



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI ECONOMIA E COMMERCIO

---

Corso di Laurea Triennale in Economia e Commercio

**Regolamentazione ambientale, innovazione  
tecnologica e Industria 4.0: il circolo virtuoso  
della sostenibilità.**

**Environmental regulation, technological  
innovation and Industry 4.0: the virtuous  
circle of sustainability.**

Relatore:  
Prof.ssa Barbara Ermini

Tesi di Laurea di:  
Francesco Ciabattoni

A.A. 2022/2023

## INDICE

Introduzione .....	Pag. 3
Capitolo primo – AMBIENTE E RAPPORTO CON UOMO ED ECONOMIA .....	Pag. 5
Capitolo secondo – INTERVENTO DELLO STATO E REGOLAMENTAZIONE AMBIENTALE .....	Pag. 11
Capitolo terzo – INNOVAZIONE ED ECO-INNOVAZIONE .....	Pag. 15
Capitolo quarto – INDUSTRIA 4.0 ED ECO-INNOVAZIONE .....	Pag.19
Capitolo quinto – REGOLAMENTAZIONE AMBIENTALE ED ECO- INNOVAZIONE .....	Pag. 23
Conclusione .....	Pag. 30
Bibliografia .....	Pag. 31
 GRAFICI e TABELLE	
Figura 1: il Sistema Economico e l’Ambiente .....	Pag. 9
Figura 2: divaricazione tra costi sociali e costi privati a causa dell’esistenza di costi esterni .....	Pag. 9
Figura 3: allocazione inefficiente delle risorse .....	Pag. 10
Figura 4: equilibrio concorrenziale con tassa pigouviana .....	Pag. 13
Figura 5: prospettive sul limite massimo dell’ETS dell’UE fino al 2050 .....	Pag. 14
Tabella 1: strumenti di regolamentazione e impatti rilevati .....	Pag. 28

## INTRODUZIONE

Oggi, la questione ambientale è un tema cruciale e sempre più rilevante in tutto il mondo. Essa si riferisce alla preoccupazione per l'impatto dell'attività umana sull'ambiente e sul nostro pianeta. L'errore della scienza economica è stato quello di ignorare, per lungo tempo, l'ambiente nella sua trattazione, alimentando il paradosso secondo cui, l'economia, scienza che per definizione studia l'allocazione ottima delle risorse scarse, esclude dalla propria competenza l'allocazione della risorsa ambientale, per sua natura estremamente scarsa. Questa situazione ha contribuito a generare un sistema economico insostenibile per il pianeta e per l'umanità. Come passo successivo, alla luce di quanto detto, diventa necessario trovare le soluzioni migliori in grado di rendere il sistema economico compatibile al contesto ambientale in cui si vive. Nella presente trattazione, in particolare, si propone un modello virtuoso di sostenibilità, nel quale l'intervento pubblico svolge un ruolo cruciale nell'avviare la rivoluzione industriale ecologica.

La tesi di Laurea si articola in cinque capitoli:

1. Il primo capitolo è dedicato alla risorsa ambientale e alle sue criticità, in relazione all'attività umana.

2. Il capitolo secondo si focalizza sui diversi strumenti di regolamentazione ambientale attraverso i quali lo Stato può intervenire sui fallimenti di mercato.
3. Il terzo capitolo introduce il fenomeno dell'innovazione e, in particolare, focalizza l'attenzione sull'innovazione ecologica.
4. Il quarto capitolo si focalizza sull'Industria 4.0 e sulla potenzialità delle tecnologie che la riguardano nel rendere prodotti, processi e consumi maggiormente sostenibili.
5. Infine, il quinto capitolo dimostra, attraverso sia una trattazione teorica che un'analisi di due casi di studio, la correlazione positiva tra regolamentazione ambientale ed eco-innovazione.

## Capitolo primo

### AMBIENTE E RAPPORTO CON UOMO ED ECONOMIA

In ambito economico, l'ambiente è concepito come un *asset* composito che fornisce una varietà di servizi essenziali per la nostra esistenza che, tuttavia, per motivi di cui si parlerà nel prosieguo, dà luogo a fallimenti di mercato. In generale, l'ambiente procura all'economia sia le materie prime, le quali sono poi trasformate in prodotti per il consumo grazie a processi di produzione, sia l'energia, la quale alimenta proprio questi processi produttivi. Alla fine, materie prime ed energia tornano all'ambiente sotto forma di prodotti di scarto. Inoltre, l'ambiente fornisce beni e servizi direttamente ai consumatori: dall'aria che si respira e dal nutrimento che si riceve da cibo e acqua, a tutte le attività di *outdoor recreation* quali passeggiate e godimento di attività all'aperto e di paesaggi in generale. Da questa definizione del bene ambiente, è intuitivo osservare come la relazione tra ambiente ed economia possa essere inquadrata all'interno di un sistema chiuso, come rappresentato in Figura 1. Un sistema di questo genere ha quale caratteristica principale il fatto che nessun input (energia, materia e altro) è ricevuto dall'esterno del sistema e nessun output è trasferito all'esterno dello stesso. Trattare pianeta in questo modo implica che l'eccessiva accumulazione degli scarti di prodotto, derivanti da produzione e

consumo all'interno del sistema, provoca un deprezzamento dell'asset ambiente. Infatti, essi, quando eccedono la capacità di assorbimento del sistema, causano una riduzione dei servizi essenziali che l'ambiente fornisce. A dimostrazione di quanto detto, si pensi a fenomeni quali l'inquinamento dell'aria che può provocare problemi respiratori o al cambiamento climatico che causa eventi catastrofici estremi come l'allagamento di aree costiere o fluviali.

