$$\text{Max}(\text{profitto})z_1 = 2x_1 + 3x_2$$

$$\text{Min}(\text{costo})z_2 = x_1 + 5x_2$$

Subject to

$$x_1 + x_2 \leq 10$$

$$x_1 - x_2 \leq 4$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Il problema di cui sopra può essere convertito in un problema di *Goal Programming*, assumendo che il decisore desideri avere almeno 40.000€ di profitti e che il costo non superi il limite di 20.000€.

$$\text{Min } d_1^- + d_2^+$$

Subject to

$$2x_1 + 3x_2 + d_1^- = 40.000$$

$$x_1 + 5x_2 - d_2^+ = 20.000$$

$$x_1 + x_2 \leq 10$$

$$x_1 - x_2 \leq 4$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$d_1^-, d_2^+ \geq 0$$

- **“Preemptive Goal programming” (programmazione preventiva).** In questo tipo di problema i decisori specificano le priorità per gli obiettivi considerati, dopo aver saputo che lo scenario multi-obiettivo limita la possibilità di avere una soluzione che soddisfi tutti gli obiettivi contemporaneamente. Gli obiettivi possono avere priorità diverse a seconda del decisore.

**Esempio 2.** Supponiamo che nel problema di cui sopra, dopo aver saputo che lo scenario multi-obiettivo limita la possibilità di avere una soluzione che soddisfi entrambi gli obiettivi contemporaneamente, i decisori specifichino le priorità per entrambi gli obiettivi. Supponiamo che nel problema *GP* il primo obiettivo abbia la priorità più alta, cioè  $P_1$ , e il secondo obiettivo abbia la priorità più bassa,  $P_2$ , quindi  $P_1 > P_2$ . In questa situazione, il problema *Goal Programming* si scriverà:

$$\text{Min } P_1 d_1^-, P_2 d_2^+$$

Subject to

$$2x_1 + 3x_2 + d_1^- = 40.000$$

$$x_1 + 5x_2 - d_2^+ = 20.000$$

$$x_1 + x_2 \leq 10$$

$$x_1 - x_2 \leq 4$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \quad d_1^-, d_2^+ \geq 0 \quad P_1 > P_2$$

A conclusione di quanto detto, si illustra un esempio completo del modello di *Goal Programming*.

**Esempio 3.** Un'azienda produce due tipi di prodotti: A e B. Per fabbricare il prodotto A occorrono 5 parti di tipo X e 3 parti di tipo Y; per B occorrono 4 parti di tipo X e 2 parti di tipo Y. Il profitto è di 20 sterline per A e di 30 sterline per B. L'azienda mira a raggiungere un profitto settimanale di 2.000 sterline. Il tempo di

produzione per unità di A è di 7 ore/uomo e per unità di B è di 3 ore/uomo. L'azienda impiega sette persone nel reparto di produzione e vorrebbe rispettare le 250 ore di lavoro settimanali disponibili. È stato firmato un contratto con un fornitore per consegnare fino a 80 pezzi del tipo X e 60 pezzi del tipo Y. È possibile ordinare più pezzi, ma sarebbero molto più costosi. La capacità produttiva della macchina per entrambi i prodotti combinati è limitata a un massimo di 80 prodotti a settimana. L'azienda ha l'obiettivo strategico di produrre almeno 50 unità di ciascun prodotto alla settimana (A. Ishizaka, P. Nemery, 2013).

**Risoluzione.** Siano  $x_1$  e  $x_2$  le variabili decisionali, dove:

- $x_1$ : numero di unità di prodotto A fabbricate alla settimana.
- $x_2$ : numero di unità di prodotto B fabbricate alla settimana.

In questo problema ci sono sette vincoli:

1. L'obiettivo di profitto dell'azienda, pari a 2.000 sterline, costituisce il primo vincolo:

$$30x_1 + 20x_2 \geq 2000$$

Si tratta di un vincolo *soft* o *hard*? L'azienda sopravviverà anche se il beneficio è inferiore; quindi, è un obiettivo desiderabile. La disuguaglianza può essere trasformata in un'uguaglianza con due variabili di aggiustamento:  $n_1$  per una deviazione negativa dell'obiettivo e  $p_1$  per una deviazione positiva:

$$30x_1 + 20x_2 + n_1 - p_1 = 2000.$$

In questo caso, è preferibile avere un beneficio maggiore rispetto a uno minore. La variabile di deviazione  $n_1$  deve quindi essere minimizzata.

2. Il secondo vincolo è costituito dalle ore di lavoro totali in una settimana:

$$7x_1 + 3x_2 \leq 250$$

Anche in questo caso, si tratta di un vincolo *soft* o *hard*? Poiché i dipendenti possono fare straordinari o l'azienda può assumere personale a tempo

determinato, questa disuguaglianza può essere considerata un obiettivo e trasformata in:

$$7x_1 + 3x_2 + n_2 - p_2 = 2000$$

In questo caso, la variabile ore extra ( $p_2$ ) è la variabile di deviazione da minimizzare.

3. I due vincoli successivi sono imposti dalla capacità dei fornitori:

- per i componenti di tipo X sarà:  $5x_1 + 4x_2 \leq 80$

- Per i componenti di tipo Y sarà:  $3x_1 + 2x_2 \leq 60$

Poiché i fornitori sono in grado di consegnare parti aggiuntive, questi sono vincoli *soft* e possono essere trasformati in:

$$5x_1 + 4x_2 + n_3 - p_3 = 80$$

$$3x_1 + 2x_2 + n_4 - p_4 = 60$$

I pezzi aggiuntivi sono più costosi e di conseguenza gli scostamenti positivi  $p_3$  e  $p_4$  devono essere ridotti al minimo.

4. I due vincoli seguenti sono imposti dall'obiettivo strategico dell'azienda, ovvero quello di produrre un minimo di 50 unità dei prodotti A e B. I vincoli possono essere scritti come:

$$x_1 \geq 50$$

$$x_2 \geq 50$$

È possibile produrre di meno, quindi i vincoli di cui sopra si trasformano in obiettivi:

$$x_1 + n_5 - p_5 = 50$$

$$x_2 + n_6 - p_6 = 50$$

5. L'ultimo vincolo riguarda la capacità della macchina:

$$x_1 + x_2 \leq 80$$

Si tratta di un vincolo *hard*, perché la macchina non può produrre più della sua capacità. Pertanto, non può essere trasformato in un obiettivo.

Riordinando tutti gli obiettivi e i vincoli, si ottiene il seguente modello di *Goal Programming*:

$$\min z = n_1 + p_2 + p_3 + p_4 + n_5 + n_6$$

subject to

$$30x_1 + 20x_2 + n_1 - p_1 = 2000.$$

$$7x_1 + 3x_2 + n_2 - p_2 = 2000$$

$$5x_1 + 4x_2 + n_3 - p_3 = 80$$

$$3x_1 + 2x_2 + n_4 - p_4 = 60$$

$$x_1 + n_5 - p_5 = 50$$

$$x_2 + n_6 - p_6 = 50$$

$$x_1 + x_2 \leq 80$$

$$x_1, x_2 \leq 0$$

$$n_i, p_i \geq 0, i = 1, \dots, 6$$

Si noti che il modello appena mostrato non contiene pesi. Nella modellazione del programma, vengono aggiunti dei vincoli supplementari per garantire che tutte le variabili decisionali e di deviazione siano positive. Dove possibile, è importante trasformare i vincoli *hard* in obiettivi, in quanto questo permette di esaminare uno spazio di soluzioni più ampio, che può contenere soluzioni potenzialmente buone o ottimali. È inoltre importante incorporare entrambe le variabili di deviazione  $n$  e  $p$ , quando è possibile, per lo stesso motivo (A. Ishizaka, P. Nemery, 2013).

