



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**

---

**FACOLTÀ DI ECONOMIA "GIORGIO FUÀ"**

*CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA E COMMERCIO*

**IL RUOLO DELL'INNOVAZIONE  
NELLA CRESCITA ECONOMICA**

THE ROLE OF INNOVATION IN ECONOMIC GROWTH

RELATORE:  
PROF. MASSIMO TAMBERI

TESI DI LAUREA DI:  
MATHEUS SOARES CAMPOS

ANNO ACCADEMICO 2023 - 2024



*“Me encontrei nos meus sonhos”*



*Alla mia famiglia,*

*fonte inesauribile di ispirazione e forza.*

*Grazie per aver creduto in me, per il vostro sostegno incrollabile e per aver  
condiviso con me ogni passo di questo viaggio.*

*Questo traguardo è anche vostro.*

---

*À minha família,*

*fonte inesgotável de inspiração e força.*

*Obrigado por acreditarem em mim, pelo seu apoio inabalável e por  
compartilharem cada passo desta jornada comigo.*

*Esta conquista também é de vocês.*





---

## INDICE

---

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>Capitolo 1: L'innovazione.....</b>	<b>6</b>
1.1 Il concetto di innovazione.....	6
1.2 L'innovazione nel contesto storico.....	9
<b>Capitolo 2: Le fonti di innovazione.....</b>	<b>13</b>
2.1 La ricerca e sviluppo (R&S).....	13
2.2 Il capitale umano.....	17
2.3 Cluster tecnologico.....	18
<b>Capitolo 3: La quarta rivoluzione industriale.....</b>	<b>19</b>
3.1 Le tecnologie chiavi nella quarta rivoluzione industriale.....	19
3.2 L'intelligenza artificiale.....	21
3.3 L'impatto dell'intelligenza artificiale nella produttività.....	22
3.4 Il futuro dell'innovazione.....	24
<b>Conclusioni.....</b>	<b>28</b>
<b>Bibliografica.....</b>	<b>30</b>



## INTRODUZIONE

L'innovazione è un motore cruciale della crescita economica, capace di trasformare l'economia di una nazione e migliorare il benessere dei suoi cittadini. Questo lavoro si propone di esplorare il ruolo fondamentale dell'innovazione nello sviluppo economico, analizzando le diverse fonti di innovazione, il contesto storico e gli impatti delle rivoluzioni industriali, con un focus particolare sulla quarta rivoluzione industriale e l'intelligenza artificiale.

In primo luogo, viene esaminato il concetto di innovazione, che include lo sviluppo e l'applicazione di idee e tecnologie volte a migliorare beni e servizi o a rendere più efficienti i processi produttivi. L'innovazione è essenziale non solo per la crescita economica, ma anche per la competitività delle imprese e il progresso sociale. Le idee innovative sono non-rivali e possono essere utilizzate da più persone contemporaneamente senza diminuirne la disponibilità, rendendo così il reddito pro-capite dipendente dallo stock aggregato di idee.

Successivamente, viene analizzato il contesto storico dell'innovazione, con particolare riferimento alla rivoluzione industriale che ha segnato un punto di svolta nella storia umana. Grazie a invenzioni come il motore a vapore e le macchine tessili, l'industria è diventata più efficiente, portando a una crescita significativa del PIL e del PIL pro-capite. Questo periodo ha dimostrato come l'innovazione tecnologica possa stimolare la crescita economica su larga scala.

Il documento approfondisce poi le fonti di innovazione, tra cui la ricerca e sviluppo (R&S), il capitale umano e i cluster tecnologici. La R&S, sia pubblica che privata, è fondamentale per il progresso innovativo. Gli investimenti in R&S pubblica tendono a colmare le lacune lasciate dal settore privato, affrontando questioni di interesse pubblico come la salute e l'ambiente. D'altra parte, la R&S privata è orientata verso applicazioni commerciali immediate, spesso portando a innovazioni rivoluzionarie che trasformano interi settori.

Il capitale umano è un altro elemento chiave, con l'istruzione che gioca un ruolo vitale nel promuovere l'innovazione tecnologica e facilitare l'imitazione tecnologica. Inoltre, i cluster tecnologici, come la Silicon Valley, rappresentano ecosistemi vitali che favoriscono l'avanzamento tecnologico e il progresso economico, creando un ambiente ricco di risorse e opportunità di collaborazione.

Infine, viene esplorata la quarta rivoluzione industriale, caratterizzata dall'adozione di tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale, l'Internet delle Cose (IoT), la robotica autonoma e la realtà aumentata. L'IA, in particolare, è vista come un fattore determinante per la crescita economica futura, capace di migliorare la produttività e favorire l'innovazione attraverso l'apprendimento automatico e il deep learning.

Questo studio evidenzia come l'innovazione sia un processo complesso e multifattoriale, essenziale per il progresso economico e sociale. Investimenti strategici in R&S, educazione e infrastrutture tecnologiche sono cruciali per sostenere l'innovazione e garantire una crescita economica sostenibile nel lungo termine.



# CAPITOLO 1

## L'INNOVAZIONE

### **1.1- Il concetto di innovazione**

L'innovazione è un fattore essenziale del progresso economico che porta beneficio ai consumatori, alle imprese e all'economia nel suo insieme. In termini economici, l'innovazione indica lo sviluppo e l'applicazione di idee e tecnologie che migliorano beni e servizi oppure ne rendono più efficiente la produzione (Bellotti, Selmi, 2020).

L'essenza dell'innovazione sta nelle idee, Paul Romer, in un contributo per il quale è stato riconosciuto il premio Nobel nel 2018, sostiene che le idee sono non rivali, cioè, possono essere utilizzate da più persone contemporaneamente senza diminuire la disponibilità per gli altri individui, diversamente della maggior parte dei beni che invece si caratterizzano per essere rivali (Jones, 2022).

Il fatto che le idee possano essere infinitamente utilizzabili implica che il reddito pro-capite dipenda dallo stock aggregato di idee e non dallo stock di idee per persona. Diversamente dal capitale fisico dove il reddito pro-capite dipende dal capitale per persona.

La ricerca scientifica rappresenta un mezzo per generare ulteriori idee o per approfondire e migliorare quelle già esistenti. Per esempio, attraverso la ricerca scientifica o accademica, si possono scoprire nuove informazioni o collegamenti che portano a nuove idee o soluzioni innovative. Tuttavia, è importante sottolineare che le idee possono anche sorgere spontaneamente dalla creatività, dall'esperienza

personale, dall'ispirazione o da altri processi mentali che non richiedono necessariamente una ricerca formale.