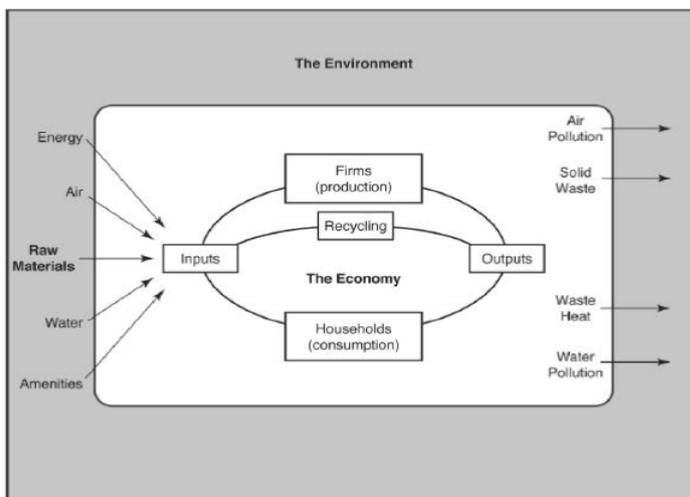
Alla luce di quanto detto, è necessario illustrare una fondamentale problematica che riguarda i diversi beni e servizi dell'asset ambientale derivante da un'inefficiente struttura dei diritti di proprietà per l'asset stesso. Solamente diritti di proprietà ben definiti, cioè caratterizzati da esclusività (tutti i benefici ed i costi riguardanti la risorsa sono appannaggio del proprietario), trasferibilità (tutti i diritti di proprietà sono liberamente trasferibili tra soggetti) ed esecutività (tutti i diritti di proprietà permettono al proprietario di bloccare eventuali disturbi da terzi sulla risorsa stessa), infatti, incentivano il proprietario di quel bene a compiere tutti gli atti necessari per la sua conservazione e apprezzamento, in modo tale da non subire una perdita personale. È possibile illustrare questo concetto esaminando gli incentivi che consumatori e produttori affrontano quando il sistema di diritti di proprietà è ottimamente definito.

Affinché il venditore disponga del diritto di escludere il consumatore dal consumo della propria risorsa in assenza di pagamento, è necessario che il consumatore paghi per ricevere il prodotto. Dato quindi un prezzo di mercato, l'individuo decide quanto acquistare sulla base della massimizzazione del proprio beneficio netto.

L'esclusività risulta però essere in molti casi violata. In particolare, questo avviene quando un agente che prende una decisione non sopporta tutte le conseguenze delle sue azioni. Si supponga di avere due imprese localizzate nei pressi di un fiume: la prima produce acciaio, l'altra opera come resort hotel. Entrambe utilizzano quindi il fiume, sebbene in modi diversi. L'acciaieria lo utilizza come ricettore per i propri scarti di produzione, mentre il resort hotel lo utilizza per attrarre consumatori interessati a godere di attività ricreative acquatiche. Proprio a causa di ciò, non essendo definito un diritto di proprietà sul bene ambientale fiume, l'acciaieria non sopporterà i costi di deprezzamento dell'attività dell'hotel risultanti dallo smaltimento dei rifiuti nel fiume, non considererà gli stessi costi nella propria funzione di produzione e tenderà a sovra-sfruttare il servizio del fiume quale ricettore, smaltendo, di conseguenza, quantità eccessive di scarti.

La situazione appena illustrata è definita esternalità, nello specifico, di tipo negativo. Si è in presenza di esternalità ogniqualvolta l'azione di un agente, solitamente un produttore (ma anche un consumatore), ha effetti sulla funzione-obiettivo di un altro, come, ad esempio, la funzione di utilità del consumatore, senza che ci sia stato un accordo tra le parti né un rapporto di mercato. Il danno ambientale è il tipico caso di esternalità negativa: esso va ad introdurre un divario, definito Costo marginale Esterno, tra il costo sostenuto dalla collettività, Costo marginale Sociale, e quello sostenuto dal produttore, Costo marginale Privato, come illustrato in Figura 2. Questo divario provoca elementi di inefficienza che possono essere sintetizzati in un'eccessiva offerta del bene, con conseguente eccessivo inquinamento prodotto, ed in un'eccessiva domanda del bene, grazie al minor prezzo a cui è scambiato il bene inquinante a causa del minor costo che il produttore sostiene (Figura 3). In aggiunta a ciò, riciclare e riusare le sostanze inquinanti è scoraggiato dal fatto che rilasciarle nell'ambiente è inefficientemente economico.

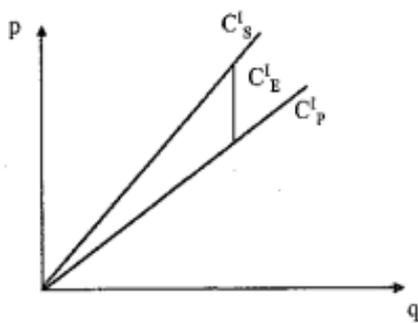
Figura 1: il Sistema Economico e l'Ambiente.



Fonte: T. TIETENBERG e L. LEWIS, *Environmental and Natural Resource Economics*, Routledge, New York, 2018, pag.18.

Note: la figura evidenzia il sistema chiuso che caratterizza la relazione tra Economia ed Ambiente. Gli inputs del sistema sono l'energia, l'aria, le materie prime, l'acqua e servizi vari. Essi vengono utilizzati dalle imprese, tramite la produzione, e dalle famiglie, tramite il consumo, per poi diventare outputs e tornare all'Ambiente sotto forma di inquinamento e scarti di vario genere.

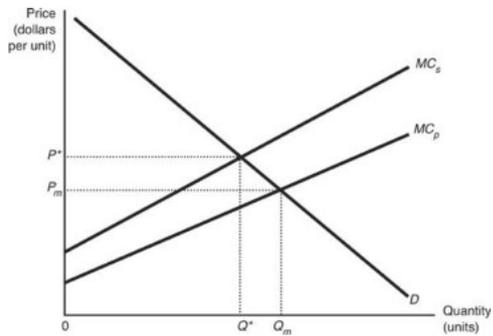
Figura 2: divaricazione tra costi sociali e costi privati a causa dell'esistenza di costi esterni.



