



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea triennale in Economia e Commercio

**INNOVAZIONE TECNOLOGICA: DALLE RIVOLUZIONI
INDUSTRIALI ALL’INTELLIGENZA ARTIFICIALE**

**TECHNOLOGICAL INNOVATION: FROM THE INDUSTRIAL
REVOLUTIONS TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Relatore:

Prof. Roberto Giulianelli

Rapporto Finale di:

Albion Musaj

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

INTRODUZIONE	4
CAPITOLO 1 – LE ORIGINI DELL’INNOVAZIONE TECNOLOGICA: LA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE	6
1.1 IL CONTESTO STORICO DEL XVIII SECOLO	6
1.1.1 La prima rivoluzione industriale.....	8
1.1.2 L’illuminismo come fondamento culturale.....	10
1.1.3 Le innovazioni tecnologiche nel settore tessile e la macchina a vapore ..	11
1.2 IMPATTI ECONOMICI E SOCIALI.....	13
CAPITOLO 2 – DALLA SECONDA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE ALLA RIVOLUZIONE INFORMATICA	15
2.1 SIDERURGIA E CHIMICA	15
2.2 L’ELETTRICITÀ E IL MOTORE A SCOPPIO	18
2.3 LA PRODUZIONE DI MASSA E I NUOVI MODELLI ORGANIZZATIVI..	20
2.3.1 Taylorismo	20
2.3.2 Fordismo.....	22
2.4 CENNI INTRODUTTIVI SUL XX SECOLO	23
CAPITOLO 3 – DALLA RIVOLUZIONE DIGITALE ALL’INTELLIGENZA ARTIFICIALE	25
3.1 I PRIMI COMPUTER E LA NASCITA DELL’INFORMATICA.....	26
3.1.1 Il personal computer	27
3.1.2 L’avvento di internet e il World Wide Web	29
3.2 LE ORIGINI DELL’IA	31
3.3 DATI, MACHINE LEARNING E CHATGPT	33
3.4 IMPATTI ECONOMICI E SOCIALI DELL’IA	35

CONCLUSIONI 38

BIBLIOGRAFIA 40

INTRODUZIONE

Dalla seconda metà del Settecento il mondo ha attraversato una serie di cambiamenti tecnologici capaci di stravolgere non soltanto i processi produttivi, ma anche le strutture sociali, i rapporti di lavoro e la visione del futuro. L'obiettivo di questa tesi è quello di offrire una lettura storica ed economica delle principali tappe del cambiamento tecnologico, partendo dalle origini della Rivoluzione Industriale nel Settecento fino agli sviluppi più recenti dell'intelligenza artificiale.

Il primo capitolo analizzerà le condizioni storiche economiche e culturali che hanno reso possibile la Prima Rivoluzione Industriale in Gran Bretagna. Partendo dal sistema proto-industriale e dal contesto illuminista, saranno osservate le principali innovazioni tecnologiche del periodo, dal settore tessile alla macchina a vapore di James Watt, con i conseguenti impatti economici e sociali sulla popolazione e sulle città.

Il secondo capitolo sarà dedicato alla Seconda Rivoluzione Industriale, esaminando i progressi nell'ambito della siderurgia e della chimica, l'affermazione dell'elettricità e del motore a combustione interna e l'introduzione di nuovi modi di organizzare la produzione, come il Taylorismo e il Fordismo. Il capitolo si concluderà con le trasformazioni tecnologiche della prima metà del Novecento, accelerate dai due conflitti mondiali.

Il terzo e ultimo capitolo sarà dedicato alla rivoluzione digitale e all'intelligenza artificiale. Qui in particolare si ripercorreranno le origini dell'informatica, la nascita del personal computer, l'avvento di internet e del World Wide Web, fino ad arrivare al machine learning e a ChatGPT. Il capitolo si chiuderà con una riflessione sugli impatti economici e sociali che l'IA sta producendo, in particolare alle trasformazioni del mercato del lavoro e ai cambiamenti nei settori della medicina, del diritto e della finanza.

La tesi di fondo dello studio è che comprendere il passato tecnologico è un requisito fondamentale per affrontare con consapevolezza le trasformazioni presenti e future.

CAPITOLO 1

LE ORIGINI DELL'INNOVAZIONE TECNOLOGICA: LA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

1.1 IL CONTESTO STORICO DEL XVIII SECOLO

Per comprendere le fondamenta dell'innovazione tecnologica moderna è necessario compiere un salto temporale di quasi tre secoli, fino ad arrivare al panorama economico dell'Europa del Settecento. In questo paesaggio si iniziò a coniare un nuovo termine, quello della protoindustrializzazione. In questo contesto diverse regioni europee facevano affidamento, quasi esclusivamente, sull'agricoltura. Nelle campagne si diffuse un particolare modello di organizzazione della produzione manifatturiera, noto come sistema a domicilio. Il sistema era composto da un mercante-imprenditore che forniva le materie prime, gestiva e supervisionava il lavoro dei contadini a domicilio. La forza lavoro era solitamente rurale ed era composta prevalentemente da marito moglie e figli. Un esempio fu l'industria del lino nelle Fiandre, dove la lavorazione avveniva nelle case di campagna e la produzione era organizzata da imprenditori di Gand e di altri centri commerciali che ne esportavano i prodotti verso mercati lontani.¹

La protoindustrializzazione si diffuse nelle industrie dei beni di prima necessità, in particolare al settore tessile, dove la manodopera non era particolarmente specializzata. Nelle aree urbane la produzione era affidata agli artigiani. Il sistema artigianale si strutturava in una maniera in cui al vertice vi era il maestro, o artigiano, il quale era il proprietario della bottega e responsabile dell'intero processo produttivo. Spesso accanto

¹ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.218.

al maestro operava anche l'apprendista, figura priva di retribuzione che in cambio acquisiva le competenze necessarie per avviare in futuro una propria attività.

Accanto alle botteghe artigiane si svilupparono le corporazioni di arti e mestieri. Si trattava di organizzazioni collettive che avevano il compito di regolare l'attività produttiva all'interno del contesto urbano attraverso una serie di norme generali, tenute per iscritto, che stabilivano la quantità, la qualità e il prezzo dei prodotti. Si occupavano inoltre di controllare gli standard qualitativi degli stessi, di regolare i rapporti tra artigiani in caso di controversie e di definire i tempi e le modalità dell'apprendistato. L'obiettivo delle corporazioni era quello di mantenere un equilibrio all'interno del contesto urbano, gestendo il mercato e garantendo il rispetto delle norme che regolavano l'attività produttiva.

Questi sistemi produttivi iniziarono a mostrare i propri limiti nel corso del Settecento. Il putting-out system, anche se era ampiamente diffuso, non riusciva a rispondere in maniera adeguata al continuo aumento della domanda; per quanto riguarda le corporazioni, la loro complessa regolamentazione ostacolava l'innovazione piuttosto che favorirla. Fu proprio in questa situazione che prese forma un nuovo modo di organizzare la produzione: la manifattura, guidata dalla figura dell'imprenditore, che accentrava sotto di sé la forza lavoro e i mezzi di produzione, gettando le basi per la nascita del sistema fabbrica. Un sistema che avrebbe trasformato radicalmente i ritmi, i tempi e le modalità del lavoro, aprendo la strada a quel processo di trasformazione economica e sociale che prende il nome di Rivoluzione Industriale.

1.1.1 La prima rivoluzione industriale

Come accennato in precedenza, la Rivoluzione Industriale è stato un processo di sviluppo dell'industria, della tecnologia e del modo di produzione, che ha trasformato l'economia, la società e la vita delle persone. È importante sottolineare che essa è principalmente legata alla transizione dal lavoro manuale e dall'economia agricola alla produzione meccanizzata e allo sviluppo industriale. La Rivoluzione Industriale ebbe origine in Gran Bretagna nella seconda metà del Settecento, per poi estendersi progressivamente all'Europa e all'America. Il fatto che l'Inghilterra sia stato il primo paese ad ospitarla non fu frutto del caso, bensì il risultato di una serie di condizioni favorevoli che si trovarono a combinarsi tra loro contemporaneamente: la rivoluzione agricola, la posizione geografica, la stabilità economica, l'espansione coloniale e commerciale e un clima culturale aperto all'innovazione.