In sintesi, la ricerca contribuisce positivamente alla scoperta di nuove idee, che alla loro volta favoriscono il processo innovativo. Uno dei principali benefici dell'innovazione è il suo contributo alla crescita economica. Semplificando, l'innovazione, mediante lo sviluppo e l'applicazione di nuove idee e tecnologie, può favorire una maggiore produttività, che a sua volta genera più beni e servizi a fronte degli stessi fattori produttivi, determinando la crescita dell'economia.

Vista l'importanza dell'innovazione come uno dei fattori che consentono lo sviluppo economico, sarebbe opportuno chiederci come produrre ulteriori idee, che sono alla base del processo di innovazione. Le nuove idee provengono dalle scoperte e dagli eventi fortuiti, per cui, più ricercatori comporta maggiore probabilità di scoperta e di conseguenza di innovazione.

La ricerca di nuove idee, però, non è sempre lineare e facile. Mentre le prime scoperte possono portare a grandi miglioramenti con sforzi relativamente ridotti, man mano che le idee più evidenti vengono esplorate e implementate emergono i rendimenti decrescenti. In altre parole, ogni nuova idea tende a richiedere un maggiore sforzo e risorse per essere scoperta, mentre i benefici marginali diminuiscono. Questo è evidente nel campo della chimica, dove le prime combinazioni di elementi portano a scoperte significative, ma le combinazioni successive richiedono sempre più tempo e ricerca per trovare risultati utili.

Analogamente, nelle economie, l'innovazione continua richiede sempre più investimenti e risorse per ottenere ulteriori miglioramenti. Questo fenomeno rappresenta una sfida significativa per mantenere un alto tasso di crescita economica. Nonostante la natura infinitamente utilizzabile delle idee, le prime innovazioni che sono facilmente accessibili vengono esaurite rapidamente, lasciando dietro di sé sfide più complesse e costose (Kozlov Max, 2023).

Le misure strutturali che consentono di promuovere l'innovazione includono l'aumento della spesa in ricerca e sviluppo, maggiori investimenti nell'istruzione, facilitazioni per gli imprenditori ad avviare un'attività imprenditoriale, dato che in un contesto competitivo tenderanno ad investire in ricerca e sviluppo per rendere il proprio prodotto o servizio offerto più competitivo rispetto alla concorrenza.

L'innovazione scaturisce dal processo di apprendimento, ossia dal processo di produzione di nuova conoscenza che, applicata sulla base di uno specifico problema, assume, di volta in volta, la forma di nuovi prodotti, nuovi processi, nuove strutture organizzative e nuovi comportamenti.

La produzione di conoscenza assume, pertanto, un valore di guida del sistema imprenditoriale, una base per la realizzazione di benefici nel medio-lungo periodo e la creazione di un vantaggio competitivo durevole. Tuttavia, il progresso sostenuto richiede il continuo sviluppo e applicazione di nuove idee, nonostante i rendimenti decrescenti. È essenziale, quindi, bilanciare gli investimenti in ricerca e innovazione con politiche che incentivino e supportino la scoperta e l'applicazione di nuove idee, garantendo al contempo che i benefici delle innovazioni siano ampiamente disponibili.

Date le circostanze sopra considerate, è evidente l'importanza degli investimenti privati nonché pubblici nel settore della ricerca e sviluppo, dato che ciò rende i Paesi più competitivi e più efficienti dal punto di vista economico.

Un esempio relativamente recente di ascensione economica dovuta a massici investimenti in innovazione è quello della Cina. Nel corso degli ultimi decenni, la Cina ha aumentato significativamente i suoi investimenti in ricerca e sviluppo (R&S), sia nel settore pubblico che in quello privato, al fine di promuovere l'innovazione e migliorare la competitività economica.

Questi investimenti hanno portato a numerosi risultati positivi, tra cui lo sviluppo di tecnologie avanzate, l'incremento della produttività, l'attrazione di talenti

internazionali e l'accelerazione della crescita economica. Inoltre, l'innovazione ha contribuito a diversificare l'economia cinese, riducendo la dipendenza dalle industrie tradizionali e stimolando la crescita di settori ad alta tecnologia.

Tuttavia, è importante precisare che gli investimenti in innovazione, sebbene cruciali, da soli non garantiscono necessariamente una crescita economica. Questi investimenti devono essere accompagnati da adeguate politiche governative e da altri fattori altrettanto importanti, come la stabilità economica e politica di una nazione.

## **1.2 - L'innovazione nel contesto storico**

I bisogni sono uno degli stimoli principali che conducono all'acquisizione di conoscenza, innescando in questo modo il processo innovativo. Questo aspetto è evidente quando si studia la storia umana. L'uomo, per affrontare la necessità di riscaldarsi e avere illuminazione durante le notti, ha scoperto un modo di sfruttare il fuoco. Questo processo di scoperta si è ripetuto molte volte durante la nostra storia.

Un classico esempio che ha dimostrato in modo evidente gli impatti positivi dell'innovazione nell'economia è la rivoluzione industriale. In questo fenomeno si è assistito all'introduzione di diversi miglioramenti e tecnologie nel processo produttivo, rendendolo più efficiente e di conseguenza più produttivo.

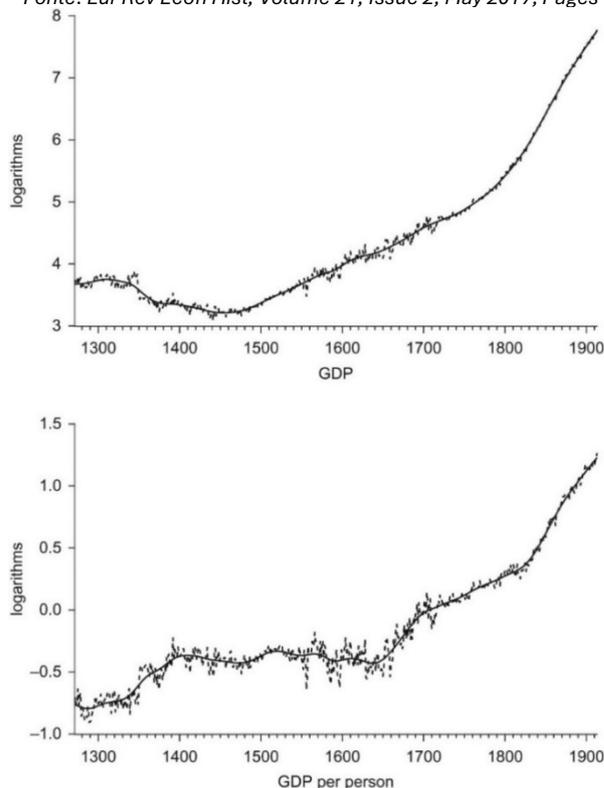
La rivoluzione industriale rappresenta un punto di svolta nella storia umana, dato che grazie alle nuove invenzioni come il motore a vapore, le ferrovie e le macchine tessili, si inizia a sostituire il lavoro umano nella produzione. Tale processo di sostituzione verrà intensificato nel corso della storia, infatti, oggi lavori che prima venivano prevalentemente svolti dalla manodopera umana sono svolti dalle macchine.