Questa breve introduzione al *Goal Programming* ci sarà utile per comprendere, nei paragrafi successivi di questo capitolo, come il modello di risoluzione di problemi

che hanno la caratteristica di avere più di un obiettivo si adatta al meglio allo studio degli *Eco-Industrial Parks*.

## **2. Applicazione del Goal Programming a un EIP.**

Come si è visto nei capitoli precedenti, negli ultimi dieci anni la maggior parte dei Paesi industrializzati ha investito molto nella ricerca ambientale, grazie alla generale consapevolezza dell'esaurimento delle risorse naturali. Soprattutto per quanto riguarda l'acqua dolce si avverte la necessità di ridurre il consumo, ridefinendo e progettando reti industriali a basso impatto ambientale. Grazie a Frosch e Gallapoulos (1989) la comunità scientifica ha cominciato a guardare positivamente verso il concetto di aggregazione delle industrie, con l'obiettivo comune di uno sviluppo sostenibile. Secondo Lowe (1997) gli *Eco-Industrial Parks* sono “una comunità di aziende manifatturiere e di servizi che cercano di migliorare le prestazioni ambientali ed economiche attraverso la collaborazione nella gestione delle problematiche ambientali e delle risorse, tra cui energia, acqua e materiali”. Lavorando insieme, le imprese facenti parte dell'Ecoparco possono raggiungere traguardi significativi, maggiori della somma dei singoli benefici che raggiungerebbero se la singola impresa ottimizzasse solamente il proprio profitto. È quindi importante sviluppare metodologie in grado di progettare un EIP in cui ogni industria abbia un guadagno rispetto al caso in cui sia individuale. Inoltre, ogni azienda inclusa in un parco ha un proprio obiettivo (ad esempio, minimizzare i costi) e tutti questi obiettivi sono sempre antagonisti. In questo lavoro, viene adottato un approccio di ottimizzazione multi-obiettivo per tenere conto di ogni funzione obiettivo associata a ciascuna azienda facente parte dell'EIP.

L'ottimizzazione dei parchi eco-industriali include diversi colli di bottiglia: una delle caratteristiche principali di questo problema è che la struttura (rappresentata dall'esistenza o meno di connessioni tra i processi e modellata numericamente da variabili binarie) domina la soluzione. Il modello risultante è di grandi dimensioni

e di tipo MILP (“*Mixed Integer Linear Programming*”), il che costituisce una grande sfida ed è relativamente nuovo risolvere questo problema con l'aiuto di approcci basati sulle preferenze. In effetti, gli studi precedenti hanno ampiamente esplorato gli approcci basati sulla generazione, ma sono stati riscontrati alcuni problemi numerici, soprattutto quando i problemi coinvolgono molte variabili binarie.

In questo paragrafo viene adottato un approccio di *Goal Programming* (GP) per ottenere una soluzione che includa già le preferenze del decisore. Per capire al meglio come questo modello viene utilizzato nel concreto, si propone innanzitutto un'analisi della metodologia che verrà utilizzata, per poi analizzare un caso studio condotto da M. Ramos et al. (2015), in cui viene dimostrato che la GP può essere un metodo molto affidabile per progettare reti idriche industriali, seguendo funzioni obiettivo multiple e antagoniste.

### 3. **Metodologia.**

#### 3.1. **Funzione obiettivo.**

L'analisi di studi precedenti ha dimostrato l'esistenza di diversi tipi di funzioni obiettivo. La più comune è quella relativa al costo economico; si possono citare, ad esempio, il profitto di ogni industria, il profitto per la comunità locale, il trasporto e la logistica o il valore attuale netto. Tuttavia, sebbene il costo economico rimanga molto importante per la fattibilità del progetto, nel contesto dell'ecologia industriale possono essere importanti anche molti altri obiettivi. Le funzioni obiettivo in questo tipo di problemi sono infatti antagoniste, come ad esempio il costo economico rispetto all'obiettivo ambientale. Gli obiettivi ambientali possono essere formulati in modi diversi: minimizzare il consumo di risorse naturali (acqua), minimizzare le emissioni di gas serra, minimizzare l'impronta idrica o minimizzare gli impatti sulla salute e sulla sicurezza (M. Ramos et al, 2015).

Un altro aspetto importante relativo allo sviluppo della sostenibilità è il criterio sociale e/o societario. Anche se nella maggior parte dei casi sono più qualitativi che quantitativi, gli obiettivi sociali sono piuttosto importanti e includono la qualità della vita dei lavoratori, un indice di soddisfazione per i diversi partecipanti o il numero di posti di lavoro creati, ad esempio.

### 3.2. Creazione di un modello di ottimizzazione per l'Ecoparco.

La modellazione dei parchi eco-industriali è un problema piuttosto complesso a causa delle sue dimensioni (migliaia di variabili, vincoli e centinaia di variabili binarie) e del numero di obiettivi da prendere in considerazione. Per modellare la rete di un EIP, si utilizza il concetto di **sovrastruttura**, che rappresenta tutte le possibili alternative per collegare ogni processo della rete; questo approccio sistemico permette di rappresentare la progettazione dei processi (M. Ramos et al., 2015).

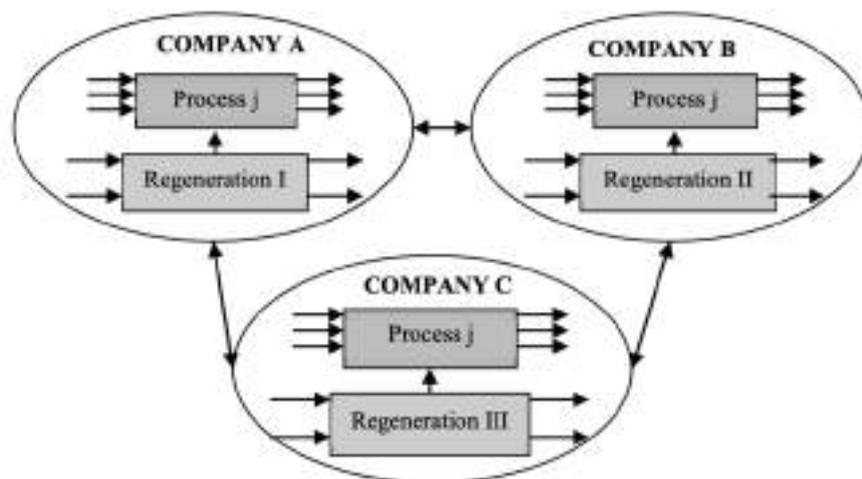


Figura 2. Sovrastruttura di un PEI che comprende tre industrie, composte ognuna da unità di processo e di rigenerazione (M. Boix et al, 2012).

Nella sovrastruttura di un PEI possono esistere tutti i possibili collegamenti tra processi e unità di rigenerazione, ad eccezione del riciclo verso la stessa unità di rigenerazione o processo.