Secondo lo storico Ennio De Simone la rivoluzione agraria e quella industriale erano in stretto rapporto tra loro, al punto che la prima influenzò la seconda in quattro modi:

1. *Fornì il sostegno necessario per una popolazione in aumento:* l'aumento della produzione agricola, dovuta all'introduzione di nuove tecniche di coltivazione come il metodo Norfolk, che consisteva nella rotazione quadriennale delle colture di orzo, rape, cereali e trifoglio, sostenne la crescita demografica mantenendo il terreno fertile e produttivo, consentendo a un numero crescente di persone di dedicarsi ad attività extra agricole.
2. *Provocò lo spostamento di popolazione nelle zone industriali:* le campagne non riuscendo più a sostenere una popolazione in crescita, spinse molti lavoratori agricoli verso le città e fabbriche.

3. *Partecipò alla formazione del capitale necessario al finanziamento dell'industrializzazione:* i guadagni di molti proprietari terrieri derivanti dall'agricoltura furono reinvestiti nel settore industriale.
4. *Si creò il potere d'acquisto destinato ai prodotti dell'industria britannica:* i redditi degli agricoltori permisero a loro di acquistare i prodotti dell'industria, sia quelli destinati al consumo diretto sia quelli necessari all'agricoltura stessa.²

La modernizzazione agricola fu dunque uno dei primi pilastri dello sviluppo inglese ma non l'unico. La posizione geografica e la presenza di risorse minerarie costituirono vantaggi importanti. La rete di trasporti britannica, ricca di canali e fiumi navigabili, era estremamente efficiente perché permise di trasportare merci e materie prime in modo rapido ed economico abbattendo i costi di trasporto e collegando le zone di produzione con i porti e i mercati.³ In questo scenario le flotte mercantili dovevano essere incoraggiate e sostenute perché favorivano l'esportazione e in caso di noleggio di navi consentivano anche un'entrata di denaro.⁴

Una grande importanza fu rivestita anche dal possesso delle colonie, considerate fonti di ricchezza non tanto per la presenza di giacimenti di oro o argento, quanto per la loro capacità di fornire alla madrepatria per beni, materie prime manodopera a basso costo.

² De Simone E., *Storia Economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, Milano, 2018, p. 40.

³ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.229.

⁴ De Simone E., *Storia Economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, Milano, 2018, p. 46.

1.1.2 L'illuminismo come fondamento culturale

La dimensione culturale è un elemento spesso trascurato nelle spiegazioni della Rivoluzione Industriale. Ancora prima dell'arrivo delle macchine e del sistema fabbrica, in tutta Europa si stava diffondendo una nuova mentalità nei confronti della scienza e della tecnologia, sostenuta dal movimento culturale noto come Illuminismo. Secondo Joel Mokyr, questa corrente di pensiero “costituì il fondamento culturale della crescita economica, l'impalcatura su cui poterono essere costruite nuove e più prospere strutture economiche”.⁵

L'Illuminismo iniziò a penetrare nella mente delle classi produttive come ingegneri, artigiani e commercianti, cominciando a trasformare l'idea astratta di progresso in qualcosa di concreto e applicabile ai processi produttivi. Questa mentalità completamente diversa da quella delle società preindustriali, iniziò a gradualmente a consolidarsi, aprendo la strada a un modo nuovo di concepire il progresso scientifico e tecnologico.

Come afferma Mokyr, “la forza dell'ideologia del progresso risiedeva nella speranza, non nella realizzazione.”⁶ L'idea illuminista secondo cui la ragione poteva migliorare la vita umana attraverso macchine e metodi di organizzazione della produzione, si concretizzò con le invenzioni e innovazioni della Prima Rivoluzione Industriale.

⁵ Mokyr, J., *Una cultura della crescita le origini dell'economia moderna*, il Mulino, Bologna, 2018, p. 371.

⁶ Mokyr, J., *Una cultura della crescita le origini dell'economia moderna*, il Mulino, Bologna, 2018, p. 372.

1.1.3 Le innovazioni tecnologiche nel settore tessile e la macchina a vapore

La speranza nel progresso di cui parla Mokyr trovò la sua espressione più concreta nel settore tessile. Fu proprio in questo ambito che l'Inghilterra della seconda metà del Settecento registrò trasformazioni importanti. La nuova industria del cotone, introdotta nel Lancashire del XVII secolo, era modesta e arretrata. Il cotone greggio arrivava dall'Oriente, dalle colonie inglesi dell'America settentrionale e dalle Indie occidentali.

La filatura del cotone richiedeva spesso molta manodopera e non riusciva a stare dietro alla domanda dei tessitori.⁷

In questo scenario era necessario un perfezionamento dei filatoi. Tra le invenzioni più importanti nel settore tessile vi furono la navetta volante, la spinning jenny, la water frame, la mule jenny e il telaio meccanico a vapore.

La navetta volante di John Kay, inventata nel 1733, fu un meccanismo formato da una spoletta munita di rotelline che scorreva lungo una guida, tirata da un operaio. Un solo tessitore poteva lavorare più velocemente e ottenere tessuti di larghezza maggiore di quella tradizionale.

La spinning jenny di James Hargreaves, inventata nel 1764, era formata da una ruota che muoveva una batteria di fusi ed era azionata da una sola persona. Il suo punto di forza era l'economicità e il fatto che non fosse ingombrante.

La water frame di Richard Arkwright, inventata nel 1769, era un filatoio idraulico capace di produrre un filato molto resistente.

La mule jenny di Samuel Crompton, brevettata nel 1779, era in grado di muovere un gran numero di fusi e produrre un filo più liscio e sottile.

⁷ De Simone E., *Storia Economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, Milano, 2018, p. 54.

Infine, si ha il telaio meccanico a vapore, brevettato nel 1785, da Edmund Cartwright.⁸

Il telaio meccanico a vapore anticipò quello che sarebbe diventata l'invenzione simbolo di questo periodo: la macchina a vapore di James Watt.

Watt, nel 1769, brevettò un motore a vapore molto più efficiente di quelli che esistevano già. I motori di prima, come quello di Newcomen, funzionavano in una maniera in cui bisognava scaldare il cilindro della macchina con il vapore e successivamente bisognava raffreddarlo con acqua fredda per creare il vuoto e far scendere il pistone.

Il problema di ciò è che ad ogni ciclo bisognava riscaldare e raffreddare lo stesso cilindro, provocando uno spreco enorme di energia e tempo.

L'invenzione di Watt consistette nel separare il condensatore dal cilindro ottenendo così un cilindro che rimaneva sempre caldo, mentre il vapore veniva mandato in una camera separata per essere raffreddato. Questo portò un enorme risparmio di energia e ad un aumento di risorse e produttività in una maniera incredibile.⁹

Prima del perfezionamento della macchina a vapore, la maggior parte degli opifici doveva essere costruita in prossimità di fiumi o torrenti per poter sfruttare l'energia idraulica siccome i macchinari per essere alimentati avevano bisogno della corrente del corso d'acqua. Con l'introduzione della macchina a vapore, alimentata da carbone e acqua, gli imprenditori iniziarono a costruire le fabbriche all'interno della città, dove la manodopera era più abbondante e la vicinanza ai porti facilitava il trasporto delle merci.

Con la nascita della fabbrica che era una produzione centralizzata, numerose persone che vivevano del proprio lavoro manuale videro lentamente i loro mestieri scomparire nel giro di pochi anni.

⁸ De Simone E., *Storia Economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, Milano, 2018, p. 55.

⁹ *Enciclopedia Treccani*, voce "Macchina a vapore", in treccani.it.

1.2 IMPATTI ECONOMICI E SOCIALI

Le conseguenze della Rivoluzione Industriale si possono leggere su più livelli. Sul piano economico la produttività aumentò in maniera che non aveva precedenti nella storia. Secondo l'economista Adam Smith la divisione del lavoro e la specializzazione della produzione aumentarono la produttività e la ricchezza nazionale.¹⁰ Con la diminuzione dei prezzi, dovuta ad una maggiore produzione, molte più persone poterono permettersi beni che prima erano riservati ai ceti abbienti.