Analizzare i dati relativi all'andamento dell'economia dell'Inghilterra prima e dopo la rivoluzione industriale ci consente di avere un quadro generale degli impatti delle innovazioni nell'economia inglese.

In base ai dati forniti dal libro *'European Review of Economic History'* pubblicato nel 2017 dalla *Oxford Academic*, è possibile realizzare un'analisi delle serie temporali per comprendere meglio le dinamiche storiche della crescita economica. Nel libro si sostiene che *"La crescita può essere considerata come un processo stazionario e segmentato. Su questa base, troviamo che la crescita tendenziale del PIL reale pro-capite era pari a zero prima del 1660, ma poi subì due accelerazioni significative, prima e dopo la rivoluzione industriale."* (Crafts, Mills, 2017).

**Figura 1: PIL e PIL pro-capite dell'Inghilterra tra 1270 e 1913**

Fonte: *Eur Rev Econ Hist*, Volume 21, Issue 2, May 2017, Pages 141–158



Il grafico presentato nella figura 1 mostra l'andamento del PIL e del PIL pro-capite dell'Inghilterra tra il 1270 e il 1913, tracciati in scala logaritmica. La prima parte del grafico illustra il PIL totale, mentre la seconda parte rappresenta il PIL pro-capite. Osservando il periodo compreso tra il 1300 e il 1900, si nota un significativo cambiamento nel tasso di crescita economica.

Nella prima fase, che copre all'incirca dal 1300 al 1600, il PIL totale presenta una crescita piuttosto modesta e irregolare, riflettendo un periodo caratterizzato da economia agricola e tecnologie rudimentali. Allo stesso modo, il PIL pro-capite mostra una tendenza stabile, con poche fluttuazioni. Questo periodo di stagnazione economica è indicativo di un'epoca preindustriale, dove l'innovazione tecnologica era limitata e le economie erano prevalentemente basate sull'agricoltura.

Con l'inizio del XVII secolo, il grafico evidenzia un leggero aumento nel PIL totale, che diventa più evidente verso la fine del XVIII secolo. Questo periodo segna l'avvento della Rivoluzione Industriale, un'era di straordinarie innovazioni tecnologiche e cambiamenti sociali. L'introduzione di macchine a vapore, la meccanizzazione dell'industria tessile e l'espansione delle infrastrutture di trasporto, come ferrovie e canali, hanno radicalmente trasformato l'economia inglese. La crescita del PIL totale riflette questa trasformazione, evidenziando come l'innovazione tecnologica possa stimolare la crescita economica su larga scala.

Parallelamente, il PIL pro-capite inizia a mostrare una crescita significativa a partire dal XVIII secolo, con un'accelerazione evidente nel XIX secolo. Questo aumento non solo rappresenta la crescita economica generale, ma anche un miglioramento del benessere individuale. Le innovazioni tecnologiche e industriali non solo hanno aumentato la produttività, ma hanno anche portato a una maggiore disponibilità di beni e servizi, migliorando la qualità della vita per gran parte della popolazione.

La crescita continua e accelerata del PIL e del PIL pro-capite nel XIX secolo sottolinea ulteriormente l'importanza dell'innovazione come motore dello sviluppo economico. L'industrializzazione ha portato a una maggiore efficienza nella produzione e a nuovi settori economici, favorendo una crescita senza precedenti. Inoltre, l'urbanizzazione e l'espansione del commercio internazionale hanno ulteriormente stimolato l'economia, creando un ciclo virtuoso di crescita e innovazione (Crafts, Mills, 2017).

## CAPITOLO 2

### LE FONTI DELL'INNOVAZIONE

Nella sezione precedente, abbiamo discusso dell'innovazione nel contesto storico e degli impatti causati sulla crescita economica. In questo capitolo, ci concentreremo sulle fonti dell'innovazione, ovvero gli strumenti che possono essere influenzati per supportare ulteriori aumenti del livello di innovazione.

#### 2.1 La Ricerca e Sviluppo (R&S)

La ricerca e sviluppo (R&S) è una fonte essenziale per la contribuzione dell'aumento dell'innovazione. Possiamo distinguere due tipologie di investimenti in questo ambito:

- **R&S Pubblica:** Comprende gli investimenti in ricerca e sviluppo effettuati dai governi o enti pubblici. Questa forma di investimento è spesso indirizzata verso grandi questioni di interesse pubblico, come la salute, l'ambiente e la difesa, e può includere sia ricerca di base che applicata.

La ricerca pubblica è vista come un motore di innovazione a lungo termine che può indurre benefici più ampi a tutta la società, anche se i ritorni possono essere meno diretti e immediati rispetto alla ricerca privata. Il principale obiettivo degli investimenti in ricerca pubblica è quello di colmare le lacune che il settore privato potrebbe ignorare a causa dell'insufficiente ritorno economico. Quindi, lo Stato interviene, occupandosi di questi settori che, pur non portando un ritorno economico diretto, sono essenziali per il benessere della popolazione.

- **R&S Privata:** Comprende gli investimenti in ricerca e sviluppo da parte di aziende private e si concentra principalmente sullo sviluppo di nuovi prodotti e tecnologie che possono generare un ritorno economico diretto per l'azienda. In questo caso, l'investimento tende a essere più orientato verso applicazioni commerciali immediate.

La ricerca privata è guidata dal profitto e dalla competitività di mercato. Gli investimenti sono spesso più rischiosi, ma possono portare a innovazioni rivoluzionarie che possono trasformare interi settori, contribuendo significativamente alla crescita economica e all'occupazione.