Fonte: F. SILVESTRI, *Lezioni di economia dell'ambiente ed ecologica*, Clueb, Bologna, 2005, pag.113.

Note: i costi espressi in figura sono marginali

Figura 3: allocazione inefficiente delle risorse.



Fonte: T. TIETENBERG e L. LEWIS, *Environmental and Natural Resource Economics*, Routledge, New York, 2018, pag.25.

Note: la figura evidenzia come, a causa della presenza di esternalità, il mercato si troverà in equilibrio con uno scambio inefficiente del bene inquinante. Infatti, esso sarà venduto ad un prezzo minore ( $P_m < P^*$ ) e ad una quantità maggiore ( $Q_m > Q^*$ ), rispetto alla situazione in cui l'impresa include i costi esterni all'interno della propria funzione di produzione.

## Capitolo secondo

### INTERVENTO DELLO STATO E REGOLAMENTAZIONE AMBIENTALE

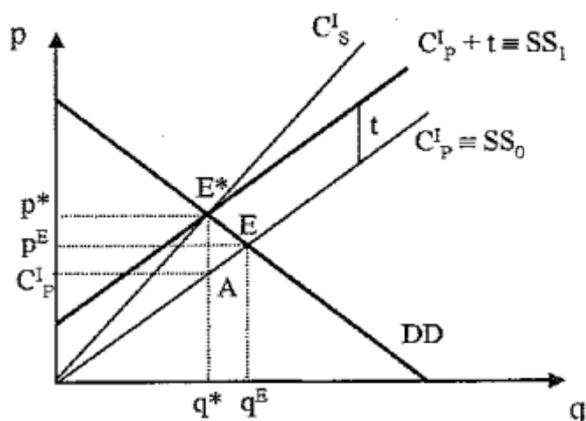
La questione descritta nel precedente capitolo rappresenta un fallimento di mercato, ossia quella situazione in cui l'allocazione dei beni e dei servizi effettuata tramite il libero mercato non è efficiente. Una situazione di questo genere richiede una correzione tramite l'intervento pubblico. L'intervento dello Stato in materia si basa sulla regolamentazione ambientale consistente nell'insieme di norme e strumenti che hanno l'obiettivo di internalizzare o, quantomeno, ridurre le esternalità. Gli strumenti principali che l'Autorità Pubblica può implementare possono essere suddivisi in tre macrocategorie:

La prima categoria è rappresentata dagli strumenti *command and control*, i quali hanno carattere prescrittivo in quanto l'Autorità fissa gli standard ammessi per un certo numero di esternalità considerate rilevanti, controlla che tale livello non sia superato e commina sanzioni, o addirittura impone la cessazione dell'attività, in caso di sfioramento. Il tipico esempio è la fissazione di standard sulla qualità ambientale, quali le norme che definiscono i livelli delle "polveri" ammesse in atmosfera nei centri storici delle città o delle emissioni industriali. In quest'ultimo caso, si parla di standard di emissione ma non sono escluse altre tipologie quali standard tecnologici (prescrivono un

determinato metodo, attrezzatura o tecnologia) e standard di prestazione (prescrivono un tetto massimo alle emissioni per unità di prodotto).

La seconda categoria si compone degli strumenti fiscali, che hanno carattere economico e mirano principalmente a tassare i soggetti inquinatori in modo tale da internalizzare le esternalità. Lo strumento fiscale maggiormente conosciuto prende il nome di “tassa pigouviana” e la sua applicazione, nonché i suoi vantaggi e criticità, sono ancora oggi discussi e studiati. Quest’ultima è un’imposta, per unità di prodotto inquinante o di inquinamento, a carico del soggetto produttore di esternalità. L’aliquota ad esso applicata è determinata dall’ammontare di danno marginale (differenza tra Costo marginale Sociale e Costo marginale Privato) misurato, come ben evidenziato in Figura 4, in corrispondenza dell’allocazione socialmente efficiente, che prende in considerazione la curva dei Costi marginali sociali. Il gettito fiscale che questa imposta produce verrà poi attribuito alla popolazione nel suo complesso tramite servizi di ristabilizzazione di qualità ambientale, per esempio, o al soggetto vittima dell’esternalità. Un ulteriore aspetto di notevole interesse riguarda la questione del doppio dividendo secondo cui oltre a beneficiare la collettività grazie all’internalizzazione, la tassazione ambientale permette di ridurre la rigidità di altre tassazioni particolarmente distorsive, come quella imposta al mercato del lavoro, favorendo così un’espansione dello stesso.

Figura 4: equilibrio concorrenziale con tassa pigouviana.



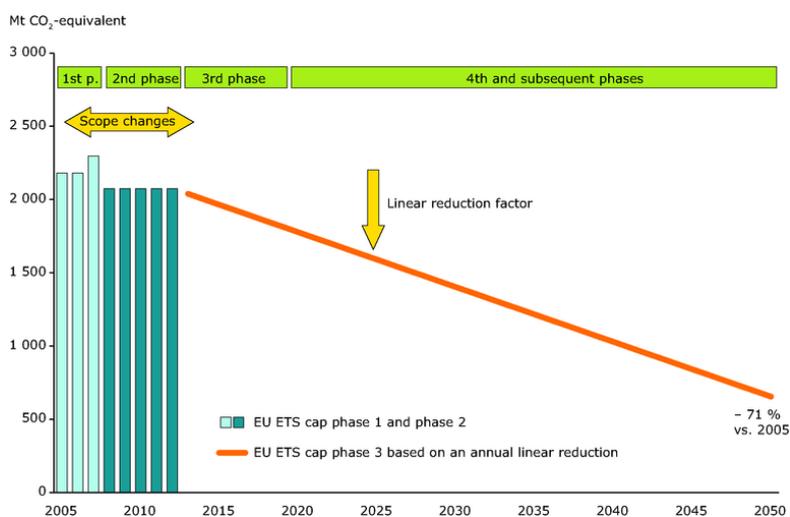
Fonte: F. SILVESTRI, *Lezioni di economia dell'ambiente ed ecologica*, Clueb, Bologna, 2005, pag.113.