Dal punto di vista sociale le trasformazioni furono altrettanto significative. In primo luogo ci fu un incremento delle nascite, favorito dalla crescente disponibilità di opportunità lavorative nelle fabbriche, miniere e spedizioni navali, che consentiva alle giovani coppie di formare una famiglia senza dover attendere di entrare in possesso di un pezzo di terra o di completare l'apprendistato.¹¹

Allo stesso tempo ci fu il problema del sovraffollamento delle città. Nel 1700 Londra era la città col maggior numero di abitanti e nessun'altra città della Gran Bretagna superava i 30.000 abitanti. Col passare del tempo molte città come Liverpool, Manchester, Birmingham, Glasgow e Edimburgo iniziarono ad affollarsi fino a raggiungere i 70.000 abitanti.¹²

La crescita delle città non ebbe solo aspetti positivi bensì anche negativi. Le condizioni di vita dei lavoratori erano pessime, vi era un enorme inquinamento, sia all'interno delle abitazioni dei lavoratori sia all'interno della città, giornate di lavoro all'interno delle

¹⁰ A. Smith, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, 1776, ed. digitale, p.10.

¹¹ De Simone E., *Storia Economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, Milano, 2018, p. 244.

¹² De Simone E., *Storia Economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, Milano, 2018, p. 245.

fabbriche che potevano durare moltissime ore, la presenza del lavoro minorile e la presenza delle infrastrutture sanitarie era pressoché inesistente.

All'interno di questo scenario nacque il concetto di classe operaia nel senso moderno del termine: un insieme di individui che vendevano la propria forza lavoro in cambio di un salario, condividevano simili condizioni di lavoro e svilupparono progressivamente una conoscenza collettiva della propria condizione.

CAPITOLO 2

DALLA SECONDA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE ALLA RIVOLUZIONE INFORMATICA

Le innovazioni tecnologiche della seconda rivoluzione industriale erano più complesse della prima e perciò richiedevano un livello più alto di conoscenze scientifiche per essere create e anche una migliore istruzione di base per essere adoperate. Sarà in questo scenario che paesi dotati di strutture, come scuole tecniche, università e laboratori, riuscire a supportare la diffusione di una tecnologia di sistema, tecnologia basata su un corpo comune di conoscenze scientifiche.

Il progresso scientifico e tecnologico coinvolse tutti i settori industriali. In particolare il settore siderurgico e quello chimico, con l'importante introduzione di nuove tecniche di lavorazione che favorirono il passaggio dal ferro all'acciaio.

Successivamente, dagli anni Ottanta del Ottocento e fino alla prima guerra mondiale, si registrarono due fondamentali innovazioni tecnologiche, quello dell'elettricità e del motore a scoppio, motore che gettò le basi per la nascita dell'automobile.

Per comprendere meglio la loro importanza, nei prossimi paragrafi verranno analizzati i casi sopra citati.

2.1 SIDERURGIA E CHIMICA

Per comprendere il passaggio dal ferro all'acciaio è necessario analizzare i processi di fusione e decarburazione. Un primo processo fu scoperto nel 1709 da Abraham Darby, che riscaldò il carbone in un contenitore chiuso per eliminare le impurità in forma di gas, ottenendo così il coke, una forma di carbonio più pura che utilizzò come combustibile

nell'altoforno per produrre ghisa grezza.¹³ Nonostante ciò, non si trattava di una scoperta perfetta, poiché il ferro prodotto con il coke possedeva comunque alcune impurità. La svolta arrivò con Henry Cort, nel 1783-1784, che inventò un sistema capace di raffinare il ferro tramite due tecniche chiamate pudellaggio e laminazione.

Il procedimento di Cort prevedeva il riscaldamento della ghisa grezza con il coke fino a farla diventare una specie di pasta morbida. Il ferro fuso veniva poi mescolato o “pudellato” con delle aste per favorire l'evaporazione del carbonio in eccesso. Infine veniva fatto scorrere lungo dei cilindri per liberare ulteriori impurità permettendolo anche di lavorarlo come meglio si desiderava.¹⁴ Grazie a queste due tecniche il ferro rimase protagonista per molti anni, sia perché più economico rispetto all'acciaio e sia perché richiedeva meno tempo per essere lavorato. L'acciaio d'altro canto aveva caratteristiche fisiche superiori al ferro, come la forza, durezza e la plasticità. Tuttavia, poiché più costoso e richiedeva tempi di lavorazione più lunghi, le sue potenzialità non furono utilizzate appieno fino alla metà del XIX secolo, quando vennero introdotti due nuovi processi di vitale importanza.

I due processi più importanti di questo periodo furono il processo di Bessemer e il processo di Martin – Siemens. Il processo Bessemer consistette nel saltare la fase di pudellaggio alzando la temperatura durante il processo di decarburazione, con l'obiettivo di mantenere liquido l'acciaio che si veniva a formare.¹⁵ Grazie a ciò la produzione dell'acciaio crebbe enormemente e questo materiale cominciò a sostituire già il ferro in una varietà di usi. Sebbene la quantità di acciaio fosse aumentata, la sua qualità era ancora

¹³ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.232.

¹⁴ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.232.

¹⁵ *Enciclopedia Treccani*, voce “BESSEMER”, in treccani.it.

limitata, poiché con la tecnica Bessemer l'acciaio non poteva essere lavorato con i minerali ferrosi composti di fosforo.¹⁶

Per far fronte a questo problema, i metallurgisti francesi Pierre-Emile Martin e Wilhelm Siemens, inventarono il forno a suola o Martin – Siemens. Il punto forte del forno era il suo sistema di recupero del calore che gli permetteva di raggiungere temperature altissime in grado di lavorare anche materiali pieni di impurità.¹⁷ Era più lento e costoso del metodo Bessemer ma in compenso il risultato che dava era quello di un acciaio di alta qualità.

L'espansione dell'acciaio ebbe un profondo impatto su molti settori. Il settore dei trasporti iniziò gradualmente ad abbandonare le rotaie in ferro per sostituirle con quelle in acciaio. Il settore navale passò dal costruire navi in ferro a fabbricarle in acciaio, rendendole più grandi, leggere e veloci. Col tempo arrivò a rimpiazzare il ferro e il legno all'interno degli utensili, giocattoli e molti altri prodotti.¹⁸

Nel settore della chimica i progressi permisero di sintetizzare materiali e sostanze che prima erano introvabili o costosissime. La scienza chimica aveva prodotto artificialmente la soda, l'acido solforico, il cloro e numerosi composti chimici importanti per l'industria tessile. Un chimico, inglese, Perkin, nel 1856, sintetizzò per puro caso la malva mentre tentava di sintetizzare la chinina, una cura per la malaria. Questa scoperta gettò le basi per la nascita dell'industria dei colori artificiali. La materia prima che queste industrie utilizzavano era il catrame minerale, un denso sottoprodotto ottenuto dalla distillazione del carbon fossile per la produzione del coke.

La chimica svolse un ruolo importante anche nella metallurgia e, grazie ad Antoine Lavoisier, molti nuovi metalli furono scoperti tra cui il zinco, alluminio, nichel, magnesio,

¹⁶ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.273.

¹⁷ *Enciclopedia Treccani*, voce "Acciaio", in treccani.it.

¹⁸ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.274.

cromo e l'uso più frequente di questi nuovi metalli era la preparazione delle leghe, ossia due o più metalli per ottenere un nuovo tipo di materiale.¹⁹

In definitiva la collaborazione tra la siderurgia e la chimica rivoluzionò la produzione dei beni di consumo e fornì i materiali necessari, come le leghe leggere e i conduttori, che diedero vita allo sviluppo dell'elettricità e del motore a scoppio.

2.2 L'ELETTRICITA' E IL MOTORE A SCOPPIO

Da sempre i fenomeni elettrici sono stati oggetto di osservazione ma l'elettricità era considerata sempre e solo una curiosità, non era un qualcosa da analizzare profondamente. Tutto questo cambiò quando Benjamin Franklin negli Stati Uniti, Luigi Galvani e Alessandro Volta in Italia, cambiarono lo status di curiosità dell'elettricità a oggetto di ricerca in laboratorio. Da lì a poco una serie di invenzioni si susseguirono. Nel 1807 Humphry Davy diede vita alla galvanoplastica individuando l'elettrolisi, ossia la capacità di scomporre soluzioni chimiche. Tredici anni più tardi Hans Oersted si fermò ad osservare come una corrente potesse generare un campo magnetico. Le sue osservazioni permisero a André Ampère di formulare una relazione quantitativa tra l'elettricità e il magnetismo, grazie alle quali portarono Michael Faraday a scoprire l'induzione elettromagnetica che portò alla nascita del primo generatore manuale.