Nonostante si abbia una distinzione tra ricerca pubblica e ricerca privata, entrambe sono complementari e interagiscono tra di loro. La ricerca pubblica può stimolare ulteriori investimenti da parte del settore privato attraverso la creazione di conoscenza e tecnologia di base che le aziende private possono poi commercializzare. Inoltre, gli investimenti in ricerca pubblica supportano l'istruzione e la formazione che alimentano la forza lavoro qualificata necessaria per la ricerca privata (Izunwanne, 2009).

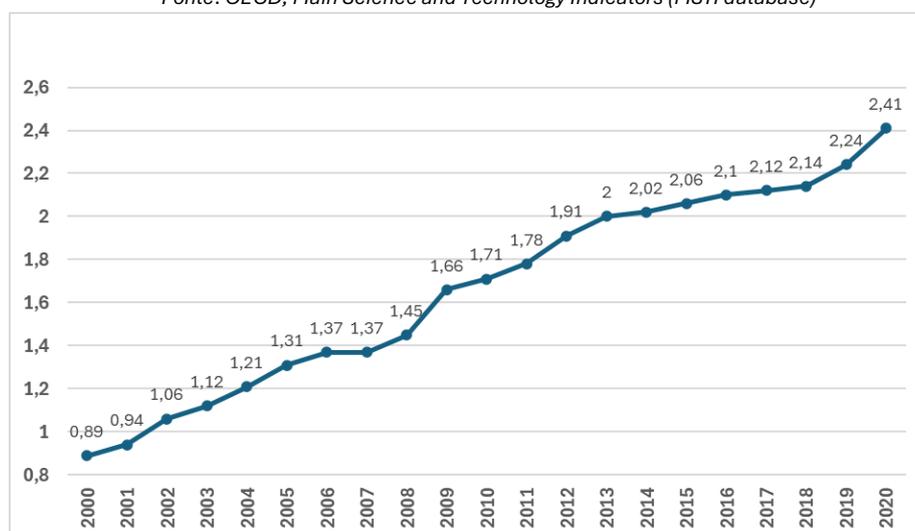
Nell'ambito della ricerca e sviluppo sono essenziali politiche e incentivi che aiutino a modellare e agevolare la ricerca. Per esempio, incentivi fiscali, sovvenzioni e regolamentazioni che possono influenzare il livello e la direzione degli investimenti in ricerca e sviluppo (R&S) sia nel settore pubblico che in quello privato.

## 2.1.2 La ricerca e sviluppo (R&D) in Cina

Nel capitolo uno, si è citato la Cina come esempio di ascensione economica legata a massicci e mirati investimenti in ricerca e sviluppo. In questa sezione, si analizza questo aspetto attraverso dei grafici.

**Figura 2: Spesa interna lorda in R&S (in percentuale del PIL) della Cina**

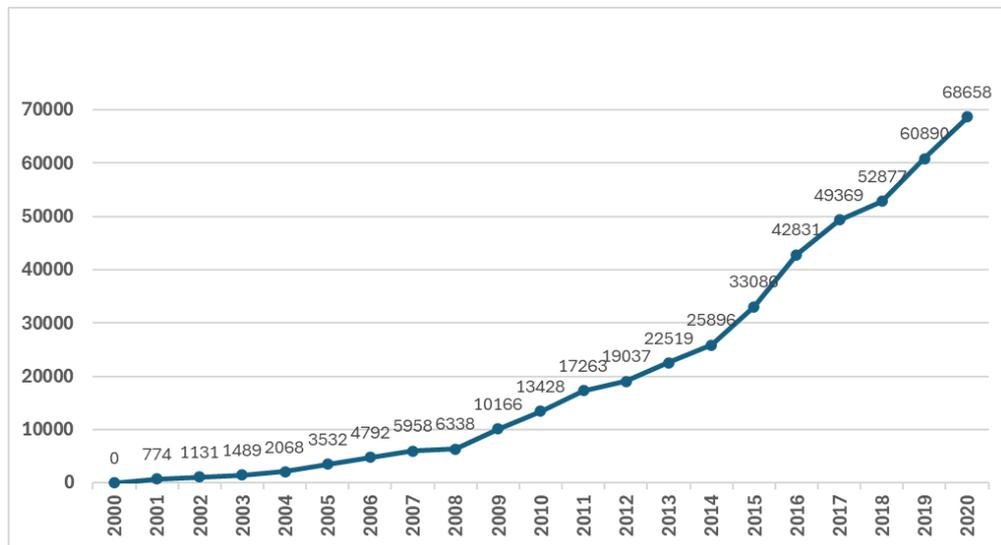
Fonte: OECD, Main Science and Technology Indicators (MSTI database)



La figura 2 si riferisce alla spesa interna lorda in ricerca e sviluppo della Cina in percentuale del PIL, che è aumentata da circa 0,90% nel 2000 a 2,41% nel 2020. Questo incremento dimostra un impegno crescente nella R&S, con investimenti che aumentano in termini sia assoluti sia relativi al PIL. Un tale investimento è indicativo di un'economia che sta cercando di basarsi su un modello di crescita guidato dall'innovazione. La crescita della spesa mostra un investimento strategico da parte del governo e delle imprese nella creazione di un ecosistema innovativo, supportando sia istituzioni accademiche sia industrie private nel perseguire la ricerca avanzata (OECD, 2023).

**Figura 3: Domande internazionali di brevetto (PCT) in Cina**

Fonte: OECD, Main Science and Technology Indicators (MSTI database)



Il PCT è un trattato internazionale in materia di brevetti che ha lo scopo di facilitare la richiesta di protezione per un'invenzione simultaneamente in più paesi. La figura 3 mostra un aumento sostanziale nel numero di domande di brevetto sotto il PCT dalla Cina dal 2000 al 2020. Il numero è cresciuto da circa 774 domande nel 2000 a circa 68,655 nel 2020. Questo aumento indica una forte espansione dell'attività innovativa e di ricerca industriale in Cina. Può anche riflettere una crescente enfasi sulle proprietà intellettuali e sulla protezione dei risultati della ricerca a livello internazionale.

L'aumento delle domande di brevetto PCT suggerisce un'intenzione di competere sui mercati globali, proteggendo le invenzioni cinesi in molteplici giurisdizioni internazionali. Questo può essere visto come un tentativo di posizionarsi favorevolmente in un'economia globale sempre più basata sulla conoscenza e l'innovazione.

Le figure 2 e 3 non solo mostrano una crescita sostanziale nei due ambiti, ma implicano anche una dinamica interdipendente tra investimento in ricerca e sviluppo e la capacità di generare output innovativi misurabili attraverso i brevetti.