Note: la figura mostra la traslazione, in alto di un'ammontare  $t$  (pari alla tassa pigouviana), che subisce la funzione di produzione dell'impresa inquinante. Nel nuovo equilibrio  $E^*$ , la curva di costi marginali di produzione, comprendente la tassa pigouviana, coinciderà con la curva dei costi marginali sociali.

Infine, l'ultima categoria di strumenti di regolamentazione ambientale corrisponde agli strumenti di natura contrattuale, i quali sono caratterizzati da un meccanismo di mercato basato sullo scambio di diritti ad inquinare tra gli agenti coinvolti. Il tipico esempio è rappresentato dallo scambio regolamentato dei permessi negoziabili ad inquinare, su scala europea, attraverso l'EU ETS (Emission Trading System). Grazie a questo sistema, l'Autorità Pubblica distribuisce permessi ad inquinare, a pagamento o gratuitamente, alle imprese coinvolte. A questo punto, immaginando che per ogni unità di inquinamento sarà necessario avere un permesso, le imprese più virtuose potranno vendere i loro permessi in eccesso ad imprese più inquinanti. La forza di questo meccanismo è data dal fatto che, ogni anno, diminuisce il numero massimo di

permessi scambiabili (Figura 5), costringendo le imprese a migliorare la performance ambientale.

Figura 5: prospettive sul limite massimo dell'ETS dell'UE fino al 2050.



Fonte: European Environment Agency.

Note: come evidenziato dalla figura, l'Emission Trading System prevede una progressiva riduzione del limite massimo di tonnellate metriche di anidride carbonica equivalente in atmosfera.

## Capitolo terzo

### INNOVAZIONE ED ECO-INNOVAZIONE

Prima di focalizzarsi sul legame esistente tra regolamentazione ambientale ed innovazione, è necessario illustrare l'eterogeneo e diversificato fenomeno dell'innovazione. Innanzitutto, è bene distinguere l'innovazione dall'invenzione. Quest'ultima rappresenta una mera idea nuova che non necessariamente è tradotta in un'applicazione nella realtà. Con l'attività di innovazione, invece, l'idea viene dapprima tradotta in un nuovo prodotto o processo attraverso passaggi scientifici, tecnologici, organizzativi e commerciali, e, successivamente, viene introdotta concretamente nel mercato, con l'attribuzione di un valore di mercato. Il merito di questa distinzione va attribuito all'economista austriaco Joseph A. Schumpeter a cui deve ricondursi anche la concezione di innovazione quale "distruzione creativa"<sup>1</sup>, sottolineando la sua attitudine a scuotere e mutare incessantemente il sistema economico, permettendo il progresso economico e sociale. Nella dinamica imprenditoriale, questa spinta alla mutazione è sostenuta dalle imprese innovatrici, provocando una pressione sulle altre imprese. Innovare diviene quindi un fattore cruciale e

---

<sup>1</sup> Un'interessante definizione è fornita da Sombar (1913): "Ancora una volta, tuttavia, *dalla distruzione sorge un nuovo spirito di creazione*; la scarsità di legno e le esigenze della vita quotidiana [...] hanno costretto alla scoperta o l'invenzione di sostituti del legno, hanno costretto all'uso del carbone per il riscaldamento, hanno costretto all'invenzione del coke per la produzione di ferro".

determinante per le imprese. Nella dinamica sociale e umana, il miglioramento del processo produttivo volto ad una maggiore efficienza permette di ridurre la quantità di lavoro e progredire in quantità e qualità degli output prodotti, con benefici nella qualità della vita. Schumpeter (1934), introduce anche una fondamentale distinzione tra innovazione di prodotto e innovazione di processo. La prima implica l'introduzione nel mercato di un bene o servizio completamente nuovo che diventa essenziale per sopravvivere nell'ambiente iper-competitivo dei sistemi moderni, dove la concorrenza è intensa e i prodotti tendono a presentare scarso differenziamento tra loro. In questo contesto, l'adozione di nuovi prodotti rappresenta una strategia chiave per garantire la competitività e la vitalità di un'azienda, consentendo alla stessa di distinguersi. L'innovazione di processo invece, consiste nello sviluppo e nell'introduzione di nuovi metodi di produzione o di distribuzione di beni e prodotti già presenti sul mercato, contribuendo, in particolare, ad accrescere l'efficienza delle imprese. In seguito, sulla scia di Schumpeter e dei suoi studi, sono state introdotte ulteriori classificazioni. Una di queste concerne la distinzione tra innovazioni modulari e innovazioni architetturali. Le prime modificano singole componenti di un sistema di prodotto, rinunciando a modifiche sostanziali alla sua configurazione generale. Quest'ultime modifiche sono invece tipiche delle innovazioni architetturali, le quali cambiano la struttura generale del sistema o

delle modalità in cui i componenti interagiscono tra loro. L'ultima classificazione che si intende menzionare concerne la differenza tra innovazioni incrementali e innovazioni radicali (Freeman e Soete, 1982). Le prime sono miglioramenti graduali apportati nel tempo a prodotti o processi esistenti, senza richiedere cambiamenti netti e risorse finanziarie significative. Queste innovazioni, spesso stimolate dalla domanda di mercato, ossia per soddisfare le continue esigenze dei clienti, richiedono conoscenze simili a quelle già possedute e presentano livelli minimi di incertezza e investimento. Le innovazioni radicali invece, sono distribuite con discontinuità nel tempo e costituiscono una novità assoluta in termini di prodotti e servizi.