Una tappa decisiva fu raggiunta nel 1873, quando un fabbricante di carta della Francia riuscì a collegare la sua turbina idraulica che utilizzava l'acqua delle Alpi a una dinamo, creando così l'energia idroelettrica, un'energia che riuscì ad alimentare i paesi poveri di carbon fossile facendo sì che la loro industrializzazione migliorasse.²⁰

¹⁹ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.281.

²⁰ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.270-271.

Thomas Edison e Nikola Tesla, anche se erano in aspra competizione tra loro sulla questione della corrente continua e della corrente alternata, contribuirono entrambi a costruire le infrastrutture elettriche che avrebbero trasformato le città e le fabbriche.

L'illuminazione elettrica rese le strade e le abitazioni più sicure e vivibili, i motori elettrici resero le fabbriche più efficienti e flessibili e le comunicazioni con il telegrafo iniziarono a comprimere le distanze geografiche.

Nella seconda metà del secolo XIX nacque il motore a combustione interna. L'idea di questo motore era comparsa già nell'XII secolo, quando si pensò di utilizzare la polvere nera come sostanza in grado di bruciare rapidamente, producendo una depressione in una camera chiusa così da ricavare un'aspirazione di acqua nella camera stessa. Sebbene l'intuizione fosse buona, i tempi non erano ancora pronti per accogliere un'invenzione del genere. Il primo e vero motore a combustione interna nacque nel 1856, da una coppia di italiani, Eugenio Barsanti e Felice Matteucci, ed era composto da un cilindro unico ad asse verticale che trasmetteva il movimento all'albero motore per mezzo di un'asta dentata. In seguito quest'invenzione fu revisionata da altri ingegneri che la modificarono, migliorarono e svilupparono nuovi modelli di motore. Tra questi, due ingegneri tedeschi spiccano più degli altri: Nikolaus Otto e Rudolf Diesel.

Otto creò il primo motore ad accensione comandata a quattro tempi, mentre Diesel creò un motore che porta ancora ad oggi il suo nome.²¹ Il successo di questi motori fu dovuto anche al fatto che erano alimentati da sostanze derivanti dal petrolio, come benzina e nafta, le quali favorirono appieno l'utilizzo delle loro potenzialità.

L'importanza di queste scoperte aprì la strada all'automobile e all'aviazione, due invenzioni che avrebbero rivoluzionato la mobilità delle persone e delle merci.

²¹ *Enciclopedia Treccani*, voce "Motore a combustione interna", in treccani.it.

2.3 LA PRODUZIONE DI MASSA E I NUOVI MODELLI ORGANIZZATIVI

Il periodo della seconda rivoluzione industriale non riguarda solamente le invenzioni e innovazioni sopra citate che si svilupparono nell'ambito dei beni strumentali. In questo scenario la crescente domanda di beni di consumo e la necessità di aumentare i volumi di produzione con il tentativo di ridurre i costi di produzione, resero chiara l'idea che serviva un metodo per riorganizzare il modo in cui il lavoro veniva strutturato e gestito all'interno delle fabbriche. Un ruolo decisivo durante questo periodo lo assunse l'innovazione organizzativa. Quando si tratta di questo tema è impossibile non parlare dei modelli di riorganizzazione più famosi e influenti del Novecento come il Taylorismo e Fordismo. Questi sistemi, sebbene si fossero sviluppati in tempi diversi, condividevano tutti e due l'obiettivo comune di rendere la fabbrica più efficiente e competitiva.

Per comprendere appieno questi modelli, analizzeremo i singoli casi nei paragrafi a seguire.

2.3.1 Taylorismo

Frederick Winslow Taylor era un ingegnere statunitense proveniente dalla Pennsylvania e fondatore dell'organizzazione scientifica del lavoro. Quest'organizzazione si basava sull'idea che applicare un metodo scientifico all'interno della fabbrica avrebbe aumentato le performance dei lavoratori, delle macchine e della produzione stessa.

Taylor prima di arrivare alla formulazione di ciò, si accorse che a fine Ottocento vi erano tre cause che affliggevano la mentalità delle persone e la situazione nelle fabbriche.

Queste tre cause furono:

1. L'errata convinzione che un aumento della produttività provocasse la perdita del lavoro per un gruppo di persone.

2. I sistemi imperfetti di paga e sociali che costringevano gli operai a lavorare ad un ritmo più lento cosicché potessero salvaguardare i loro interessi.
3. L'inefficienza del metodo empirico che sprecava gran parte dello sforzo produttivo all'interno delle aziende.²²

Per lui le cause del punto primo sono dovute alla natura paurosa che l'essere umano ha. Egli riteneva che non ci fosse motivo di pensare ciò anche perché l'aumento della produttività avrebbe comportato una maggiore riduzione dei prezzi e ad un conseguente aumento del consumo di beni.

Per quanto riguarda il secondo punto, Taylor aveva individuato che uno dei problemi principali era il sistema di pagamento dovuto agli operai. Prima di lui un operaio veniva pagato a cottimo semplice, ossia veniva pagato in base a quanti pezzi produceva. Il problema di questo sistema è che la natura umana, a suo avviso, tendeva alla pigrizia, portando gli operai a una situazione di *soldiering*. Situazione in cui i lavoratori abbassavano volontariamente il ritmo per evitare che i proprietari abbassassero la paga unitaria. Per far fronte a questo problema introdusse la paga a cottimo differenziale, prevedendo due tariffe diverse. Se un operaio raggiungeva o superava il livello standard richiesto da Taylor, veniva pagato di più per ogni pezzo prodotto; in caso contrario, la retribuzione per ogni pezzo risultava inferiore. Il terzo e ultimo punto riguardava il fatto che la direzione lasciava ampia libertà agli operai riguardo ai metodi di lavoro, preoccupandosi solamente del risultato finale e non delle modalità con cui veniva svolto. Per Taylor questo era un problema da non sottovalutare perché secondo lui gli operai perdevano tempo prezioso, mentre se avessero avuto dei "task" ossia compiti specifici da eseguire seguendo determinate regole, non lo avrebbero perso.²³

²² Bonazzi G., *Storia del pensiero organizzativo*, Franco Angelini, Milano, 2008, p.38.

²³ Bonazzi G., *Storia del pensiero organizzativo*, Franco Angelini, Milano, 2008, p.39-40.

Questo nuovo sistema del lavoro trasformò l'operaio in una "macchina esecutrice" che doveva ripetere un singolo compito, poco qualificato, cronometrato e per lunghe ore fino alla fine del suo turno.

Sarà proprio partendo da questa situazione che pochi anni dopo Henry Ford trasformerà l'intuizione di Taylor introducendo la catena di montaggio e creando un sistema di produzione di massa automatizzato.

2.3.2 Fordismo

Il fordismo rappresentava l'evoluzione del sistema Taylorista. Ideato da Henry Ford, industriale statunitense, consisteva nell'introdurre la catena di montaggio per eliminare ulteriori sprechi di tempo. La catena di montaggio era formata da un nastro trasportatore lungo il quale venivano portati i pezzi per essere lavorati dagli operai. Il nastro non era un'invenzione di Ford, poiché esisteva già all'interno delle macellerie, il suo merito fu quello di applicare tale metodo alla propria fabbrica. Se prima un operaio doveva auto imporsi un ritmo stabilito dal cronometro, ora la velocità era stabilita dalla macchina stessa. Il nastro trasportatore faceva sì che l'operaio dovesse rimanere fermo sulla propria postazione a lavorare, vincolato ad agire a una velocità decisa dal macchinario.

Oltre a questo il fordismo si basava principalmente su due ipotesi in stretto rapporto tra di loro: la produzione e il consumo. Ford aveva capito che la produttività del lavoro dipendeva dalla sua divisione, ossia due operai che si occupavano di lavorare soltanto una parte del ciclo produttivo, producevano di più di due operai che si occupavano di lavorare l'intero ciclo produttivo.²⁴

²⁴ Sabel C., Zeitlin J., "Alternative storiche alla produzione di massa". Stato e Mercato, n.5, agosto 1982, p.214.