Questo è indicativo di un'economia che valorizza e promuove attivamente la scienza e la tecnologia come motori di crescita e competitività internazionale.

## **2.2 Il capitale umano**

Definiamo il capitale umano come l'insieme di conoscenze, abilità, competenze e capacità possedute negli individui. L'istruzione è considerata uno degli investimenti più significativi in capitale umano. Gioca un ruolo vitale nel processo di crescita economica. In particolare, l'istruzione assume diversi ruoli specifici e importanti:

- 1. Promotore di Innovazione Tecnologica:** L'istruzione superiore, soprattutto quella orientata alla ricerca e ai settori ad alta qualificazione come scienza e ingegneria, è cruciale per stimolare l'innovazione tecnologica. Questo tipo di istruzione aumenta la capacità di un paese di essere all'avanguardia nelle tecnologie emergenti, che a loro volta possono spingere la crescita economica attraverso nuove invenzioni e miglioramenti della produttività.
- 2. Facilitatore di Imitazione Tecnologica:** L'istruzione può anche favorire l'imitazione tecnologica, particolarmente in contesti meno sviluppati, attraverso la formazione di una forza lavoro che, pur non essendo altamente specializzata come quella necessaria per l'innovazione pura, è sufficientemente qualificata per adottare e adattare tecnologie esistenti provenienti da contesti più avanzati. Questo tipo di educazione supporta la crescita migliorando l'efficienza e l'adozione tecnologica.
- 3. Strumento di Crescita Economica:** L'istruzione è vista come un investimento critico che può produrre ritorni economici significativi, sia direttamente, aumentando la produttività del lavoro, sia indirettamente, attraverso effetti esterni come una maggiore innovazione e una migliore coesione sociale. Gli investimenti nell'istruzione possono generare un circolo virtuoso di crescita economica e ulteriori miglioramenti educativi.

#### **4. Variabilità degli Effetti a Seconda della Prossimità alla Frontiera**

**Tecnologica:** Gli effetti dell'istruzione sulla crescita possono variare a seconda di quanto un paese o una regione sia vicina alla frontiera tecnologica globale. Le regioni più vicine alla frontiera possono trarre maggiori benefici dall'istruzione avanzata, mentre quelle più lontane possono trovare più vantaggi nell'istruzione che facilita l'imitazione.

Per ottimizzare gli effetti dell'istruzione nell'economia, è opportuno saper diversificare gli investimenti, tenendo in considerazione le specificità economiche e tecnologiche dell'economia considerata (Gerguri, Shqipe and Ramadani, Veland, 2010).

### **2.3 Cluster tecnologico**

I cluster tecnologici sono aree geografiche specifiche, dove si concentra un'alta densità di imprese, start-up, centri di ricerca, università e altre organizzazioni che operano nel campo della tecnologia e dell'innovazione. Queste zone si caratterizzano per un ambiente ricco di risorse, competenze e opportunità di collaborazione, che favoriscono lo sviluppo e la crescita delle tecnologie avanzate. Le principali caratteristiche sono: la concentrazione di talenti, sono aree che tendono ad attirare soggetti altamente qualificati di tutto il mondo. Inoltre, i cluster tecnologici dispongono di infrastrutture e servizi specializzati, come parchi tecnologici, incubatori di imprese, e acceleratori, che forniscono il supporto necessario per la crescita delle aziende.

Un esempio famoso di successo è la Silicon Valley, USA. È il fulcro di importanti aziende tecnologiche come Google, Apple, Facebook e migliaia di start-up. I cluster tecnologici sono ecosistemi vitali per l'avanzamento tecnologico e il progresso economico, svolgendo un ruolo cruciale nel plasmare il futuro di diverse industrie e dell'economia globale.



## CAPITOLO 3

# LA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

La quarta rivoluzione industriale, detta anche industria 4.0, è un termine popolarizzato da Klaus Schwab, fondatore del *World Economic Forum* e autore del libro *'The Fourth Industrial Revolution'*. Il termine indica una serie di cambiamenti profondi e interconnessi nei settori della tecnologia, economia, industria e società. La quarta rivoluzione industriale rappresenta un'evoluzione naturale del percorso iniziato con le tre grandi rivoluzioni industriali precedenti, che permisero la creazione e l'idealizzazione di nuove tecnologie che oggi sono le basi per il continuo avanzo tecnologico.

### 3.1 Le tecnologie chiavi nella quarta rivoluzione industriale

L'Industria 4.0 si propone di migliorare gli ambienti lavorativi superando le limitazioni delle industrie tradizionali attraverso l'impiego di avanzate tecnologie digitali. Il cuore di questa nuova rivoluzione industriale è rappresentato da nove pilastri tecnologici fondamentali:

- 1. Internet delle Cose (IoT):** L'Internet of Things collega macchine, dispositivi e sistemi in modo che possano comunicare tra loro tramite Internet. Questa interconnessione permette la raccolta e lo scambio di dati in tempo reale, ottimizzando i processi produttivi e la manutenzione predittiva.
- 2. Big Data Analytics:** Consiste nell'analisi di grandi volumi di dati, spesso in tempo reale, per identificare tendenze e informazioni utili per prendere decisioni più informate e veloci su scala industriale.

3. **Robotica Autonoma:** I robot autonomi possono operare indipendentemente dagli esseri umani, migliorando l'efficienza e riducendo il rischio per gli operatori umani in ambienti pericolosi. Questi sistemi sono spesso dotati di capacità di apprendimento e adattamento per ottimizzare le loro attività.
4. **Simulazione e Digital Twin:** Utilizzando modelli virtuali di sistemi fisici (Digital Twins), le aziende possono simulare scenari, testare cambiamenti e prevedere problemi prima che accadano, riducendo i tempi e i costi di sviluppo e manutenzione.
5. **Integrazione Verticale e Orizzontale:** Questa tecnologia permette la connessione e l'integrazione di tutti i livelli produttivi e operativi all'interno dell'azienda (verticale) e tra diverse aziende e settori (orizzontale), migliorando la collaborazione, l'efficienza e la flessibilità.
6. **Cybersecurity:** Con l'aumento della connettività, diventa essenziale proteggere i sistemi industriali da attacchi informatici. La cybersecurity nell'Industria 4.0 è fondamentale per proteggere dati sensibili e assicurare la continuità operativa.
7. **Cloud Computing:** Consente alle aziende di utilizzare risorse di calcolo, archiviazione e applicazioni software distribuite tramite Internet, offrendo flessibilità, scalabilità e potenzialità di collaborazione migliorata.
8. **Fabbricazione Additiva (3D Printing):** Questa tecnologia trasforma la produzione digitale in oggetti fisici, strato dopo strato, permettendo la produzione rapida di prototipi e parti su misura con materiali vari, riducendo sprechi e costi.
9. **Realtà Aumentata (AR):** La realtà aumentata offre agli operatori visualizzazioni digitali e istruzioni in tempo reale sovrapposte alla vista del mondo reale, migliorando la manutenzione e l'efficienza operativa.