Ai fini del presente studio appare rilevante illustrare una particolare tipologia di innovazione: l'innovazione ecologica. Nella definizione di Kemp e Pearson (2007), l'eco-innovazione è la produzione, l'assimilazione o lo sfruttamento di un prodotto, processo produttivo, servizio o metodo di gestione o di business che è nuovo per l'organizzazione, poiché comporta sviluppi o nuova adozione, che si traduce in una riduzione del rischio ambientale, dell'inquinamento e di altri impatti negativi dell'uso delle risorse. Pertanto, essa include tecnologie avanzate che riducono l'impatto del sistema produttivo sull'ambiente o che utilizzano le risorse naturali in maniera più efficiente. L'innovazione ecologica, di conseguenza, contribuisce significativamente al progresso economico e

sociale secondo una visione di sviluppo sostenibile, ossia quello sviluppo che, secondo il rapporto Brundtland<sup>2</sup>(1987), soddisfa le esigenze della generazione attuale senza compromettere quelle delle generazioni future. In conclusione, è possibile affermare quale sia il punto di forza dell'eco-innovazione: in aggiunta alle capacità di creazione, produzione, accumulazione e diffusione della conoscenza, tipiche del fenomeno innovativo in senso generale e cruciali nell'alimentare la competitività delle imprese e di riflesso dei Paesi in generale, l'innovazione ecologica è in grado di apportare benefici sia all'ambiente che, di conseguenza, all'uomo.

---

<sup>2</sup> Il rapporto Brundtland, pubblicato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED), deve il suo nome alla presidente del WCED che in quell'anno aveva commissionato il rapporto.

## Capitolo quarto

### INDUSTRIA 4.0 ED ECO-INNOVAZIONE

Dopo aver messo in luce l'importanza che assume l'eco-innovazione, il presente capitolo ha come obiettivo quello di definire il nuovo paradigma relativo all'Industria 4.0, quale spazio di azione privilegiato per lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie eco-innovative nel sistema produttivo e di consumo. In primis, l'Industria 4.0<sup>3</sup> rappresenta la quarta fase della rivoluzione industriale. Questo nuovo stadio è possibile attraverso un'evoluzione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) che permetta la realizzazione di un mondo integrato e interconnesso, nel quale, in particolare, le macchine siano in grado di comunicare tra loro e con la realtà. Le prime tecnologie artefici di questa evoluzione sono, senza dubbio, l'Internet delle cose (IoT)<sup>4</sup> e l'Internet dei servizi (IoS), capaci di collegare virtualmente l'industria nel suo complesso. Tramite IoT e IoS il sistema industriale riceve una mole significativa di informazioni, in virtù dell'elevato volume, dell'elevata velocità e dell'elevata varietà che la riguardano, la cui gestione è

---

<sup>3</sup> L'Industria 4.0 prende il nome dalla relazione tedesca intitolata "*Industria 4.0: L'Internet delle cose sulla strada della quarta rivoluzione industriale*" (H. Kagermann, WD Lukas, W. Wahlster; Hannovermesse; 2011) e relativa ad un progetto di rivoluzione produttiva, con al centro tecnologie avanzate, promosso dalla Germania per sviluppare la propria competitività a livello globale.

<sup>4</sup> L'Internet of Things è l'estensione di Internet al mondo degli oggetti e dei luoghi, i quali, acquisendo una propria identità digitale grazie alla dotazione di sensori e attuatori, possono comunicare con altri oggetti e utenti nella rete, fornendo informazioni di vario genere.

particolarmente complessa (Ardolino et al., 2018). Tale massa di informazioni, chiamata Big Data, richiede, di conseguenza, forme innovative di gestione e analisi dei dati. Quest'ultime sono offerte dal Cloud Computing, un sistema innovativo di distribuzione con il quale un fornitore rende disponibile alle imprese servizi di archiviazione, elaborazione e trasmissione dei dati in remoto, permettendo alle stesse di evitare la necessità di dotarsi di server fisici e software dagli elevati costi di acquisto, gestione e manutenzione (Camara et al., 2015).

L'adozione di queste tecnologie innovative rende le imprese capaci di controllare e gestire più efficacemente e più efficientemente le informazioni di processo, di prodotto e di consumo (Nguyen et al., 2018). In questo modo, le imprese saranno in grado di migliorare la loro competitività, con effetti positivi sui profitti, ma anche, compiendo un ragionamento successivo, di migliorare le loro prestazioni ambientali conformandosi allo sviluppo sostenibile. Infatti, sia le operazioni economiche sia la gestione ambientale sono attività ad elevata intensità di informazioni (Lai et al., 2015; Addo-Tenkorang e Helo, 2016). Dal punto di vista economico, le tecnologie digitali dell'I4.0 consentono la raccolta, l'identificazione e l'estrazione di informazioni preziose dai prodotti e dal loro utilizzo (Gunasekaran et al., 2017; Wamba et al., 2017): in questo modo, sono in grado di supportare le decisioni di previsione della domanda sviluppando e

ottimizzando i prodotti (YU et al., 2015; Joshi e Gupta, 2019), permettendo inoltre una loro maggiore personalizzazione e flessibilità, al fine di soddisfare al meglio le esigenze dei clienti, aumentando in tal modo la quota di mercato e le vendite. Dal punto di vista ambientale, le informazioni raccolte mediante le tecnologie di quarta industrializzazione, essendo estremamente accurate sui consumi dei clienti, possono essere utilizzate dalle imprese per progettare e sviluppare i prodotti secondo la strategia delle 5R<sup>5</sup> (ridurre, riparare, riutilizzare, riciclare e rifabbricare) e, di conseguenza, per produrre in relazione al livello di domanda e di consumo, evitando sprechi. Non solo, l'uso delle tecnologie digitali accresce la consapevolezza dell'impresa in merito alla sua efficienza energetica, ai suoi scarti e dunque al suo impatto ambientale, incentivandola all'ottimizzazione della produzione, principalmente in un'ottica economica di miglioramento della produttività e di riduzione degli scarti che, come si vedrà nel prossimo capitolo, sono riconducibili a costi di vario genere.