La seconda ipotesi invece si basava sul fatto che Ford puntava a soddisfare una domanda di massa abbastanza omogenea da assorbire grandi quantità di prodotti standardizzati.²⁵ Per questo nacque il modello T nero, la prima automobile prodotta in serie a un prezzo accessibile per la classe media²⁶. Il suo obiettivo era quello di fidelizzare i suoi stessi operai affinché potessero comprarsi il modello T nero. Per fare ciò decise di aumentare i salari dei suoi operai introducendo il famoso “five dollars a day”²⁷ riuscendo così a creare un circolo virtuoso in cui più si produceva meno costava produrre e più persone potevano comprare e permettersi i suoi prodotti. Il Taylorismo insieme al Fordismo trasformò le fabbriche in una macchina quasi perfetta dal punto di vista dell’efficienza produttiva.

2.4 CENNI INTRODUTTIVI SUL XX SECOLO

Se fino al termine dell’Ottocento il segno del successo umano era la capacità di adattarsi all’ambiente esterno, nel XX secolo il successo è rappresentato dalla capacità di manipolare l’ambiente e adattarlo alle proprie esigenze. L’automobile prodotta in serie, la radio, la televisione e gli elettrodomestici hanno rivoluzionato la vita delle persone in pochi decenni, e il XX secolo è considerato il periodo di maggiori trasformazioni tecnologiche ed economiche della storia moderna.²⁸ I principali fattori che hanno accelerato lo sviluppo tecnologico sono riconducibili alle guerre, in particolare la Prima Guerra Mondiale (1914-1918) e la Seconda Guerra Mondiale (1939-1945). A causa dei conflitti mondiali, emerse la necessità di avere sempre più bisogno di una produzione di massa, di un’innovazione tecnica e un’organizzazione industriale più efficienti, che

²⁵ Sabel C., Zeitlin J., “*Alternative storiche alla produzione di massa*”. Stato e Mercato, n.5, agosto 1982, p.215.

²⁶ Ford Motor Company, *The Model T*, sito ufficiale corporate Ford.

²⁷ Ford Motor Company, *The Model T*, sito ufficiale corporate Ford.

²⁸ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.520.

portarono allo sviluppo economico di tutti i paesi industrializzati. In questo contesto, nella Prima Guerra Mondiale si assistette ad un impegno massiccio di tecnologie moderne in campo militare, come carri armati, armi automatiche, aerei da caccia e sistemi di comunicazione moderni. Eric Hobsbawm, storico inglese, afferma che le guerre crearono un legame diretto tra Stato, industria e scienza, stimolando gli investimenti in tecnologie e nella produzione industriale, il cosiddetto “military-industrial complex”.²⁹

Per quanto riguarda la Seconda Guerra Mondiale, essa portò ad una rivoluzione tecnologica ancora maggiore. Grazie ai programmi militari si ebbe lo sviluppo dei radar, l'imbrigliamento dell'energia atomica, lo sviluppo dei razzi spaziali e soprattutto la nascita dei satelliti artificiali, tutte invenzioni che senza le risorse finanziarie pubbliche non sarebbero state possibili.³⁰

Dopo il 1945, le tecnologie create solamente per la guerra iniziarono ad essere utilizzate in altri ambiti civili ed economici, ed è in questo scenario che la tecnologia elettronica si sviluppò ad un ritmo più rapido. Questa accelerazione pose le basi per la rivoluzione digitale e informatica che avrebbe trasformato la società nel corso della seconda metà del Novecento. Nei capitoli successivi analizzeremo la sua evoluzione fino ai recenti sviluppi dell'intelligenza artificiale.

²⁹ Hobsbawm E., *Age of Extremes the short twentieth century 1914-1991*, Abacus, Londra, 1995, p.45.

³⁰ Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016, p.522.

CAPITOLO 3

DALLA RIVOLUZIONE DIGITALE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Se la prima rivoluzione industriale aveva trasformato la forza muscolare in energia meccanica e la seconda aveva organizzato la produzione di massa e illuminato il mondo, la terza, quella digitale, avrebbe trasformato e cambiato la capacità di elaborare, trasmettere e sfruttare la conoscenza.

Questa evoluzione avvenne nell'arco di quasi ottant'anni, avviandosi dalla seconda guerra mondiale fino ad arrivare ai nostri giorni, in una sequenza pressoché lineare. Partendo dai primi computer, arrivando a internet il quale portò la nascita delle piattaforme digitali e infine all'arrivo dell'intelligenza artificiale.

All'interno di questo capitolo si cercherà di ripercorrere queste tappe in ordine cronologico cercando di comprendere le conseguenze e cause che hanno portato alla nascita di queste tecnologie e l'impatto che esse hanno avuto.

3.1 I PRIMI COMPUTER E LA NASCITA DELL'INFORMATICA

Le origini dell'informatica e dei primi computer sono strettamente collegabili al mondo accademico e militare, in particolare alla seconda guerra mondiale, in cui si ebbe la necessità di sviluppare macchine elettroniche potenti in grado di compiere complessi calcoli e di decifrare comunicazioni nemiche. Alan Turing, matematico britannico, è considerato uno dei padri fondatori dell'informatica moderna. Durante la guerra lavorò a Bletchley Park per decifrare i codici della macchina Enigma usata dai nazisti, costruendo dispositivi elettromeccanici chiamati “bombe”, macchine in grado di testare migliaia di combinazioni di codice in pochi minuti. Questi apparecchi non erano ancora dei veri computer, ma si potevano considerare i loro anticipatori.³¹

Nel 1950, nell'articolo “Computing Machinery and Intelligence”, Turing propose il suo famoso Test. Il Test di Turing riguardava la risposta ad una domanda che lui stesso aveva creato: una macchina può pensare?³². Secondo lui, se una persona non riusciva a distinguere se stesse parlando con un altro essere umano o con una macchina, allora la macchina si poteva considerare intelligente. Il motivo del test era quello di proporre un nuovo modo di intendere l'intelligenza.

Nel frattempo negli Stati Uniti fu creato l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), il primo vero computer elettronico. Era una macchina grande quanto una stanza, composta di oltre 17.000 valvole termoioniche, e svolgeva operazioni elementari come l'addizione e moltiplicazione.³³ Sebbene acerbo, il progetto ENIAC dimostrò che si potevano automatizzare anche operazioni logiche matematiche, non più solo operazioni fisiche come già facevano le macchine industriali.

³¹ Hodges A., “Alan Turing”, in *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E.N. Zalta, Winter 2019 Edition.

³² Turing A.M., “*Computing Machinery and Intelligence*”, *Mind*, vol. 49, 1950, p. 433.

³³ Shustek L.J., “*Programming the ENIAC: an example of why computer history is hard*”, Computer History Museum, 18 maggio 2016.

Nonostante ciò, i computer rimasero solamente all'interno delle università, banche, agenzie militari e centri di ricerca governativi, per via della loro ingombrante struttura e per il loro costosissimo costo di mantenimento. Tutto questo cambiò quando negli anni Settanta fu introdotto il microprocessore, un circuito integrato in grado di contenere in una piccola area l'intera elaborazione centrale di un computer.³⁴ Grazie alla scoperta del microprocessore, i costi di produzione e le dimensioni del computer si ridussero notevolmente, favorendo la loro diffusione nelle case, nelle scuole e negli uffici.

3.1.1 Il personal computer

Come appena ricordato, la scoperta del microprocessore fu un evento molto importante nello sviluppo dell'informatica. Il primo microprocessore ad uso commerciale fu rilasciato nel 1971, dall'azienda Intel.³⁵ A capire le vere potenzialità di questa innovazione furono giovani visionari come Steve Jobs e Steve Wozniak, i quali fondarono Apple nel 1976 e riuscirono a creare il primo personal computer di successo anche se provvisto solo di una tastiera e uno schermo in cui si potevano eseguire programmi abbastanza semplici.³⁶

La vera svolta culturale arrivò nel 1984, quando sempre Apple decise di lanciare sul mercato il Macintosh, il primo computer ad essere dotato di un'interfaccia grafica intuitiva, che facilitò l'uso e la comprensione di questa macchina a numerose persone, le

³⁴ Schneider J., Smalley I., "Cos'è un microprocessore?", IBM Think, 10 giugno 2024, link: <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/microprocessor>, consultato il 10 maggio 2026.