Queste tecnologie sono interconnesse e si potenziano reciprocamente, spingendo l'industria verso livelli senza precedenti di automazione, personalizzazione ed

efficienza. L'adozione di queste tecnologie da parte delle industrie porta a un cambiamento radicale nel modo in cui i prodotti sono progettati, fabbricati, utilizzati e mantenuti.

### **3.2 L'intelligenza artificiale**

Si ritiene che l'intelligenza artificiale sia uno dei pilastri chiave alla base della quarta rivoluzione industriale e stia cambiando drasticamente i modelli di interazione e le attività economiche delle persone. I tradizionali fattori di produzione, come il capitale fisico e il lavoro, potrebbero non promuovere più una crescita economica sostanziale. Si crede generalmente che l'intelligenza artificiale sarà uno dei fattori più importanti a determinare la crescita economica futura. Tuttavia, a differenza delle macchine tradizionali, che hanno sostituito l'uso del lavoro umano e animale per lavori manuali semplici e attività pesanti o pericolose, gli input legati all'intelligenza artificiale potrebbero cambiare in modo completo il tipo di lavoro umano.

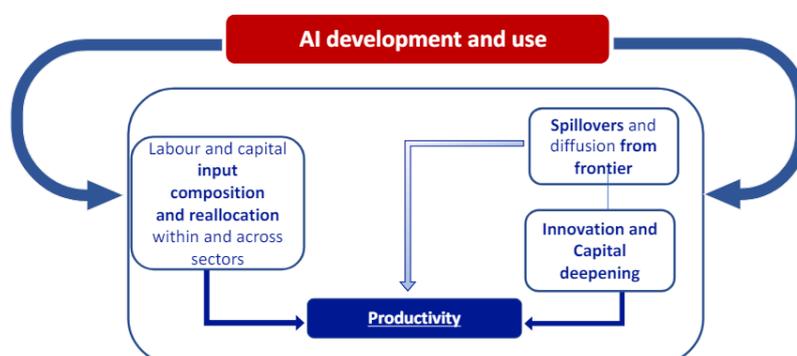
A differenza delle precedenti rivoluzioni industriali, l'IA non comporta semplicemente l'invenzione di una nuova macchina o tecnologia. Invece, l'intelligenza artificiale ha somiglianze con l'accumulo di capitale umano, poiché può apprendere e accumulare conoscenze autonomamente. Questo è reso possibile grazie al machine learning, una tecnologia che consente ai sistemi di migliorare le loro prestazioni attraverso l'esperienza. Il machine learning, o apprendimento automatico, è una branca dell'intelligenza artificiale che si concentra sulla progettazione e sviluppo di algoritmi capaci di apprendere dai dati. Invece di essere programmati esplicitamente per svolgere un compito, questi algoritmi identificano schemi nei dati e li utilizzano per fare previsioni o prendere decisioni. Ciò permette ai sistemi di IA di adattarsi e migliorare nel tempo, aumentando la loro efficacia e precisione in una vasta gamma di applicazioni.

Un ulteriore passo avanti in questo campo è rappresentato dal deep learning, che rende l'IA ancora più potente, permettendo capacità avanzate come il riconoscimento delle immagini, la comprensione del linguaggio naturale e molto altro. Questo progresso tecnologico rafforza ulteriormente il concetto di IA e le sue straordinarie capacità di apprendimento e adattamento (OECD, 2023).

### 3.3 L'impatto dell'intelligenza artificiale nella produttività

L'intelligenza artificiale può essere implementata e utilizzata in numerosi settori economici, riducendo il tempo e i costi delle operazioni e aumentando così la produttività. Un recente studio pubblicato dall'OCSE esamina dettagliatamente questo fenomeno, l'articolo *'The impact of Artificial Intelligence on productivity, distribution and growth'* considera l'IA come un investimento in conoscenza che può diventare una fonte diretta di crescita della produzione come parte del capitale intangibile. Questo meccanismo può essere spiegato attraverso la figura 4:

**Figura 4: L'Intelligenza artificiale e la produttività**



La figura 4 mostra come lo sviluppo e l'uso dell'intelligenza artificiale influenza la produttività aggregata a lungo termine attraverso diversi canali principali. Al centro del processo c'è lo sviluppo e l'utilizzo dell'IA, che è rappresentato come il punto di partenza e la forza trainante del miglioramento della produttività.

L'intelligenza artificiale cambia il modo in cui vengono distribuite e utilizzate le risorse umane e finanziarie nelle industrie. Inoltre, ha la capacità di favorire gli spillover tecnologici, ovvero il trasferimento di conoscenze e tecnologie avanzate dalle aziende leader al resto dell'economia. Questo processo di diffusione tecnologica contribuisce a migliorare la produttività in modo più ampio.

L'intelligenza artificiale stimola l'innovazione e aumenta gli investimenti per lavoratore, portando nuove tecnologie e miglioramenti nei processi produttivi. Questi cambiamenti, insieme alla migliore distribuzione delle risorse e al trasferimento di tecnologie, migliorano la produttività complessiva

Infine, la figura evidenzia che un aumento della produttività può ulteriormente stimolare lo sviluppo e l'uso dell'IA, creando un ciclo virtuoso di miglioramento continuo. In breve, lo sviluppo e l'uso dell'intelligenza artificiale porta a miglioramenti nella composizione e nella riallocazione degli input, all'innovazione e all'approfondimento del capitale, e alla diffusione tecnologica. Tutti questi fattori contribuiscono all'aumento della produttività, che a sua volta stimola ulteriormente lo sviluppo e l'uso dell'intelligenza artificiale.

Nonostante il grande potenziale dell'uso e dello sviluppo dell'intelligenza artificiale per aumentare la produttività, esistono diverse sfide per garantire che questo processo sia continuo. Una delle preoccupazioni principali è che l'IA potrebbe aumentare le disuguaglianze economiche e sociali. I benefici della maggiore produttività potrebbero finire nelle mani di poche grandi aziende tecnologiche, lasciando indietro le piccole imprese e i lavoratori meno qualificati. L'automazione di compiti e lavori da parte dell'IA potrebbe portare a significative perdite di posti di lavoro in alcuni settori, specialmente per i lavori ripetitivi e manuali. Questo richiederebbe importanti programmi di riqualificazione e formazione per i lavoratori che perdono il lavoro.