### 3.3. **Approcci all'ottimizzazione multi-obiettivo.**

Le metodologie di risoluzione per l'ottimizzazione multi-obiettivo sono generalmente classificate in base al numero di soluzioni generate e all'importanza del decisore durante la risoluzione. Questi approcci possono essere classificati in due categorie (M. Ramos et al, 2015):

- **Approcci generativi:** questi metodi sono caratterizzati dalla generazione di diverse soluzioni e il decisore deve scegliere una soluzione tra queste. Questi metodi “a posteriori” includono approcci scalari come il metodo della ponderazione o la strategia dei vincoli epsilon accoppiati alla programmazione matematica e a metodi stocastici come l'algoritmo genetico. Con questi metodi, viene costruito un fronte di Pareto per proporre al decisore un insieme di soluzioni non dominate.
- **Metodi basati sulle preferenze:** in questo caso, le preferenze del decisore sono incluse insieme alla risoluzione e all'ottimizzazione. Questi approcci “a priori”, come ad esempio la *Goal Programming*, che include direttamente le preferenze dei decisori durante la risoluzione, in modo da ottenere una soluzione finale.

Una volta definito il *Goal Programming* e la metodologia utilizzata si può passare all'illustrazione del caso studio.

### 3.4. **Ottimizzazione della rete idrica in un EIP.**

Tra gli scambi che avvengono tipicamente in un EIP, la rete per l'utilizzo dell'acqua è il tipo di cooperazione più comune in letteratura, in cui le regole e i metodi applicati all'ottimizzazione per l'integrazione di un singolo impianto vengono utilizzati per affrontare l'integrazione tra impianti, purché l'approccio supporti

problemi su larga scala. Il caso è spesso risolto come un problema di allocazione dell'acqua, in cui deve essere distribuita, trattata e scaricata in modo ottimale tra le unità di processo di ciascuna azienda inclusa nel parco (M. Ramos et al., 2015).

L'integrazione del sistema idrico e le tecnologie di ottimizzazione che includono anche la *Water Pinch Analysis* (WPA), metodo molto efficace per la procedura di minimizzazione dell'acqua, e gli approcci di ottimizzazione della programmazione matematica, possono raggiungere un uso efficiente delle risorse idriche e una sintesi ottimale della rete idrica.

Nel caso studio proposto da M. Ramos et al. (2015) con il report “*Water Exchanges in Eco-Industrial Parks through Multiobjective Optimization and Game Theory*”, il metodo della programmazione per obiettivi (*Goal Programming*) viene applicato per la prima volta per progettare scambi ottimali di acqua in un caso accademico di Ecoparco, esaminando tre compagnie (A, B, C). Questo esempio accademico è ottimo per testare e validare una nuova metodologia, poiché le soluzioni sono ben note.

Vengono qui esplorati tre diversi scenari di configurazione di un EIP, come mostrato nella *Figura 1*, in cui la posizione dell'unità di rigenerazione è diversa, in modo che tutte le configurazioni siano esaminate:

- **Scenario 1:** le tre aziende si scambiano l'acqua e ogni azienda possiede la propria unità di rigenerazione, scelta tra tre tipi disponibili (a seconda della concentrazione in uscita);
- **Scenario 2:** le tre aziende si scambiano l'acqua e condividono un'unità di rigenerazione;
- **Scenario 3:** uno scenario misto in cui ogni azienda possiede la propria unità di rigenerazione e un'ulteriore unità è condivisa dalle tre aziende.

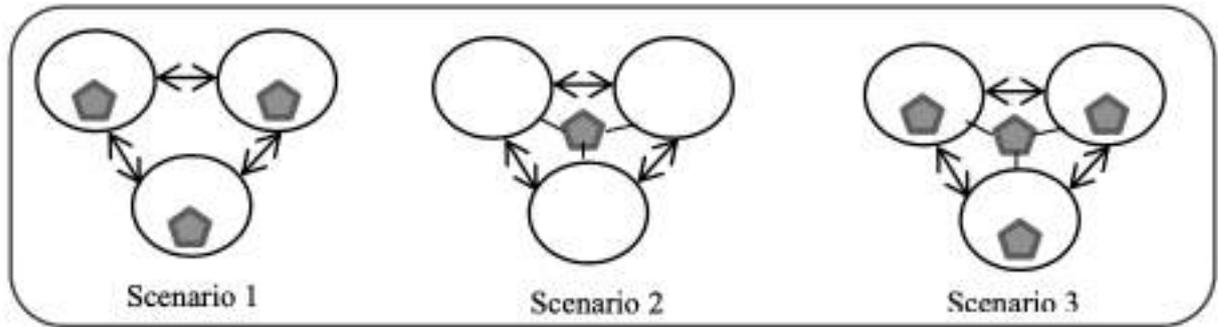


Figura 1. *Diverse configurazioni di Ecoparco* (M. Ramos et al., 2015).

È importante notare che per ogni scenario sopra menzionato, vengono minimizzate tre funzioni obiettivo, ovvero il costo totale di ogni azienda coinvolta nell'EIP. Questo costo tiene conto di: consumo di acqua dolce, portata dell'acqua rigenerata, costo dei collegamenti esterni e interni tra i processi e costo del capitale delle unità di rigenerazione. I risultati ottenuti con l'approccio della *Goal Programming* sono riassunti nella Tabella 1. Le ottimizzazioni mono-obiettivo sono state effettuate in una prima fase per ottenere i valori minimi (utopia) e massimi di ogni funzione obiettivo, ovvero il costo minimo di ogni azienda quando è inclusa nell'EIP. La metodologia della programmazione per obiettivi consente poi di avere una soluzione per ogni scenario. È importante notare che la soluzione ottimale trovata dalla GP porta a una soluzione intermedia in cui tutte le aziende si avvicinano al loro obiettivo personale.

	Scenario 1			Scenario 2			Scenario 3		
	Min	Max	Solution GP	Min	Max	Solution GP	Min	Max	Solution GP
Cost for company A	1.51	6.96	<b><u>1.85</u></b>	1.14	13.78	<b>1.98</b>	1.14	16.09	<b>2.85</b>
Cost for company B	1.14	7.05	<b>1.51</b>	1.14	6.82	<b><u>1.32</u></b>	1.14	4.35	<b><u>1.34</u></b>
Cost for company C	2.81	14.13	<b>3.52</b>	1.15	15.36	<b>2.98</b>	1.15	12.42	<b>1.96</b>

Tabella 1. *I risultati dell'ottimizzazione multi-obiettivo dell'EIP attraverso la programmazione per obiettivi* (costi espressi in M\$), (M. Ramos et al., 2015).

L'interesse principale di questo studio è far notare che, per ogni scenario, una società è favorita rispetto alle altre. Nello scenario 1, l'azienda A è la più vicina al suo obiettivo, mentre negli scenari 2 e 3 è l'azienda C. La programmazione degli obiettivi si è dimostrata un approccio efficiente per progettare gli scambi idrici nell'EIP attraverso l'ottimizzazione multi-obiettivo. Inoltre, propone una soluzione unica che soddisfa un obiettivo in tempi computazionali molto bassi. Sebbene le soluzioni ottimali siano intermedie e soddisfacenti in termini di costi individuali, è di grande interesse ottenere soluzioni più equilibrate in modo che ogni azienda sia soddisfatta allo stesso tempo. Gli scambi idrici in un EIP sono stati ottimizzati minimizzando tre funzioni obiettivo con un approccio di programmazione degli obiettivi. La GP è un metodo affidabile per l'ottimizzazione multi-obiettivo e ha dimostrato di essere efficiente per trovare soluzioni ottimali a problemi complessi.