Vantaggi economici e ambientali sono realizzabili anche mediante ulteriori tipologie di tecnologie innovative diffuse dall'industrializzazione di quarta generazione che vengono di seguito illustrate. In primo luogo, l'Intelligenza Artificiale (AI) sostiene e rafforza le capacità di ottimizzazione delle imprese

---

<sup>5</sup> La strategia delle 5R è introdotta dal decreto Ronchi nel 1997, in relazione alla prevenzione e gestione dei rifiuti.

tramite il monitoraggio e la risoluzione in tempo reale di varie problematiche di gestione, di produzione e di servizio clienti. La produzione additiva (o Stampa 3D) consente il risparmio di materiali con conseguente riduzione di costi e scarti, come pure una maggiore flessibilità e facilità nella realizzazione dei beni. Infine, la realtà aumentata (AR) permette l'integrazione del mondo fisico con quello virtuale, offrendo alle imprese la possibilità di studiare e testare prototipi virtuali, eliminando materiali necessari per la loro realizzazione.

## Capitolo quinto

### REGOLAMENTAZIONE AMBIENTALE ED ECO-INNOVAZIONE

Lo stimolo all'introduzione di eco-innovazione proveniente dalle tecnologie di Industria 4.0 si confronta con i possibili effetti legati alla presenza di regolamentazione ambientale nel sistema economico. In particolare, si segnalano due opposte visioni in merito alla questione della regolamentazione ambientale: da un lato, regolamentazione ambientale come costo e conseguente fardello per le imprese e la loro competitività sui mercati globali; dall'altro lato, regolamentazione ambientale come stimolo all'innovazione ed all'eco-innovazione, capaci di più che compensare, grazie ai benefici, i costi di conformità. La prima delle tesi risulta essere errata per un duplice motivo. In primo luogo, seguendo Porter e Linde (1995), l'inquinamento rappresenta l'emissione o lo scarico di una sostanza nociva o di una particolare forma di energia nell'ambiente. Pertanto, l'inquinamento è sostanzialmente una forma di inefficienza economica in quanto implica uno spreco, un utilizzo non necessario, inefficiente o incompleto di risorse, costringendo oltretutto le imprese a svolgere attività che rappresentano costi aggiuntivi come la movimentazione, lo stoccaggio e lo smaltimento. Infatti, all'interno delle aziende, i costi dell'inefficienza sono evidenti sia nell'utilizzo incompleto dei materiali, sia nello scarso controllo del processo produttivo, che genera

materiale immagazzinato non necessario, scarti e difetti (Womack e Jones, 1996). All'esterno delle aziende e, pertanto, nelle fasi successive del ciclo di vita del prodotto, ci sono molti altri costi nascosti legati all'inefficienza, come, per esempio, lo scarto degli imballaggi e di prodotti incorporanti materiali inutilizzati da parte dei distributori e dei clienti (Porter e Linde, 1995). L'opportunità di ridurre i costi diminuendo l'inquinamento dovrebbe quindi essere la regola, non l'eccezione, e la regolamentazione ambientale, a tal proposito, permette a fronte di un'iniziale spesa, il recupero di tutti i costi di inefficienza e spreco che si sono presentati. In secondo luogo, la prima visione scaturisce da un'interpretazione statica del mondo. In questo mondo statico all'interno del quale la tecnologia, i prodotti, i processi e le esigenze dei clienti sono considerati tutti elementi fissi ed esogeni e dove le imprese hanno già compiuto le loro scelte per minimizzare i costi, la regolamentazione ambientale aumenta inevitabilmente i costi e riduce la competitività delle aziende interessate. Tuttavia, riprendendo i contributi di Schumpeter sul ruolo dell'innovazione, il nuovo paradigma della competitività si oppone alla visione statica. Egli ha il merito, infatti, di endogenizzare il fenomeno dell'innovazione, mettendo in luce la dinamicità che caratterizza il paradigma attuale della competitività nazionale ed internazionale dove solo le imprese maggiormente capaci di migliorare ed innovare continuamente saranno le sole

in grado di sopravvivere e di affermarsi nei mercati. In questo caso, la regolamentazione ambientale, spingendo le imprese a conformarsi alle normative con l'obiettivo di ridurre l'inquinamento, esercita sulle stesse una pressione ad innovare (Porter e Linde, 1995) e, cioè, a dotarsi di tutte quelle tecnologie, come le tecnologie digitali dell'I4.0, che permettano una maggiore produttività, un minore spreco di risorse e infine minori costi.

Talvolta si sostiene che le aziende debbano, in base al concetto di ricerca del profitto, perseguire tutte le innovazioni redditizie. Da questo punto di vista, se conformarsi alla regolamentazione ambientale può essere redditizio, in virtù del fatto che un'azienda ha la possibilità di più che compensare il costo di conformità, allora è inevitabile chiedersi quale sia il motivo della necessità di tale regolamentazione. Come spiegano sempre Porter e Linde (1995), l'esigenza di implementare normative ambientali nasce dalla convinzione diffusa che le imprese siano in grado di compiere sempre scelte ottimali. Ciò è vero solo in condizioni di perfetta informazione in cui le opportunità redditizie legate all'innovazione sono chiare e definite, e le imprese sono così in grado di individuare la soluzione aziendale che permette di conseguire il più alto livello di profitti. Naturalmente questo assetto non corrisponde alla realtà e, come spiegato precedentemente, l'attuale contesto concorrenziale è dinamico e, pertanto, caratterizzato da mutevoli opportunità innovative abbinate a

informazioni altamente incomplete, inerzia organizzativa e problematiche di controllo dei processi. Questa situazione ha causato per troppo tempo una miopia sia da parte delle imprese che da parte dei clienti: le prime, poco a conoscenza degli impatti ambientali e dell'inefficienza economica derivante dall'inquinamento, hanno ignorato i benefici delle innovazioni e delle eco-innovazioni; i secondi, di riflesso, hanno trascurato sia tutti i costi indiretti relativi al valore degli scarti a cui rinunciano e allo smaltimento, sia i danni all'ambiente e alla qualità della vita.