³⁵ Schneider J., Smalley I., "Cos'è un microprocessore?", IBM Think, 10 giugno 2024, link: <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/microprocessor>, consultato il 13 maggio 2026.

³⁶ Levy S., Montevirgen K., voce "Apple Inc.", in *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/money/Apple-Inc>, consultato il 15 maggio 2026.

quali iniziarono a percepire questa tecnologia non più come un qualcosa riservato a tecnici e ingegneri, ma come uno strumento di uso comune.³⁷

Negli anni Ottanta, contemporaneamente allo sviluppo dell'hardware, iniziarono a svilupparsi anche i software. Aziende come Microsoft capirono che il valore della macchina non era nella sua fisicità, ma nei programmi che riuscivano a farla funzionare. I sistemi operativi MS-DOS e poi Windows divennero i software standard che venivano utilizzati all'interno di milioni di computer in tutto il mondo.³⁸

L'impatto economico e sociale dei computer fu straordinario. Nelle imprese i fogli di calcolo come Excel facilitarono l'analisi finanziaria, i database consentirono di immagazzinare una enorme quantità di informazioni e i lavori che prima richiedevano un gruppo di impiegati specializzati venivano ora svolti da una persona dotata di una conoscenza del computer. Nell'ambito scolastico e universitario il pc fu usato come uno strumento da affiancare all'attività didattica. Nella vita quotidiana incominciarono ad essere introdotti i videogiochi.

Sebbene i pc fossero un'invenzione straordinaria, le loro potenzialità non erano ancora sfruttate appieno perché per ora erano solamente delle macchine autonome isolate. I dati ancora si trasferivano su dischetti fisici, non vi era un sistema che permetteva di trasferire i dati in tempo reale senza bisogno di un intermediario.

Con la nascita della rete e l'avvento di internet i computer avrebbero smesso di essere autonomi e sarebbero diventati parte di un sistema globale connesso che avrebbe cambiato per sempre il modo di lavorare e comunicare delle persone.

³⁷ Levy S., Montevirgen K., voce "Apple Inc.", in *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/money/Apple-Inc>, consultato il 15 maggio 2026.

³⁸ Zachary G.P., Hall M., Montevirgen K., voce "Microsoft Corporation", in *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/money/Microsoft-Corporation>, consultato il 17 maggio 2026.

3.1.2 L'avvento di internet e il World Wide Weeb

La nascita di internet risale al 1969, quando grazie ad ARPA, Advanced Research Projects Agency, il Dipartimento della difesa degli Stati Uniti rilasciò ARPANET, una delle prime reti di computer per uso generale. L'obiettivo di questa rete era quello di costruire un sistema di comunicazione in grado di distribuire l'informazione su più nodi, così se uno di essi fosse stato distrutto o compromesso, il messaggio avrebbe potuto raggiungere la destinazione attraverso strade alternative. Per raggiungere l'obiettivo, ARPANET impiegò la tecnologia di "Commutazione di pacchetto". La specialità di questa tecnologia era che i dati potevano essere spezzati in piccoli pacchetti, spediti ognuno attraverso il percorso più efficiente e disponibile in quel momento e poi riassemblati a destinazione. Il vantaggio rispetto alle comunicazioni tradizionali, come il telefono, è che i dati ora non avevano più bisogno di viaggiare solo su un singolo circuito.³⁹ Questa scoperta portò alla nascita di un nuovo sistema di comunicazione, velocissimo, flessibile, sicuro e robusto. Negli anni Settanta e Ottanta, ARPANET si diffuse fino a connettere gradualmente università, laboratori di ricerca, agenzie governative e progressivamente tutto il resto del mondo. Grazie agli scienziati Vinton Cerf e Robert Kahn nacque il modello TCP/IP. TCP era un insieme di regole standard che permetteva a macchine sparse per il mondo di ricevere, scomporre e spedire i dati, mentre l'IP era una sorta di etichetta che assegnava un indirizzo unico a ogni computer, permettendo ai dati di trovare la "strada giusta" per arrivare a destinazione.⁴⁰ La creazione di questo sistema portò alla nascita di internet.

³⁹ Kahn R., voce "internet", *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/technology/Internet>, consultato il 19 maggio 2026.

⁴⁰ Kahn R., voce "internet", *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/technology/Internet>, consultato il 19 maggio 2026.

Lo sviluppò più importante di internet si ebbe negli anni Novanta, dopo che un esperto di informatica, Tim Berners-Lee, inventò il World Wide Web, un sistema in grado di navigare tra diverse pagine di documenti, collegati tra loro tramite link ipertestuali, accessibili da un programma denominato Browser.⁴¹ Il Web non era internet, ma un'applicazione che girava al suo interno.

La scoperta del Web e la rapida evoluzione di internet posero le basi per la nascita di nuovi modelli di business, creando profonde conseguenze economiche e sociali. Si svilupparono nuovi mercati come i motori di ricerca, con Google e Yahoo come protagonisti, piattaforme di comunicazione, come Facebook e Skype, e l'e-commerce, con aziende come Amazon. Questi modelli presentavano particolari caratteristiche che li distinguevano dalle imprese tradizionali. In primo luogo, i costi marginali erano spesso vicino allo zero: aggiungere un utente in più sulla piattaforma digitale richiedeva un costo minimo rispetto a quello che sostiene un'azienda che produce beni fisici. In secondo luogo, le piattaforme beneficiavano degli "effetti di rete", ossia più utenti sono presenti al loro interno, più il servizio è utile per ciascuno di loro, creando un sistema che si autoalimenta.⁴² Tutto ciò col tempo tendeva a creare posizioni di mercato dominanti e difficili da intaccare.

Sul piano sociale la posta elettronica iniziò a sostituire gradualmente quella fisica, mentre i forum online e i social network diedero vita a nuove comunità e dinamiche di discussione pubblica, ridefinendo il modo in cui le persone interagivano tra di loro.

⁴¹ CERN, "World Wide Web at 35", home.cern, link: <https://home.cern/world-wide-web-35>, consultato il 20 maggio 2026.

⁴² Perani G., Nascia L., *La misurazione dell'economia delle piattaforme in Italia*, Istat, Roma, 2022, pp. 14-22.

3.2 LE ORIGINI DELL'IA

Il sogno di creare una macchina intelligente come l'uomo, se non di più, è vecchio di secoli, ma è entrato a far parte della scienza contemporanea con l'avvento dei computer digitali. Il termine "Intelligenza Artificiale" fu coniato nel 1956, quando il matematico John McCarthy organizzò un seminario al Dartmouth College al quale parteciparono molti pensatori mondiali nel campo dell'informatica. Durante il seminario furono presentati alcuni programmi capaci di comportamenti intelligenti, in grado di dimostrare teoremi di logica matematica.⁴³ Successivamente al seminario numerosi finanziamenti furono destinati allo sviluppo di questo nascente campo. Uno dei primi programmi di Intelligenza Artificiale ad avere successo fu Eliza, sviluppato nel 1964 da un giovane ricercatore del MIT, Joseph Weizenbaum. Il suo programma era in grado di sostenere conversazioni in inglese su copioni prestabiliti di diverso argomento, senza però comprendere il significato delle frasi. Sebbene fosse un primo programma acerbo, molti utenti scambiavano questa capacità di dialogo come dimostrazione della sua intelligenza.⁴⁴ Poco dopo, tra il 1968 e il 1970, fu sviluppato Shrdlu, il programma dotato di un modulo di comprensione semantica del linguaggio umano. Shrdlu poteva comprendere il linguaggio naturale e spostare anche, tramite un braccio articolato, oggetti geometrici di diversa forma.⁴⁵

Grazie a queste scoperte si diffuse un notevole ottimismo a cui fecero seguito importanti finanziamenti. L'ARPA investì 2,2 milioni di dollari nelle ricerche del MIT, mentre in Giappone la Wasade University avviò la ricerca per la costruzione di robot umanoidi

⁴³ Pierani M., Scialdone M., *"Vivere con l'Intelligenza Artificiale: Società, consumatori e mercato"*, Espress Edizioni, Roma, 20 maggio 2021, p. 17.