#### **4. Un caso italiano di Simbiosi Industriale.**

Come si è analizzato ampiamente nel corso dei precedenti capitoli e con il caso studio appena discusso, la Simbiosi Industriale è la soluzione migliore per ottenere benefici non solo per la singola impresa, ma a livello di network di imprese. Anche in Italia, progressivamente, si sta affermando l'importanza della Simbiosi Industriale. Al riguardo, già nel documento di inquadramento e di posizionamento strategico *“Verso un modello di economia circolare per l'Italia”*, redatto congiuntamente nel 2017 dai Ministeri dell'Ambiente e dello Sviluppo economico, si sottolineava il rilievo che la Simbiosi Industriale assume come strumento di eco-innovazione di sistema grazie alla creazione di reti di condivisione di risorse e di informazione. Viene, inoltre, sottolineata la necessità di predisporre un portafoglio organico e sistematico di strumenti economici che supporti le imprese nei percorsi di Simbiosi Industriale. In tale direzione, il *“Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza”* (PNRR) dell'Italia, approvato nell'aprile del 2021, prevede di riformare l'esistente strategia di economia circolare includendo anche misure

concrete finalizzate a fornire supporto al progetto di Simbiosi Industriale attraverso appositi strumenti normativi e finanziari.

È bene sottolineare che gli ecosistemi industriali implementati attraverso il trasferimento da un'industria a un'altra di scarti in esubero o sottoutilizzati generano benefici economici e ambientali derivanti dal mancato smaltimento dei rifiuti, dal minor consumo di risorse primarie e di emissioni di CO<sub>2</sub>. Complessivamente, la Simbiosi Industriale consente di ottenere soluzioni di tipo *win-win* in cui tutti gli attori coinvolti possono trarre vantaggio dalle reciproche interazioni. Economicamente, le aziende sono più competitive traendo vantaggio dall'accesso a risorse più economiche, evitando i costi di smaltimento e/o ottenendo ulteriori ricavi dalla vendita dei sottoprodotti. I vantaggi ambientali per la collettività derivano dalla riduzione del consumo di risorse e dalla mitigazione dell'inquinamento ambientale. Infine, questo innovativo modello di business può creare nuove e virtuose relazioni tra le aziende e le comunità locali.

Un progetto degno di nota, che rappresenta bene un caso pratico di sostenibilità e simbiosi industriale, è il progetto “*Smart Grid Pilot: Banco EnerGETICO*”, messo a punto da Regione Lombardia, Alfa Acciai, A2A (tramite la controllata A2A Calore e Servizi), con anche la collaborazione dell'Università degli Studi di Brescia e DHPlanet srl. Si tratta di un progetto di ricerca e sviluppo co-finanziato con fondi del “*Fondo Europeo di Sviluppo Regionale*” (FESR). In linea con la “*Smart Specialization Strategy*” (S3) di Regione Lombardia, il progetto ha lo scopo di contribuire alla crescita tecnologica dell'ambito Ambiente ed Energia, attraverso azioni mirate allo sviluppo di sistemi innovativi per lo Smart Grid.

#### 4.1. Il progetto “**Smart Grid Pilot: Banco energETICO**”.

Come si è detto, l'esempio di Simbiosi Industriale sul nostro territorio è lo “*Smart Grid Pilot: Banco EnerGETICO*”.

Innanzitutto, con *Smart Grid* si intende un sistema di “*distribuzione intelligente*” per l'energia elettrica, in grado di conoscere i consumi dei vari utenti e di gestirne l'approvvigionamento. Questo vuol dire che se in una determinata zona si dovesse

presentare un potenziale sovraccarico energetico, tale energia verrà ridistribuita in altre zone in base alle richieste delle varie aree, evitando così eventuali interruzioni di fornitura<sup>1</sup>. Inoltre, una *Smart Grid* è in grado di monitorare e gestire in modo autonomo ed efficiente l'erogazione dell'energia: attivandola, per esempio, nelle ore del giorno in cui il prezzo dell'energia risulta più conveniente e sospendendola in quelle ore in cui risulta più cara. Da qui il nome "Smart Grid Pilot: Banco energEtico", progetto che ha comportato un investimento complessivo di 5,7 milioni di euro di cui 2,8 finanziati da Regione Lombardia e il restante pariteticamente tra la stessa Alfa Acciai e A2A. Inoltre, il progetto è frutto della sinergia operativa e tecnologica tra A2A Calore e Servizi, capofila del progetto, Alfa Acciai, l'Università degli studi di Brescia e *DHPlanet*, che insieme si sono dati l'obiettivo comune di realizzare un sistema innovativo ed efficiente per il recupero di energia dai cascami termici industriali, derivanti dal sito produttivo di Alfa Acciai, al fine di contribuire all'alimentazione della rete di teleriscaldamento già al servizio della città di Brescia. Le due aziende, già circolari nelle loro attività (Alfa Acciai rigenera rottame ferroso trasformandolo in acciaio per nuovi utilizzi; A2A attraversa tutto il ciclo dei rifiuti, trasformandoli in risorse), lavorando in simbiosi riescono ad estrarre ulteriore circolarità e quindi risparmio di risorse ambientali, incrociando i loro ambiti di funzionamento (M. Torricelli, 2021<sup>2</sup>).

L'impianto realizzato in Alfa Acciai permetterà un recupero energetico fino a 11 MWth, per un quantitativo di circa 30.000 MWh/anno, pari al fabbisogno di 3.000 appartamenti equivalenti. Attualmente, il teleriscaldamento di Brescia serve 177.700 appartamenti con una rete di 678km e riesce a evitare 52.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> globali, 107,1 tonnellate di ossido di azoto (NOx) e 2,6 tonnellate di polveri sottili (PM10). Inoltre, vengono prodotti 353 GWh di energia termica e 109,5 GWh di energia elettrica. Grazie al nuovo impianto potremmo avere ulteriori benefici ambientali: infatti, ogni anno, si risparmieranno 2.340 tonnellate equivalenti di petrolio, saranno evitate emissioni in atmosfera pari a 5.609 ton/anno di CO<sub>2</sub>, 933

---

<sup>1</sup> [http://test.utilita.com/download/pdf\\_news/smart\\_grid.pdf](http://test.utilita.com/download/pdf_news/smart_grid.pdf).

<sup>2</sup> <https://www.siderweb.com/articoli/news/710075-alfa-acciai-per-il-teleriscaldamento-a-brescia>.

kg/anno di CO e 4.405 kg/anno di NOx, oltre ad una drastica riduzione di polveri sottili PM10 e PM2,5. La riduzione interesserà anche l'immissione di calore in atmosfera e i consumi d'acqua di reintegro di circa 2.300 m<sup>3</sup>/anno.

Entrando più nello specifico, il calore messo a disposizione proviene dal circuito delle acque di raffreddamento dei processi industriali di Alfa Acciai, che è stato riprogettato per riuscire a diventare una risorsa di calore per la rete di teleriscaldamento. È stata costruita un'apposita stazione di scambio ad alta efficienza energetica che quindi interconnette il processo di Alfa Acciai e la rete di teleriscaldamento A2A. Lo scambio termico verrà ottimizzato durante la prossima stagione termica con l'obiettivo di raddoppiarne la capacità ed *«incidere in maniera significativa sul profilo ambientale cittadino, perché circa 20.000 persone avrebbero un riscaldamento, e magari anche un raffrescamento, a zero impatto ambientale»* (R. Mazzoncini, 2021). Tanto che Giuseppe Cavalli, direttore generale di Alfa Acciai, ha spiegato che *«l'operazione assicura il pieno bilanciamento tra la disponibilità di calore generata dai forni dell'acciaiera, che fondono l'acciaio a 1.600 gradi e la rete di teleriscaldamento e tutti i suoi sistemi periferici, che tengono in temperature che oscillano tra i 30/40 gradi di chi ha il riscaldamento a pavimento e i 50/60 di chi ha i caloriferi tradizionali»*.