Anche se l'intelligenza artificiale ha molto potenziale, la sua adozione è ancora limitata e varia molto tra diversi settori e aziende. Ci sono diverse barriere che ne impediscono l'adozione, come i costi iniziali elevati, la mancanza di competenze tecniche, infrastrutture inadeguate e resistenza al cambiamento tecnologico. La concentrazione dello sviluppo dell'IA in poche grandi aziende tecnologiche può ridurre la concorrenza e limitare l'innovazione, portando a un potere di mercato eccessivo, che potrebbe essere dannoso per il mercato nel lungo periodo.

L'implementazione dell'intelligenza artificiale solleva anche questioni etiche complesse. È necessaria una regolamentazione adeguata per garantire che lo sviluppo e l'uso dell'IA siano etici e conformi alle normative esistenti. La rapida evoluzione dell'intelligenza artificiale pone anche sfide significative per la governance, poiché le autorità devono sviluppare e implementare normative flessibili e adattabili che possano affrontare i cambiamenti rapidi delle tecnologie IA. Per cui è essenziale affrontare queste sfide con politiche e strategie mirate per garantire che i benefici siano equamente distribuiti e che i rischi associati siano gestiti in modo efficace (Filippucci, Gal, Lasinio, 2024).

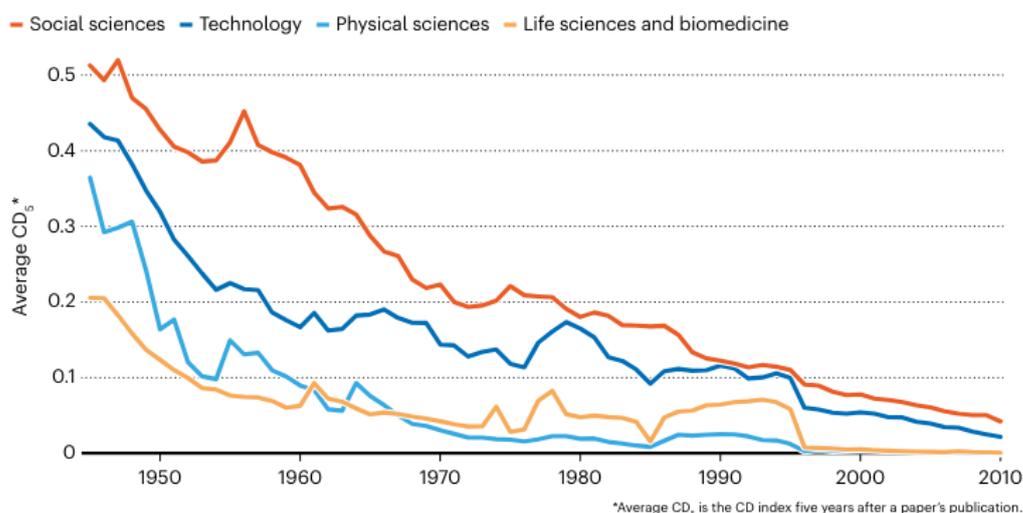
### **3.4 il futuro dell'innovazione**

Negli ultimi decenni, nonostante l'esplosione di nuove conoscenze scientifiche e tecnologiche, si è osservato un fenomeno preoccupante, il declino dell'innovazione. Tradizionalmente, la scienza e la tecnologia sono state viste come processi endogeni, dove la conoscenza accumulata in precedenza permette futuri progressi. Tuttavia, studi recenti suggeriscono che il ritmo del progresso stia rallentando in vari campi chiave. Questo è un paradosso, dato che la crescente quantità di informazioni disponibili dovrebbe teoricamente facilitare avanzamenti significativi.

Il fenomeno del declino dell'innovazione è particolarmente preoccupante poiché implica una riduzione della capacità della scienza e della tecnologia di generare

scoperte e invenzioni che possono rivoluzionare i campi di applicazione esistenti e aprirne di nuovi. Nonostante il numero assoluto di articoli e brevetti rimanga relativamente stabile, la tendenza generale è quella di un'innovazione meno rivoluzionaria, suggerendo che le pratiche attuali di produzione scientifica e tecnologica potrebbero necessitare di un ripensamento per invertire questa tendenza.

**Figura 5: Il declino dell'innovazione**



Fonte: Park, M., Leahey, E. & Funk, R. J. *Nature* 613, 138–144 (2023)

La figura 5 illustra il declino della capacità degli articoli scientifici di introdurre innovazioni dirompenti in vari campi della scienza nel corso del tempo. Utilizzando un indice chiamato CD Index, che varia da 1 per i lavori più dirompenti a -1 per quelli meno dirompenti. Il grafico mostra una tendenza decrescente nell'innovatività dirompente in quattro grandi aree: scienze sociali, tecnologia, scienze fisiche e scienze della vita e biomedicina, dal 1945 al 2010 (Kozlov, 2023). Nel dettaglio, si osserva che le scienze sociali e la tecnologia avevano valori inizialmente elevati di innovatività dirompente intorno al 1950, con un CD Index medio di circa 0.5. Tuttavia, questa capacità è diminuita drasticamente nel corso dei decenni, raggiungendo valori prossimi allo zero verso il 2010. Una tendenza simile

è visibile anche nelle scienze fisiche, che partivano da valori mediamente inferiori rispetto alle scienze sociali ma hanno seguito una traiettoria discendente comparabile. Scienze e biomedicina, pur partendo da un livello inferiore di innovazione dirompente rispetto alle altre aree, mostrano anch'esse una riduzione continua nel tempo, stabilizzandosi su valori molto bassi alla fine del periodo osservato.

Questo declino generale dell'innovatività dirompente è attribuito a diversi fattori, tra cui un uso sempre più ristretto della conoscenza pregressa e una crescente dipendenza da conoscenze consolidate. Gli scienziati e gli inventori tendono a citare un numero più limitato di lavori precedenti e si affidano maggiormente a conoscenze già note, riducendo così la diversità delle fonti di conoscenza utilizzate. Inoltre, l'espansione esponenziale del numero di pubblicazioni e brevetti ha creato un "carico di conoscenza" che rende difficile per i ricercatori assimilare e utilizzare efficacemente tutte le nuove informazioni disponibili. Questo sovraccarico porta a una maggiore dipendenza da conoscenze familiari e consolidate. Infine, le pratiche di produzione scientifica e tecnologica attuali potrebbero non favorire l'emergere di idee veramente innovative, concentrandosi troppo sulla produzione di nuovi lavori a scapito della lettura e della comprensione approfondita delle conoscenze esistenti.