In un mondo simile, la regolamentazione ambientale è perciò in grado di esercitare un'influenza fondamentale sulla direzione dell'innovazione. In particolare, se adeguatamente elaborato, il mix di politiche ambientali consente il raggiungimento di molteplici obiettivi. In primo luogo, la regolamentazione fornisce alle imprese un quadro chiaro per valutare e misurare i propri scarichi, consentendo loro di comprendere appieno i costi complessivi derivanti dall'uso inefficiente delle risorse e dalla potenziale tossicità delle emissioni, suggerendo per giunta i possibili miglioramenti tecnologici. In secondo luogo, la regolamentazione, grazie alla sua capacità di alimentare la consapevolezza aziendale, riduce significativamente l'incertezza connessa agli investimenti ambientali come, per esempio, l'implementazione di una particolare tecnologia eco-innovativa. Infine, la disciplina ambientale esercita sulle imprese una

pressione tale da costringerle ad innovarsi, stimolando in questo modo il progresso. La pressione esterna (proveniente da concorrenti forti, da clienti esigenti, dall'aumento dei prezzi degli inputs o da altre dinamiche quali appunto la regolamentazione pubblica) ha infatti un ruolo fondamentale ai fini dell'innovazione in quanto consente il superamento dell'inerzia spronando la creatività imprenditoriale (Porter e Linde, 1995; Zollo, 2008).

Sul piano della letteratura empirica, l'analisi degli effetti della regolamentazione ambientale sul processo innovativo è un argomento che riscuote grande interesse. In particolare, questo avviene perché, data l'attualità della tematica, alla correttezza teorica non sempre risulta semplice affiancare quella pratica e, di conseguenza, individuare con certezza gli esiti innovativi di queste politiche. Ai fini del presente lavoro, saranno esaminati due casi di studi che supportano la presenza di una correlazione positiva tra regolamentazione ambientale ed innovazione, corroborando la visione di stimolo all'innovazione precedentemente illustrata. Bergek et al. (2014) concentrano la loro indagine sull'impatto che gli strumenti di regolamentazione ambientale hanno sull'innovazione nel settore energetico (E) e in quello dei veicoli motorizzati (A). La scelta di questi settori deriva dal fatto che entrambi sono stati interessati, a partire dagli anni 60', in Europa occidentale e negli Stati Uniti, da un'intensa attività di regolamentazione. Di seguito si presenta dunque una

tabella per favorire la comprensione del fenomeno, specificando la distinzione che viene fatta tra strumenti implementati con l'obiettivo di sviluppare una specifica tecnologia e quelli destinati ad un gruppo più generale. Come si apprezza dalla Tabella 1, gli strumenti di regolamentazione ambientale, applicati nei due settori esaminati, hanno effettivamente contribuito allo sviluppo di diverse tipologie di eco-innovazioni.

Tabella 1: Strumenti di regolamentazione e impatti rilevati.

Tipologia	Strumento	Impatti riguardo...
<b>Economici Generali<sup>6</sup></b>	Tasse sul carburante (A) EU ETS (E)	Diffusione della tecnologia modulare (motori diesel); Sviluppo e diffusione di innovazioni incrementali nelle tecnologie convenzionali; Sviluppo di innovazione modulare complessa (CCS) <sup>7</sup> .
<b>Normativi Generali</b>	CAAA <sup>8</sup> e normative europee simili sulle emissioni (A) CAAA (E)	Sviluppo e diffusione di innovazioni modulari (convertitori catalitici, tecnologie diesel pulite, moduli per il risparmio di carburante) e miglioramenti delle tecnologie esistenti; Sviluppo e diffusione dell'innovazione modulare CCGT <sup>9</sup> ; Innovazione incrementale nelle tecnologie

<sup>6</sup> In questo gruppo sono compresi sia strumenti di natura fiscale che strumenti di natura contrattuale.

<sup>7</sup> Il Carbon Capture and Storage è un particolare processo di cattura delle emissioni di CO<sub>2</sub> provenienti dai processi industriali.

<sup>8</sup> Il Clean Air Act Amendment è una legge statunitense riguardo standard normativi nazionali per migliorare la qualità dell'aria. Emanato nel 1963, è stato successivamente soggetto a numerose modifiche.

<sup>9</sup> La "combined cycle gas turbine" è una centrale elettrica che produce energia attraverso due cicli combinati. Il primo utilizza la combustione di gas naturale; nel secondo viene recuperato il calore dei gas in uscita e convertito ulteriormente in energia.

		convenzionali di riscaldamento dell'acqua.
Economici Specifici e Normativi Specifici	Tariffe incentivanti  Zero Emission Vehicle (ZEV) <sup>10</sup>	Sviluppo e introduzione sul mercato di innovazioni architetture (autobus ibridi-elettrici); Sviluppo e diffusione di innovazioni architetture e radicali (ad esempio turbine eoliche, celle solari fotovoltaiche); Sviluppo e prima introduzione sul mercato dell'innovazione architetture (auto elettriche).

Fonte: rielaborazione di Tabella, Bergek et al., (2014).

Nel secondo caso di studio, Filiou, Kesidou e Wu (2023) analizzano il modello cinese, capace di abbinare, in determinate città, la regolamentazione ambientale all'implementazione delle tecnologie digitali di ultima generazione, mediante l'elaborazione di un policy mix adeguato e strutturato. In particolare, dal 2012, a seguito di una politica rivolta allo sviluppo delle Smart Cities, 32 città hanno vissuto una forte industrializzazione di quarta generazione che le ha portate a godere di tutti i vantaggi discussi in precedenza. Il risultato principale dello studio rivela il notevole incremento di brevetti verdi, concessi dalla China National Intellectual Property Administration, all'interno delle Smart Cities, e tra di esse il rilascio è più marcato laddove la regolamentazione ambientale è più rigorosa.