⁴⁴ Pierani M., Scialdone M., *"Vivere con l'Intelligenza Artificiale: Società, consumatori e mercato"*, Espress Edizioni, Roma, 20 maggio 2021, p. 18.

⁴⁵ Pierani M., Scialdone M., *"Vivere con l'Intelligenza Artificiale: Società, consumatori e mercato"*, Espress Edizioni, Roma, 20 maggio 2021, p. 18.

capaci di svolgere compiti pressoché umani, grazie ad un sistema di visione artificiale in grado di misurare direzioni e distanze.⁴⁶

Nonostante gli ingenti investimenti, i risultati conseguiti si rivelarono molto al di sotto delle aspettative e questo portò al “primo inverno dell’Intelligenza Artificiale”. Una causa importante di un simile stallo fu la limitata capacità di calcolo delle tecnologie disponibili negli anni Settanta. Questo comportò l’abbandono, momentaneamente, dell’idea che si potesse arrivare a una mente artificiale.

Negli anni Ottanta, Minsky iniziò a proporre un approccio alternativo all’esplorazione dell’intelligenza artificiale. Secondo la sua prospettiva, anziché focalizzarsi sull’astrazione del comportamento intelligente, era necessario riconoscere che quest’ultimo era ricavabile dall’elaborazione di grandi quantità di informazioni.⁴⁷ La sua idea si basava sul fatto che l’IA, per poter emulare un comportamento intelligente, aveva bisogno di processare un enorme quantità di dati. Per quanto promettente fosse la sua visione, i limiti tecnologici dell’epoca rappresentarono comunque un ostacolo troppo grande. Per poter sbloccare le potenzialità dell’IA, fu necessaria la combinazione di tre fattori che si è realizzata solamente negli ultimi vent’anni: la disponibilità di grandi quantità di dati, la maggiore forza della potenza di calcolo, e i progressi nel campo delle machine learning.

⁴⁶ Pierani M., Scialdone M., “*Vivere con l’Intelligenza Artificiale: Società, consumatori e mercato*”, Espress Edizioni, Roma, 20 maggio 2021, p. 19.

⁴⁷ Pierani M., Scialdone M., “*Vivere con l’Intelligenza Artificiale: Società, consumatori e mercato*”, Espress Edizioni, Roma, 20 maggio 2021, p. 20.

3.3 DATI, MACHINE LEARNING E CHATGPT

Nei primi anni Duemila, lo sviluppo sempre più rapido delle tecnologie digitali portò a un'enorme crescita della quantità disponibile di dati. La diffusione dei social network e degli smartphone fece sì che milioni di persone creassero un flusso massiccio di informazioni, mentre i progressi nel campo dell'informatica, dovuti all'affermarsi della GPU, consentirono di aumentare significativamente la potenza di calcolo, rendendo possibile la raccolta e l'analisi di dati su vasta scala. Fu proprio questa disponibilità di dati a porre le basi della nascita dell'intelligenza artificiale come la conosciamo oggi. Questi dati rappresentano la materia prima dell'intelligenza artificiale e, attraverso gli algoritmi, vengono elaborati e trasformati in applicazioni concrete e pratiche.⁴⁸

Addestrare il sistema su questa mole di informazioni rappresenta il cosiddetto machine learning, o apprendimento automatico, processo attraverso cui una macchina migliora le proprie prestazioni sulla base dell'esperienza accumulata. Uno degli esempi più rappresentativi di questo processo è ChatGPT, il quale è stato addestrato sui token. I Token sono come dei mattoncini Lego. Ogni mattoncino corrisponde, per l'IA, a un frammento o a un termine intero, questo dipende perché dalla lunghezza e complessità del termine stesso. Ad esempio, se un essere umano dovesse leggere la parola incostituzionalità non incontrerebbe nessuna difficoltà, mentre per un sistema di intelligenza artificiale la sua elaborazione risulta più complessa. L'IA ha bisogno di spezzettare incostituzionalità in più parti: "in" corrisponde ad un token, "costituzio" ad un altro token, "nal" è un altro ancora e così via. Come afferma Bezzecchi: "GPT-4 è stata addestrata su 1.4 trilioni di tokens, cioè ha letto mille miliardi di tokens. Se noi passassimo

⁴⁸ Pierani M., Scialdone M., *"Vivere con l'Intelligenza Artificiale: Società, consumatori e mercato"*, Espress Edizioni, Roma, 20 maggio 2021, p. 25.

12 ore al giorno a leggere per 80 anni, alla velocità di 250 parole al minuto, avremmo letto 5.25 miliardi di parole (tokens)".⁴⁹ A vedere questi dati sembra che l'IA sia molto più veloce di noi ad "apprendere" ma in realtà non è proprio così, Melanie Mitchell tratta proprio questo tema spiegando il concetto attraverso un'analogia con i bambini piccoli: "Un bambino, anche il più piccolo, impara un insieme indeterminato di categorie e riconosce esempi di quasi ognuna di esse dopo averne visti appena pochi di esemplari. Inoltre, i bambini non imparano in modo passivo: fanno domande, chiedono informazioni su ciò che li incuriosisce, e soprattutto esplorano attivamente il mondo."⁵⁰ Un bambino, quando apprende la parola "fuoco" la associa, tramite esperienza diretta, al calore, al pericolo, al dolore e al colore rosso. L'IA non sa che cos'è il fuoco ma semplicemente calcola che dopo la parola fuoco ci sia una probabilità che compaiano parole come "calore", "brucia", "dolore". Quindi non c'è un'esperienza sensoriale, l'IA non ha una coscienza propria attraverso cui può decidere cosa dire o cosa fare, funziona solamente quando viene interpellata e risponde aumentando la sua probabilità di ridurre al minimo il margine di errore. I modelli linguistici moderni sono solo sistemi probabilistici di elevata complessità, privi di una vera intelligenza umana, ma molto efficienti nei compiti per cui vengono addestrati. Ciononostante, il loro impatto sulla società e sull'economia è tutt'altro che trascurabile.

⁴⁹ Bezzecchi E., *"Intelligenza Artificiale"*, A.Vallardi, Milano, 2024, pp.168-170.

⁵⁰ Mitchell M., *"L'intelligenza artificiale: una guida per esseri umani pensanti"*, Einaudi, Torino, 2022, pp. 126-127.

3.4 IMPATTI ECONOMICI E SOCIALI DELL'IA

Indipendentemente dalla sua natura probabilistica e dalla questione se essa comprenda davvero ciò che elabora, gli impatti economici e sociali che l'IA sta già producendo sono concreti, misurabili e per molti settori già travolgenti. Sul piano della produttività, i sistemi IA stanno automatizzando una vasta gamma di compiti cognitivi che finora richiedevano una mano specializzata di impiegati. Attività come la traduzione di documenti, l'assistenza clienti, la generazione di report standard e l'analisi di contratti legali possono essere svolte da sistemi di IA con un livello di precisione tale da ridurre notevolmente il tempo e le risorse umane necessarie. Tutto questo per le aziende si traduce in un risparmio di costi, mentre per i lavoratori comporta il rischio concreto di perdere il proprio impiego, in un mercato del lavoro in rapida trasformazione.⁵¹

In medicina, l'algoritmo AlphaFold, sviluppato da Google DeepMind e guidato dalla ricerca di John Jumper e Demis Hassabis, ha risolto nel 2020 il problema del "protein folding", ossia la previsione della struttura tridimensionale delle proteine partendo dalla loro sequenza amminoacidica, un problema che i biologi cercavano di risolvere da oltre cinquant'anni.⁵² La soluzione a questo problema è di grande rilevanza scientifica, poiché conoscere la struttura di una proteina permette di comprendere il modo con cui essa interagisce con altre molecole, aprendo la strada allo sviluppo di farmaci capaci di bloccarla o modificarla. Prima di AlphaFold, determinare la struttura di una singola proteina richiedeva mesi o anni di lavoro in laboratorio, ora grazie all'intelligenza artificiale questo processo si compie in giro di pochi minuti e con un livello di precisione paragonabile ai metodi tradizionali.

⁵¹ OECD (2023), *"OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market"*, OECD Publishing, Parigi, 2023, pp. 6-7.