Inoltre, il progetto ha visto anche l'utilizzo di un nuovo metodo di posa delle tubazioni di collegamento attraverso l'applicazione di una metodologia innovativa di *DHPlanet*: le reti sono state preriscaldate con aria calda che, applicata su suoli urbani, ha permesso di ridurre significativamente la durata e l'impatto dei lavori di posa<sup>3</sup>.

Oltre che un vantaggio dal punto di vista ambientale il progetto ha anche una forte valenza sociale, perché permetterà di attuare una politica di aiuto e sostegno alle fasce più deboli e alle utenze in difficoltà tramite donazioni al *“Banco dell'Energia Onlus”*, sulla base dei quantitativi di calore immessi in rete che permetterà di offrire prezzi calmierati alle fasce più deboli e alle utenze in difficoltà sul territorio

bresciano e lombardo<sup>3</sup>. Il sistema è già stato pensato per un raddoppio dell'apporto energetico che l'acciaieria darà alla rete di teleriscaldamento e potranno diventare circa 20.000 le persone che potranno avere un riscaldamento, e magari anche un raffrescamento, a zero impatto ambientale. Ulteriori prospettive ci potranno poi essere nel medio termine, andando ad estrarre ulteriore calore nei processi di Alfa Acciai e di altre aziende del territorio che usano processi termici e chissà che questa sperimentazione esca in futuro dai confini di Brescia per toccare altre aree geografiche.

Il progetto segue il solco già tracciato dall'esperienza di ORI Martin, che nell'autunno 2016 aveva lanciato “*iRecovery*”, un sistema per recuperare il calore dei fumi del forno elettrico e produrre energia termica in grado di alimentare, appunto, il sistema del teleriscaldamento cittadino. Entrambi i progetti sono parte di una più ampia strategia di A2A Calore e Servizi per agganciare ben 5 acciaierie al teleriscaldamento, riducendo la dipendenza del sistema dal termovalorizzatore che oggi copre il 65% del fabbisogno e sfruttando, anche sotto il profilo della sostenibilità ambientale, i grandi soggetti industriali cittadini.

#### 4.2. Il progetto *i-Recovery*.

L'acciaieria Ori Martin è stata il primo partner industriale col quale A2A, nel 2016, ha stretto un accordo per realizzare uno sfidante progetto pilota bresciano per il recupero di calore nel settore dell'acciaio, integrandolo con il teleriscaldamento cittadino: il sistema *i-Recovery* rappresenta tutt'ora un tassello fondamentale per la decarbonizzazione della città ed un esempio importante di utilizzo circolare delle fonti energetiche disponibili sul territorio.

Oggi la collaborazione fra A2A e Ori Martin, a distanza di anni, si rafforza ulteriormente per valorizzare tecnologie all'avanguardia e innovative che recuperino il calore di scarto industriale in maniera ancora più efficiente accoppiandole alla rete di teleriscaldamento.

---

<sup>3</sup> <https://a2a-be.s3.eu-west-1.amazonaws.com/a2a/2021-05/120521-smart-grid-pilot.pdf>.

Stiamo parlando dell'unione di aziende leader ciascuna nel proprio settore che, nello specifico, decidono di lavorare ad un progetto dimostrativo per portare su scala industriale la tecnologia innovativa di una pompa di calore LHP (*Large Heat Pump*) di ultima generazione, in grado di recuperare calore a bassa temperatura dal circuito di raffreddamento del forno elettrico in maniera efficiente. La pompa di calore LHP sviluppata da Turboden (società del gruppo *Mitsubishi Heavy Industries* che fornisce soluzioni tecnologiche affidabili e collaudate per la valorizzazione delle fonti rinnovabili e per l'efficienza energetica, con sede a Brescia), si integra nel circuito di recupero già esistente potenziandolo e permettendo di recuperare ulteriore calore da immettere nella rete di teleriscaldamento cittadino.

Questo progetto promosso da Turboden prende il nome di “*Heat-Leap*”, con la partnership ed il supporto del settore *Project Funding* di CSMT Gestione, ed è stato approvato e in parte finanziato dal programma *LIFE*, uno strumento di finanziamento dell'UE per l'ambiente e l'azione per il clima, grazie al suo taglio fortemente innovativo. Si tratta di un progetto sperimentale, il primo nel suo genere in Italia, che sottolinea l'attenzione di Ori Martin nei confronti delle tematiche di risparmio energetico ed economia circolare. Questo nuovo impianto verrà attivato entro ottobre 2022 e garantirà il recupero di 22 GWh in totale (pari al fabbisogno di 3.500 famiglie) e porterà ad una ulteriore riduzione di emissioni di gas serra (in particolare di CO<sub>2</sub>) di circa cinquemila tonnellate all'anno grazie alla connessione con la rete di Teleriscaldamento. La pompa fornirà una potenza termica di 6 MWt e sarà in grado di adattare il proprio funzionamento alle specifiche condizioni di processo, massimizzando il recupero energetico dall'impianto. Inoltre, potrà regolare la temperatura di cessione del calore in funzione del fabbisogno specifico della rete di teleriscaldamento, fino ad un massimo di 120°C, un'importante innovazione rispetto alle massime temperature raggiungibili da questa tecnologia<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> <https://content.gruppoa2a.it/sites/default/files/2022-07/040322-ori-martin-a2a-turboden-csmt.pdf>

I benefici ambientali derivanti da questo progetto sono:

- Recupero del calore di scarto riduce i gas serra GHG e le emissioni nocive come SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>.
- Freno al riscaldamento globale e miglioramento della qualità dell'aria.
- Riduzione di 5.750 tonnellate di CO<sub>2</sub> recuperando 22.000 MWhth all'anno nel processo produttivo e generando 2.000 MWh all'anno.

#### **4.3. La Goal Programming applicata al progetto Smart Grid Pilot tra A2A e Alfa Acciai.**

In questo paragrafo, partendo dal caso reale di simbiosi industriale tra A2A e Alfa Acciai, si analizza la possibilità di ridisegnare l'impianto tenendo conto di obiettivi ambientali ed economici utilizzando un modello di Goal Programming.

In base ai dati raccolti, i benefici della cooperazione tra A2A e Alfa Acciai sono molteplici, ovvero:

- Possibilità di recupero energetico fino a 11 MWh, ovvero circa 30.000 MWh all'anno (corrispondenti a 3.000 appartamenti equivalenti).
- Risparmio di circa 2.340 tonnellate equivalenti di petrolio.
- Saranno evitate emissioni in atmosfera pari a:
  - o 5.609 ton/anno di CO<sub>2</sub>;
  - o 933 kg/anno di CO;
  - o 4.405 kg/anno di Nox;
  - o riduzione di polveri sottili PM10 e PM2,5.
  - o 2.300 m<sup>3</sup>/anno di acqua risparmiata.