<sup>10</sup> Con gli standard ZEV si intendono quelle normative volte ad incoraggiare la transizione verso i veicoli a zero emissioni.

## CONCLUSIONE

Il presente elaborato mette in rilievo la funzione dell'intervento pubblico in materia ambientale nell'indirizzare il sistema economico verso una gestione sostenibile delle risorse. In particolare, ciò è possibile grazie a strumenti di regolamentazione ambientale capaci di incoraggiare ed obbligare le imprese a investire in soluzioni innovative, spingendo verso la convergenza tra efficienza produttiva e sostenibilità ambientale. In questo quadro, le avanzate tecnologie attribuibili alla quarta rivoluzione industriale, grazie alle loro potenzialità applicative, rappresentano appieno le soluzioni innovative possibili, offrendo un vitale contributo alla riduzione degli impatti negativi dell'attività umana sull'ambiente, al di là dei numerosi benefici economici per le imprese.

## BIBLIOGRAFIA

Barriga Medina, H.R., Guevara, R.; Campoverde, R.E.; Paredes-Aguirre, M.I. (2022). *Eco-Innovation and Firm Performance: Evidence from South America*. Sustainability, 14, 9579. <https://doi.org/10.3390/su14159579>

Bergek, A. e Berggren, C. (2014). *The impact of environmental policy instruments on innovation: A review of energy and automotive industry studies*. Ecological Economics, 106, 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.016>

Bianchi A. (2019). *Economia del lavoro e dell'innovazione: Shumpeter*; Università degli studi di Ferrara; Ferrara.

Brundtland Commission (1987). *Brundtland report*. “lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri”.

DLGS 22/97. (1997). *Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio*. <https://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/97022dl.htm>

Filiou, D., Kesidou, E., e Wu, L. (2023). *Are smart cities green? The role of environmental and digital policies for Eco-innovation in China*. World Development, 165, 106212. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106212>

Freeman, C. e Soute, L. (1983). *The economics of industrial innovation*. MIT press. Cambridge/MA.

Gunasekaran, A., Παπαδόπουλος, Θ., Dubey, R., Wamba, S. F., Childe, S. J., Hazen, B. T., e Akter, S. (2017). *Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance*. Journal of Business Research, 70, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.004>

Joshi, A. D., e Gupta, S. M. (2019). *Evaluation of design alternatives of End-Of-Life products using internet of things*. International Journal of Production Economics, 208, 281–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.010>

KEMP, R. e PEARSON, P. (2007). *Final Report MEI Project about Measuring Eco-Innovation*. Maastricht. Volume 10.

Kumar, R., Singh, R., e Dwivedi, Y. K. (2020). *Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges*. Journal of Cleaner Production, 275, 124063. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>

Liu, Y., Dai, J., e Cui, L. (2020). *The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model*. International Journal of Production Economics, 229, 107777. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107777>

Malerba, F. (2000). *Economia dell'innovazione*. Carocci editore. Roma.

Marketing Team. (2020). *Cloud Computing e Big Data: una combinazione perfetta*. Doxee. <https://www.doxee.com/it/blog/tecnologia/cloud-computing-e-big-data/>

Nguyen, T., Zhou, L., Spiegler, V., Ieromonachou, P., e Lin, Y. (2018). *Big data analytics in supply chain management: A state-of-the-art literature review*. *Computers & Operations Research*, 98, 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.07.004>

Oláh, J., Aburumman, N., Popp, J., Khan, M. A., Haddad, H., e Kitukutha, N. M. (2020). *Impact of industry 4.0 on environmental sustainability*. *Sustainability*, 12(11), 4674. <https://doi.org/10.3390/su12114674>

Porter, M. E., e Van Der Linde, C. (1995). *Toward a new conception of the Environment-Competitiveness relationship*. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>

Rossi, S. (2020). *Come si classificano le innovazioni?* Inside Marketing. <https://www.insidemarketing.it/tipologie-di-classificazioni-esempi/>

Schumpeter, A.J. (1934). *The Theory of Economic Development*. Harvard Economic Studies. Cambridge/MA.

Schumpeter, A.J. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Harper e Brothers. New York.

Silvestri, F. (2005). *Lezioni di economia dell'ambiente ed ecologica*. CLUEB. Bologna.

Tietenberg, T. e Lewis, L. (2018). *Environmental and Natural Resource Economics*. Routledge. New York.

Wamba, S. F., Gunasekaran, A., Akter, S., Ren, S. J. F., Dubey, R., e Childe, S. J. (2017). *Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities*. *Journal of Business Research*, 70, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.009>

Womack, P. (1997). *Lean Thinking. Come creare valore e bandire gli sprechi*. Google Books. [https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=\\_ZhBDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=spreco+aziendale+&ots=DmckizundC&sig=u0J4BFxQIv7qN2MzgE-x41fQt3g&redir\\_esc=y#v=onepage&q=spreco%20aziendale&f=false](https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=_ZhBDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=spreco+aziendale+&ots=DmckizundC&sig=u0J4BFxQIv7qN2MzgE-x41fQt3g&redir_esc=y#v=onepage&q=spreco%20aziendale&f=false)

Wu, Y. e Tham, J. (2023). *The impact of environmental regulation, Environment, Social and Government Performance, and technological innovation on enterprise resilience under a green recovery*. *Heliyon*, 9(10), e20278. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20278>

Yu, J., Subramanian, N., Ning, K., e Edwards, D. (2015). *Product delivery service provider selection and customer satisfaction in the era of internet of things: A Chinese e-retailers' perspective*. *International Journal of Production Economics*, 159, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.031>