⁵² Jumper J., Evans R., Pritzel A., et al., *"Highly accurate protein structure prediction with Alphafold"*, Nature, vol.596, agosto 2021, pp. 583-589.

Sul fronte giuridico, finanziario e della consulenza, l'impatto dell'IA è maggiormente percepibile, poiché si tratta di settori in cui gran parte dell'attività è riconducibile all'elaborazione e all'analisi di informazioni. Secondo un'analisi di Goldman Sachs Research del 2023, le professioni legali e quelle amministrative risultano tra le più esposte all'automazione. Dal report si stima che circa il 44% delle mansioni nel settore legale e il 46% in quello amministrativo siano automatizzabili tramite l'uso dell'intelligenza artificiale.⁵³ Questi dati aprono un dibattito ancora ad oggi irrisolto sul futuro del mercato del lavoro. Economisti come Daron Acemoglu del MIT sostengono che l'IA venga usata troppo per sostituire i lavoratori e troppo poco per supportarli, rischiando di distruggere posti di lavoro senza crearne di nuovi in numero sufficiente.⁵⁴ Dall'altro lato, economisti come David Autor sostengono che le tecnologie nel lungo periodo tendono a creare più posti di lavoro di quanti ne riescano a distruggere, poiché aumentano la produttività complessiva dell'economia e generano nuovi bisogni.⁵⁵ Tuttavia, tale prospettiva ottimistica riguarda il lungo periodo, mentre nel breve termine la distruzione di posti di lavoro rappresenta già oggi una realtà concreta e urgente.

Entrambe le prospettive hanno al loro interno elementi di verità. Ogni grande ondata tecnologica ha trasformato alcune categorie di lavoro ma al tempo stesso ne ha create di nuove, anche se il bene è distribuito in maniera diseguale. Ciò che appare evidente è che non bisogna fermare questa trasformazione, ma bisogna imparare a governarla, investendo in formazione, politiche attive del lavoro e un utilizzo dell'IA che aiuti a valorizzare le capacità umane piuttosto che sostituirle, perché ogni volta che l'umanità ha

⁵³ Briggs J., Kodnani D., *"The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth"*, Goldman Sachs Global Economics Analyst, 26 marzo 2023, pp. 5-6.

⁵⁴ Dizikes P., *"What do we know about the economics of AI?"*, MIT News, 6 dicembre 2024.

⁵⁵ Autor D.H., *"Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation"*, Journal of Economic Perspectives, vol. 29, n.3, estate 2015, pp. 5-6.

affrontato una grande trasformazione tecnologica ha dovuto adattarsi, e non vi è motivo di pensare che questa volta non sarà in grado di fare lo stesso. Iniziare a comprendere l'innovazione tecnologica è già un primo passo verso questo equilibrio.

CONCLUSIONI

Il percorso tracciato in questo lavoro ha mostrato come l'innovazione tecnologica non sia un fenomeno isolato ma il risultato di una complessa combinazione di fattori economici, sociali, culturali e politici. La Prima Rivoluzione Industriale ha dimostrato che il progresso richiede un terreno culturale fertile, risorse disponibili, istituzioni favorevoli e una domanda crescente, per poter nascere. L'illuminismo ha fornito la mentalità necessaria, le risorse naturali britanniche hanno offerto i mezzi materiali e la Rivoluzione Agricola ha liberato la forza lavoro necessaria alla nascita del sistema fabbrica.

Nella Seconda Rivoluzione Industriale si è compreso che la tecnologia e la scienza potevano essere organizzate e gestite metodicamente. Il passaggio dal ferro all'acciaio, insieme alla scoperta dell'elettricità e del motore a combustione interna, ha dimostrato come ogni innovazione sia capace di dare vita a nuove catene produttive e di aprire la strada a nuove forme di organizzazione della produzione. Il Taylorismo e il Fordismo hanno rappresentato la manifestazione concreta di queste nuove forme di organizzazione del lavoro, trasformando la struttura della fabbrica e le condizioni di chi vi lavorava al suo interno.

La rivoluzione digitale ha infine segnato una rottura ancora più profonda rispetto alle precedenti trasformazioni tecnologiche, poiché per la prima volta nella storia la tecnologia ha iniziato ad automatizzare il lavoro cognitivo, non più soltanto il lavoro fisico. L'avvento di internet ha eliminato le distanze geografiche e temporali, modificando i mercati e il modo in cui le persone comunicano tra loro. L'intelligenza artificiale ha poi amplificato questa tendenza aprendo un dibattito ancora irrisolto sul futuro del mercato del lavoro e sul posto che l'essere umano occuperà in un'economia sempre più automatizzata.

In definitiva la storia dell'innovazione tecnologica è anche la storia della capacità umana di adattarsi al cambiamento e di trasformarlo in opportunità. Ogni grande trasformazione del passato è stata affrontata e superata con successo, e non vi è motivo di credere che quella attuale faccia eccezione.

BIBLIOGRAFIA

MONOGRAFIE

Bezzecchi E., *Intelligenza Artificiale*, A.Vallardi, Milano, 2024.

Bonazzi G., *Storia del pensiero organizzativo*, Franco Angeli, Milano, 2008.

De Simone E., *Storia Economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, Milano, 2018.

Hobsbawm E., *Age of Extremes the short twentieth century 1914-1991*, Abacus, Londra, 1995.

Mitchell M., *L'intelligenza artificiale: una guida per esseri umani pensanti*, Einaudi, Torino, 2022.

Mokyr, J., *Una cultura della crescita le origini dell'economia moderna*, il Mulino, Bologna, 2018.

Neal L., Cameron R., *Storia economica del mondo*, il Mulino, Bologna, 2016.

Perani G., Nascia L., *La misurazione dell'economia delle piattaforme in Italia*, Istat, Roma, 2022.

Pierani M., Scialdone M., *Vivere con l'Intelligenza Artificiale: Società, consumatori e mercato*, Espress Edizioni, Roma.

Smith A., *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, 1776, ed. digitale.

ARTICOLI

Sabel C., Zeitlin J., *“Alternative storiche alla produzione di massa”*. Stato e Mercato, n.5, agosto 1982.

Turing A.M., “*Computing Machinery and Intelligence*”, *Mind*, vol. 49, 1950.

OECD (2023), “*OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market*”, OECD Publishing, Parigi, 2023.

Jumper J., Evans R., Pritzel A., et al., “*Highly accurate protein structure prediction with Alphafold*”, *Nature*, vol.596, agosto 2021.

Briggs J., Kodnani D., “*The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth*”, Goldman Sachs Global Economics Analyst, 26 marzo 2023.

Autor D.H., “*Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation*”, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 29, n.3, estate 2015.

ENCICLOPEDIA E FONTI ONLINE

Enciclopedia Treccani, voce “Macchina a vapore”, in [treccani.it](https://www.treccani.it).

Enciclopedia Treccani, voce “BESSEMER”, in [treccani.it](https://www.treccani.it).

Enciclopedia Treccani, voce “Acciaio”, in [treccani.it](https://www.treccani.it).

Enciclopedia Treccani, voce “Motore a combustione interna”, in [treccani.it](https://www.treccani.it).

Ford Motor Company, *The Model T*, sito ufficiale corporate Ford.

Hodges A., “Alan Turing”, in *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E.N. Zalta, Winter 2019 Edition.

Shustek L.J., “*Programming the ENIAC: an example of why computer history is hard*”, Computer History Museum, 18 maggio 2016.

Schneider J., Smalley I., “*Cos'è un microprocessore?*”, IBM Think, 10 giugno 2024, link: <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/microprocessor>, consultato il 10 maggio 2026.

Levy S., Montevirgen K., voce “Apple Inc.”, in *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/money/Apple-Inc>, consultato il 15 maggio 2026.

Zachary G.P., Hall M., Montevirgen K., voce “Microsoft Corporation”, in *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/money/Microsoft-Corporation>, consultato il 17 maggio 2026.

Kahn R., voce “internet”, *Encyclopaedia Britannica*, link: <https://www.britannica.com/technology/Internet>, consultato il 19 maggio 2026.

CERN, “*World Wide Web at 35*”, home.cern, link: <https://home.cern/world-wide-web-35>, consultato il 20 maggio 2026.

Dizikes P., “*What do we know about the economics of AI?*”, MIT News, 6 dicembre 2024.