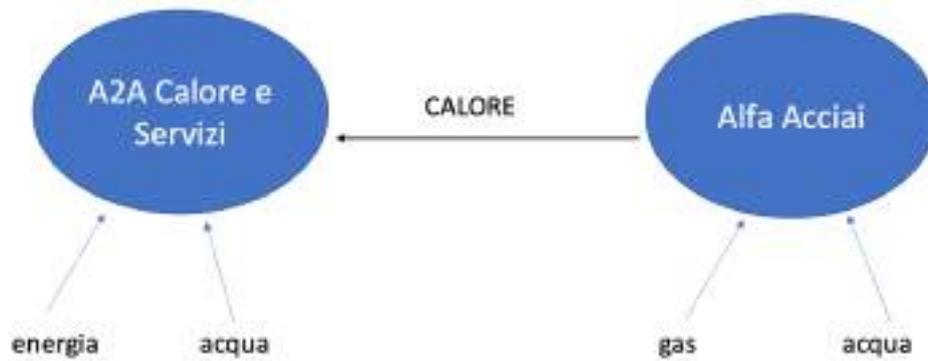


Figura 2. Simulazione dell'Ecoparco di A2A e Alfa Acciai.

Per semplificare il modello, si sono presi in considerazione tre obiettivi:

- La massimizzazione del profitto della *multiutility*.
- La minimizzazione delle emissioni totali di CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> da entrambe le compagnie
- La massimizzazione del risparmio di acqua di raffreddamento.

Innanzitutto, si forniscono i parametri necessari all'analisi:

- Nel giorno in cui si svolge l'analisi (settembre 2022), il prezzo dell'energia elettrica (nel Nord d'Italia) si attesta a 400 €/KWh.
- Il costo dei permessi (costo per CO<sub>2</sub>) è di 80 €/ton.
- Il costo per l'approvvigionamento del gas è di 50 €/MWh.
- L'impianto richiede un investimento di 5,7 milioni di euro, che verranno così divisi:
  - 2,8 milioni di euro finanziati da Regione Lombardia.
  - i restanti 2,9 milioni di euro saranno finanziati pariteticamente tra A2A e Alfa Acciai (quindi, 1,4 milioni di euro a partner).

Il costo per MWh per compagnia dell'investimento sarà così calcolato:

$$\frac{1,4 \text{ milioni di euro}}{30.000 \text{ MWh} \times 25 \text{ anni}} = 1,87 \text{ €/MWh}$$

Dove 25 anni sono gli anni di ammortamento del progetto.

Ulteriori parametri legati ai risparmi di emissioni di gas inquinanti e utilizzo di acqua sono i seguenti:

- $\alpha_{CO_2}$ : coefficiente delle emissioni di  $CO_2$  prodotte con impianto teleriscaldamento convenzionale (t/Mwh).
- $\beta_{CO_2}$ : coefficiente delle emissioni di  $CO_2$  risparmiate con impianto realizzato con Alfa Acciai (t/Mwh).
- $\alpha_{NO_x}$ : coefficiente delle emissioni di  $NO_x$  prodotte con impianto teleriscaldamento convenzionale (t/Mwh).
- $\beta_{NO_x}$ : coefficiente delle emissioni di  $NO_x$  risparmiate con impianto realizzato con Alfa Acciai (t/Mwh).
- $\beta_w$ : coefficiente di risparmio utilizzo acqua di raffreddamento ( $m^3$ /Mwh).

Una volta definiti tali parametri è opportuno introdurre le variabili da implementare nel modello di *Goal Programming*:

- $x_e$ : produzione di calore in MWh dall'impianto realizzato con Alfa Acciai.
- $x_g$ : produzione teleriscaldamento in MWh con gas.
- $x_{CO_2}$ : emissioni di  $CO_2$
- $\gamma$ : espansione di capacità dell'impianto realizzato con Alfa Acciai (ad esempio raddoppiando o triplicando la capacità di recupero energetico).

Gli obiettivi sono quindi tre:

1. massimizzazione del profitto (dato dai ricavi al netto dei costi):

$$\max 300\epsilon(x_e + x_g) - (1,87x_e + 50x_g + 80x_{CO_2})$$

2. minimizzazione delle emissioni  $CO_2, NO_x$ ,

$$\min x_{CO_2} + x_{NO_x}$$

3. massimizzazione del risparmio di acqua di raffreddamento

$$\max \beta_w x_e$$

dove

$$x_{CO_2} = \alpha_{CO_2}x_g + \beta_{CO_2}x_e$$

$$x_{NO_x} = \alpha_{NO_x}x_g + \beta_{NO_x}x_e$$

I principali vincoli sono:

1. Vincolo di capacità per impianti tradizionali A2A (in MWh)

$$x_g \leq 385.000$$

2. Vincolo di capacità per impianto A2A – Alfa Acciai

$$x_e \leq 30.000 * \gamma.$$

3. Massima espansione dell'impianto A2A – Alfa Acciai

$$\gamma \leq 3.$$

Nel modello di goal programming i 3 obiettivi individuati possono essere così trasformati (introducendo vincoli di tipo soft):

1.  $300(x_e + x_c) - (1,87x_e + 50x_c + 80x_{CO_2}) + n_1 - p_1 = 58.443.600\text{€}$

Dove  $n_1$  sta per una deviazione negativa dell'obiettivo e  $p_1$  per una deviazione positiva. In questo caso, è preferibile avere un beneficio maggiore rispetto a uno minore. La variabile di deviazione  $n_1$  deve quindi essere minimizzata.

2. L'obiettivo di riduzione delle emissioni è il secondo vincolo. Il valore delle emissioni è stato calcolato come una riduzione di almeno il 10% rispetto alle emissioni attuali:

$$x_{CO_2} + x_{NO_x} + n_2 - p_2 = 742.580$$

Poiché risulta fondamentale per l'Ecoparco ridurre il più possibile le emissioni, la variabile da minimizzare sarà  $p_2$ .

3. L'obiettivo di recupero delle acque di raffreddamento è il terzo vincolo.

$$\beta_w x_e + n_3 - p_3 = 2300$$

Poiché vogliamo che si recuperi il più possibile, si minimizzerà la variabile  $n_3$ .

Il modello completo risulta essere:

$$\begin{aligned}
 & \min n_1 + p_2 + n_3 \\
 & \text{subject to} \\
 & 300(x_e + x_c) - (1,87x_e + 50x_c + 80x_{CO_2}) + n_1 - p_1 = 58.443.600\text{€} \\
 & x_{CO_2} + x_{NO_x} + n_2 - p_2 = 742.580 \\
 & \beta_w x_e + n_3 - p_3 = 2300 \\
 & x_g \leq 385.000 \\
 & x_e \leq 30.000 * \gamma \\
 & x_{CO_2} = \alpha_{CO_2} x_g + \beta_{CO_2} x_e \\
 & x_{NO_x} = \alpha_{NO_x} x_g + \beta_{NO_x} x_e \\
 & x_g + x_e = d \\
 & \gamma \leq 4 \\
 & x_g, x_e, x_{CO_2}, x_{NO_x}, \gamma \geq 0
 \end{aligned}$$

Chiaramente, per quanto riguarda i tre obiettivi, è possibile anche adottare un criterio più stringente utilizzando un vincolo soft per la massimizzazione del profitto e due vincoli hard per la riduzione delle emissioni ed il risparmio idrico. Il modello è stato implementato con il software Excel utilizzando l'estensione Risolutore.

### Caso Base

La prima analisi effettuata è basata sulla stima della domanda attuale di teleriscaldamento e vuole, attraverso il modello di goal programming, determinare la dimensione ottimale dell'impianto per ridurre le emissioni totali da

teleriscaldamento di almeno il 10% e produrre un risparmio in termini di consumo di acqua almeno pari a 2300 m<sup>3</sup>. I risultati del modello sono presentati nella Figura 1.