Il fenomeno del declino dell'innovazione viene citato in diversi studi, tra cui nel documento *'The past and future of economic growth: a semi-endogenous perspective'* di Charles I. Jones (2022), che realizza un'analisi concentrata sullo studio della crescita economica da una prospettiva semi-endogena, nella quale si sostiene che la crescita economica di lungo termine sia prodotta del tasso di crescita dello sforzo di ricerca e del grado di rendimenti crescenti. Nel documento si evidenzia come, negli ultimi cinquant'anni, la crescita economica negli Stati Uniti abbia superato il tasso di lungo periodo grazie a fattori come l'aumento dell'istruzione, la riduzione delle allocazioni inefficienti e l'intensificazione della

ricerca a livello globale. Questi fattori hanno contribuito significativamente alla crescita economica, ma il documento suggerisce che tale crescita potrebbe rallentare significativamente in futuro a causa di vari fattori, tra cui il rallentamento dell'aumento delle capacità di ricerca e alla diminuzione della crescita della popolazione, offrendo uno scenario di crescita economica più moderato nel futuro. Nello studio realizzato da Charles I. Jones, si elencano alcune possibili soluzioni per superare il rallentamento dell'aumento delle capacità di ricerca:

- **Automazione della produzione delle idee:** L'automazione può svolgere un ruolo cruciale nell'aumentare il tasso di crescita dell'economia. Se una frazione maggiore dei compiti di ricerca viene automatizzata, il tasso di crescita può aumentare significativamente.
- **Intelligenza Artificiale (IA):** Un'estrema versione dell'automazione è rappresentata dall'intelligenza artificiale generale (AGI), dove le macchine potrebbero sostituire gli esseri umani in tutti i compiti. Questo potrebbe portare a una crescita della conoscenza e dei redditi, assumendo che sia possibile raggiungere una produttività infinita.
- **Aumento della popolazione di ricercatori:** Espandere il pool di ricercatori, inclusi quelli provenienti da paesi in via di sviluppo e includendo più donne nella ricerca, potrebbe moltiplicare significativamente il numero di inventori e aumentare il tasso di scoperta di nuove idee.
- **Miglioramento dell'efficienza nella diffusione delle idee:** La diffusione delle idee a livello internazionale può aiutare a mantenere la crescita. Per esempio, la crescita nei paesi beneficia delle idee create in tutto il mondo.
- **Educazione e capitale umano:** Anche se l'aumento del livello di istruzione è transitorio, storicamente ha contribuito significativamente alla crescita economica.



## CONCLUSIONE

In conclusione, il presente lavoro di tesi ha esplorato l'importanza cruciale dell'innovazione per la crescita economica, analizzando le sue diverse sfaccettature e fonti. L'innovazione si rivela non solo come un fattore determinante per il miglioramento della produttività e del benessere economico, ma anche come un motore di trasformazione sociale e tecnologica. Attraverso un'analisi storica, è emerso come periodi di intensa innovazione, come la rivoluzione industriale, abbiano segnato svolte significative nella storia economica, portando a un aumento sostenuto della produttività e a miglioramenti sostanziali delle condizioni di vita.

Le fonti dell'innovazione, inclusa la ricerca e sviluppo (R&S), il capitale umano e i cluster tecnologici, giocano un ruolo fondamentale nel promuovere il progresso tecnologico. Gli investimenti in R&S, sia pubblici che privati, sono essenziali per stimolare l'innovazione e aumentare la competitività economica, come dimostrato dall'esempio della Cina. Il capitale umano, attraverso un'istruzione e una formazione di alta qualità, fornisce le competenze necessarie per sviluppare nuove idee e adattarsi rapidamente ai cambiamenti tecnologici. I cluster tecnologici, come la Silicon Valley, creano ecosistemi favorevoli all'innovazione, facilitando la collaborazione e l'accesso a risorse specializzate.

La quarta rivoluzione industriale rappresenta un nuovo paradigma nel panorama dell'innovazione, con tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale, l'Internet delle Cose, e la robotica autonoma che promettono di rivoluzionare i modelli economici tradizionali. L'adozione di queste tecnologie offre enormi potenziali benefici in termini di aumento della produttività e creazione di nuove opportunità economiche, ma solleva anche sfide significative, come il rischio di aumentare le disuguaglianze e le questioni etiche e regolatorie.

Un punto critico emerso dalla tesi è il fenomeno del declino dell'innovazione, nonostante l'aumento esponenziale delle conoscenze scientifiche e tecnologiche. Questo paradosso suggerisce la necessità di un ripensamento delle attuali pratiche di produzione scientifica e tecnologica per favorire la scoperta di nuove idee rivoluzionarie. L'automazione della ricerca, l'espansione del pool di ricercatori e il miglioramento della diffusione delle idee sono strategie chiave per affrontare questo problema e sostenere una crescita economica continua.

## BIBLIOGRAFIA

Jones Charles I. (2022), *The Past and Future of Economic Growth: A Semi-Endogenous Perspective*, Annual Reviews.

Kozlov Max (2023), *Disruptive science has declined — and no one knows why*, Nature.

Nicholas Crafts, Terence C. Mills (2017), *European Review of Economic History*, Oxford academic.

OECD (2023), *Main Science and Technology Indicators* (MSTI database).

Park, M., Leahey, E. & Funk, R.J. (2023), *Papers and patents are becoming less disruptive over time*. Nature.

Filippucci, Gal, Lasinio, (2024), *The impact of artificial intelligence on productivity, distribution and growth*. OECD Publishing.

Izunwanne, (2009), *The Impact of Research and Development on Economic growth*, NHH Brage.

Bellotti, Selmi, (2020), *Il ruolo dell'innovazione nel favorire la crescita*, Zanichelli.

Gerguri, Shqipe and Ramadani, Veland (2010), *The Impact of Innovation into the Economic Growth*, University Library of Munich.

OECD (2023), *Artificial Intelligence in Science: Challenges, Opportunities and the Future of Research*, OECD Publishing.

Romer, P. M. (2007). *Economic Growth*. In D. R. Henderson (Ed.), *The Concise Encyclopedia of Economics* (pp. 1-6). Indianapolis: Liberty Fund.