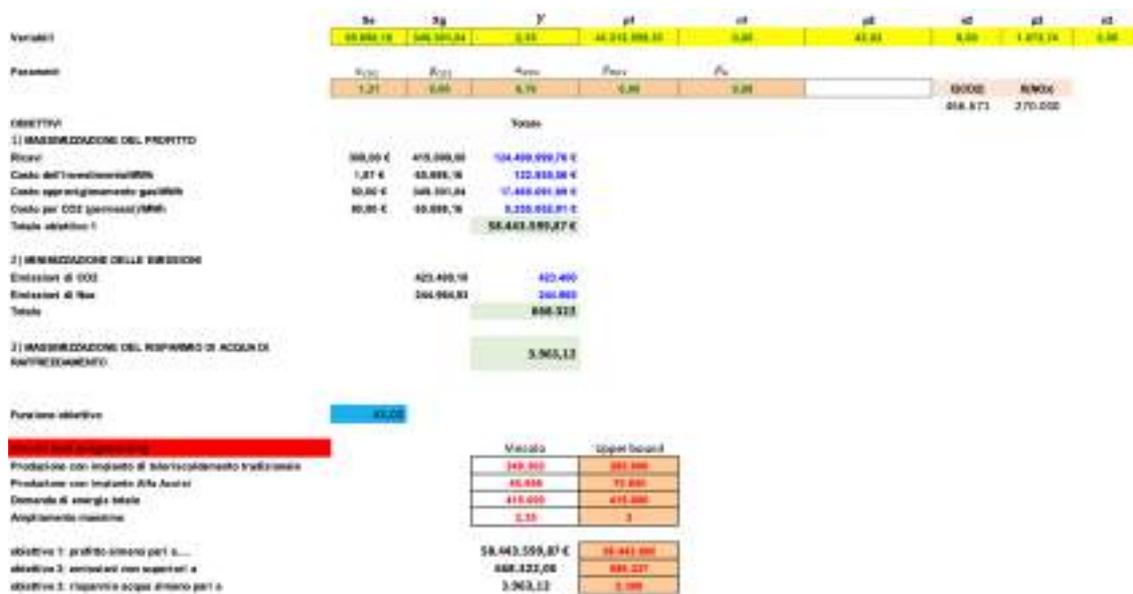


Figura 1. Risoluzione del caso base.

Quello che si evince da questa prima analisi è che, per ottenere un profitto non inferiore a € 58.443.600, ovvero il profitto nel caso non utilizzassimo l'impianto di Alfa Acciai, ma massimizzando gli obiettivi ambientali, l'espansione ottimale complessiva del progetto dovrebbe essere di 2,35 volte l'attuale impianto. Con tale espansione, avremo un aumento della produzione con l'impianto Alfa Acciai e una diminuzione nella produzione con il teleriscaldamento tradizionale. Come conseguenza della diminuzione di produzione tradizionale, avremo un decremento delle emissioni e un aumento di risparmio di acqua di raffreddamento.

Con questo tipo di soluzione otterremmo un profitto di € 101.656.200, dato dalla sommatoria tra il profitto ottenuto di € 58.443.600 e la variabile  $p_1$ . Come possiamo notare, tale profitto è superiore rispetto alla situazione senza progetto.

## Caso 2: variazione della domanda e della capacità produttiva.

Si supponga ora che la domanda di teleriscaldamento abbia un incremento del 10%, ovvero che la capacità produttiva dell'impianto tradizionale passi da 385.000 MWh/anno a 400.000 MWh/anno e l'espansione dell'impianto di Alfa Acciai possa essere fino a 4 volte la dimensione di partenza. Infine, si ipotizzi che l'obiettivo di riduzione delle emissioni sia ulteriormente rafforzato. Il secondo modello produce i risultati rappresentati nella Figura 2.

Vincoli Goal programming		Vincolo	Upper bound
Produzione con impianto di teleriscaldamento tradizionale		336.000	400.000
Produzione con impianto Alfa Acciai		120.000	120.000
Domanda di energia totale		456.000	456.000
Ampliamento massimo		4,00	4
obiettivo 1: profitto almeno pari a....		58.443.600,00 €	58.443.600
obiettivo 2: emissioni non superiori a		612.297,97	612.298
obiettivo 3: risparmio acqua almeno pari a		2.300,00	2.300

Figura 2. *Analisi di sensitività: aumento della produzione con impianto tradizionale.*

Per perseguire l'obiettivo di decarbonizzazione del sistema, sarebbe necessario quadruplicare la capacità produttiva dell'impianto A2A-Alfa Acciai.

Come possiamo notare, nell'ipotesi di ampliamento della domanda di teleriscaldamento tradizionale e di espansione dell'impianto Alfa Acciai di 4 volte la dimensione iniziale, il profitto sarebbe di € 110.175.599,9, dato anche in questo caso dalla somma tra € 58.443.600 e la variabile  $p_1$ . Quindi, nell'ipotesi considerata il profitto risulta superiore di € 8.519.399,9 rispetto al profitto che si otterrebbe nel Caso Base e nel caso senza impianto. Tale risultato è dovuto ad una riduzione delle emissioni che portano quindi a una diminuzione dei costi associati ai permessi. Inoltre, abbiamo un aumento dei ricavi dovuti all'ampliamento dell'impianto.

### Caso 3: obiettivo di profitto.

Si supponga ora di voler ottenere un profitto del 20% in più rispetto a quello ottenuto nel caso base. In tal caso il risultato sarebbe quello descritto nella Figura 3.

Vincoli Goal programming		Vincolo	Upper bound
Produzione con impianto di teleriscaldamento tradizionale		400.000	400.000
Produzione con impianto Alfa Acciai		56.000	56.000
Domanda di energia totale		456.000	456.000
Ampliamento massimo		1,87	4
obiettivo 1: profitto almeno pari a....		119.999.977,00 €	120.000.000
obiettivo 2: emissioni non superiori a		612.297,98	612.298
obiettivo 3: risparmio acqua almeno pari a		2.300,00	2.300

Figura 3. *Analisi di sensitività: obiettivo di aumento del profitto.*

In questo caso, un aumento ingente nell'obiettivo di profitto porterebbe a una riduzione nel progetto con A2A, arrivando ad un possibile ampliamento di sole 1,87 unità, in quanto i costi per ampliare l'impianto non potrebbero portare ad un aumento dei profitti. Tale situazione non è compatibile con gli obiettivi, in quanto solo raggiungendo almeno le due unità si potrà avere un miglioramento nelle emissioni. Quindi, nel caso in cui il progetto diventasse un mero obiettivo di profitto, l'impianto tradizionale risulterebbe ovviamente la scelta migliore in quanto ha già totalmente ammortizzato i costi di investimento iniziali.

Si può dire quindi che il miglioramento dei profitti può essere un obiettivo anche nel caso di impianto con Alfa Acciai, ma solo nel caso in cui questo aumento non sia significativamente elevato. Nel caso in cui il profitto diventasse il *goal* preponderante, si avrà un effetto opposto di quello prefissato dal progetto in quanto porterebbe in secondo piano gli obiettivi di riduzione delle emissioni e di risparmio di acqua.

## CONCLUSIONE.

Nell'elaborato si è trattata una soluzione efficace per uno sviluppo industriale ecologicamente sostenibile. Quella degli Ecoparchi è una realtà che permette alle industrie e imprese che ne fanno parte di trarre benefici, sia economici che ambientali, dalla collaborazione reciproca, che sono molto più rilevanti di quelli che otterrebbero se non venisse applicata la simbiosi ma lavorassero individualmente. Partendo da ciò, si è dimostrato empiricamente come la simbiosi tra A2A e Alfa Acciai sia stata vincente. Da un lato, A2A è riuscita a servire con l'impianto più di 20.000 bresciani, aggiungendoli quindi alla propria rete, e di conseguenza a ridurre notevolmente le emissioni; dall'altro, Alfa Acciai è riuscita a risparmiare sulle acque di raffreddamento, poiché i fumi vengono convogliati nella rete di teleriscaldamento di A2A.

I risultati ottenuti dal progetto tra le due imprese bresciane hanno permesso di raggiungere l'obiettivo dell'ultima parte dell'elaborato, ovvero dimostrare come un modello matematico, in questo caso quello del *Goal Programming*, possa adattarsi bene con la definizione degli obiettivi di ottimizzazione di un *Eco-Industrial Park*.

Esaminando quindi l'elaborato nel suo complesso si può evincere come gli obiettivi di profitto, preponderanti nelle imprese vecchio stampo, debbano essere sostituiti da obiettivi di riduzione delle emissioni e del consumo, possibili adottando atteggiamenti ecologici e sostenibili, i quali non potranno più essere solo un'opzione, ma una strada a senso unico.

Consapevole che questa relazione mostri solo una piccola parte di quello che può essere fatto per tutelare l'ambiente e preservare risorse, la speranza è quella che altri progetti e ricerche di questo tipo vengano svolti sul nostro territorio, in quanto possono diventare una risorsa chiave per il nostro Paese.

## **BIBLIOGRAFIA.**

Almeida, C.M.V.B., A.J.M. Rodrigues, S.H. Bonilla and B.F. Giannetti, “*Emergy as a tool for Ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil*”; “*Journal of Cleaner Production*”, Vol. 18, 2010.

Ayres R., “*Industrial Metabolism*”; “*Technology and Environment*”, pp. 23-49, 1989.

Bocken N.M.P., S.W. Short, “*Towards a sufficiency-driven business model: Experiences and opportunities*”; “*Environmental Innovation and Societal Transitions*”, 2016.

Boix M., Montastruc L., Pibouleau L., Azzaro-Pantel C., Domenech S., “*Industrial water management by multiobjective optimization: from individual to collective solution through eco- industrial parks*”; “*Journal of Cleaner Production*”, vol. 22, pp. 85-97, 2012.

Boix M., Montastruc L., Pibouleau L., Azzaro-Pantel C., Domenech S., “*Water Exchanges in Eco-industrial Parks through Multiobjective Optimization and Game Theory*”; “*Journal of Cleaner Production*”, 2015.

BresciaOggi, “*Calore dai fumi industriali: A2A ora guarda ad Alfa Acciai*”, 18 marzo 2018.

Caiazza Rosa, Caporuscio Andrea, Pietronudo Maria Cristina, Simoni Michele, “*I diversi modelli di Eco-industrial Park e le opportunità di innovazione circolare*”, 2022.

Chertow M. R., “*Industrial Ecology in Developing Context*”, 2008.

Commissione Europea, “*Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*”, Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni, 2015a.

Commissione Europea, “*Communication on the review of the list of critical raw materials for the EU and the implementation of the Raw Materials Initiative*”,

Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni, 2014.

Commissione europea, Direzione generale dell' Ambiente, *“L' economia circolare: collegare, generare e conservare il valore”*, 2014.

European Commission, *“EU Energy in Figures - Statistical Pocketbook 2016”*, 2016b.

Ewa Liwarska-Bizukojs *et al.*, *“The conceptual model of an eco-industrial park based upon ecological relationships”*; *“Journal of Cleaner Production”*, Vol. 17, pp. 732-741, 2009.

Franco Manuela, *“I parchi eco-industriali: verso una simbiosi tra architettura, produzione e ambiente”*, 2005.

Furkan Sariatli, *“Linear economy versus circular economy: a comparative and analyzer study for optimization of economy for sustainability”*, 2017.

Giornale di Brescia, *“Patto A2A-Alfa Acciai per riscaldare la città”*, 18 settembre 2018.

Heeres, R. R., Vermeulen, W. J., & De Walle, F. B. *“Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons”*; *“Journal of cleaner production”*, 2004.

Hilson, G., *“Defining “cleaner production” and “pollution prevention” in the mining context”*, *Minerals Engineering*, Vol. 16, 2003.

Hinterberger, F. and F. Schneider, *“Eco-Efficiency of Regions: Toward Reducing Total Material Input”*, SERI (Sustainable Europe Research Institute), 2001.

Ishizaka A., Nemery P., *“Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software”*, 2013.

Jha P. C., *“Goal Programming”*, 2020.

Jianga W., Zhanga Z., Denga C., Tang X., Feng X., *“Industrial park water system optimization with joint use of water utility sub-system”*; *“Resources, Conservation & Recycling”*, pp. 119-127, 2019.

Kechichian E., M. H. Jeong, M. H., *“Mainstreaming, Eco-industrial Parks”*, 2016.

- Lambert, A. J. D., & Boons, F. A., “*Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks*”, 2002.
- Lambert, A. J. D., & Boons, F. A., “*Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks*”, 2002.
- Liua L., Wanga J., Songa H., Dua J., Yang F., “*Multi-period Water Network Management for Industrial Parks Considering Predictable Variations*”, 2017.
- Perona M., Bressanelli G., Saccani N., “*Creare valore con l’Economia Circolare: Opportunità di business e spinte verso la sostenibilità*”, 2018.
- Susur, E., Hidalgo, A., Chiaroni, D., “*A strategic niche management perspective on transitions to eco-industrial park development: a systematic review of case studies*”; “*Resources, Conservation & Recycling*”, Vol. 140, pp. 338-359, 2019.
- Toni Federico, “*I fondamenti dell’economia circolare*”, 2015.
- United Nations Environment Programme, “*UNEP annual report 2009: seizing the green opportunity*”, 2009.
- United Nations Environment Programme, “*UNEP in 2002: Annual Report*”, 2002.
- V. Rizos, K. Tuokko, A. Behrens, “*The Circular Economy: A review of definitions, processes and impacts*”, 2017.
- Velenturf Anne P.M. *et al.*, “*Circular economy and the matter of integrated resources*”, 2019.
- Vezzoli C., Kohtala C., Srinivasan A., “*Product-Service System Design for Sustainability*”, 2014.

## **SITOGRAFIA.**

“Scopriamo cos’è la Smart Grid”, Utilità S.p.A,  
[http://test.utilita.com/download/pdf\\_news/smart\\_grid.pdf](http://test.utilita.com/download/pdf_news/smart_grid.pdf).

“Alfa Acciai per il teleriscaldamento a Brescia”, Torricelli Marco, 13 maggio 2021,  
<https://www.siderweb.com/articoli/news/710075-alfa-acciai-per-il-teleriscaldamento-a-brescia>.

“Dai forni Alfa Acciai riscaldamento per diecimila bresciani con la rete A2A”, Regione Lombardia, Alfa Acciai, A2A, <https://a2a-be.s3.eu-west-1.amazonaws.com/a2a/2021-05/120521-smart-grid-pilot.pdf>.

“A2A e ORI Martin: insieme per l’innovazione. Nuovo calore pulito per Brescia”, Gruppo A2A, <https://content.gruppoa2a.it/sites/default/files/2022-07/040322-ori-martin-a2a-turboden-csmt.pdf>.

Gestori Mercati Energetici, <https://www.mercatoelettrico.org/It/Default.aspx>.