



Dipartimento di Impresa e Management

Cattedra di Economia Industriale

# "Cambiamento tecnologico e occupazione. Il caso della quarta rivoluzione industriale"

Prof. Rinaldo Evangelista

---

RELATORE

Salvatore Guido Alessandro De Marco Matr.240031

---

CANDIDATO

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	2
<b>Capitolo 1: Evoluzione nel tempo del rapporto innovazione-occupazione</b> .....	5
1.1: Sguardo alla storia economica .....	5
1.1.1: I meccanismi di compensazione .....	6
1.2: Solow e i modelli neoclassici .....	10
1.3: I neokeynesiani .....	12
1.4: Il pensiero strutturalista e neoschumpeteriano .....	15
<b>Capitolo 2: Rivoluzioni industriali e paradigmi tecnico-economici</b> .....	19
2.1: Le rivoluzioni passate .....	19
2.1.1: Le rivoluzioni industriali .....	21
2.2: Innovazioni e sistemi economici .....	26
2.2.1: Classificare le innovazioni .....	27
2.2.2: I “Key factor” di un paradigma tecnico-economico e la sua diffusione .....	34
2.2.3: I cambiamenti sociali ed istituzionali .....	37
2.3: Il paradigma delle ICT e la rivoluzione informatica .....	39
<b>Capitolo 3: I cambiamenti dell’epoca contemporanea</b> .....	49
3.1: La quarta rivoluzione industriale .....	49
3.2: L’Industria 4.0 .....	55
3.3: Le tecnologie abilitanti.....	57
<b>Capitolo 4: Conseguenze occupazionali e considerazioni finali</b> .....	62
4.1: Gli effetti delle nuove tecnologie sull’occupazione .....	62
4.2: Conclusioni .....	79
<b>Riferimenti bibliografici e sitografici</b> .....	84

## Introduzione

Sin dagli albori della sua comparsa sulla terra l'essere umano si è evoluto adattandosi a nuovi contesti e habitat. Le scoperte e le invenzioni che si sono susseguite nel tempo gli hanno permesso di sopravvivere e di sfruttare al meglio le poche risorse di cui disponeva. Nel corso dei secoli le innovazioni tecniche e scientifiche hanno modificato in maniera più o meno significativa il modo in cui le varie società conducevano la loro vita. L'evoluzione della nostra specie è scandita da diverse rivoluzioni, termine che secondo la definizione fornita dal dizionario Devoto – Oli *“rappresenta ogni processo storico anche graduale, che finisca per determinare il mutamento di un assetto sociale, politico, economico e culturale”*. Di rivoluzioni politiche, sociali, culturali i libri di storia sono pieni, ma una tipologia in particolare ha avuto (e sta avendo) forti ripercussioni sulla vita che conduciamo tutti noi: le rivoluzioni industriali. Le rivoluzioni industriali sono state definite in molte maniere, ma la caratteristica comune di questi fenomeni è che rappresentano un punto di discontinuità a livello tecnologico con il periodo precedente derivante da un cluster di innovazioni che determina un cambiamento significativo prima nell'economia e poi in ogni aspetto della vita umana. Lo scopo dell'elaborato finale del mio percorso di studi sarà quello di andare ad analizzare l'impatto che le rivoluzioni, in particolare la quarta rivoluzione industriale, hanno avuto sulla società con un focus particolare ad una delle sue componenti che oggigiorno occupa una buona parte del nostro tempo: il lavoro. Nel primo capitolo andrò ad analizzare come diverse correnti di pensiero abbiano in passato concepito il rapporto tra innovazione e occupazione, con particolare riferimento ai meccanismi di compensazione individuati dagli economisti classici e alle teorie sviluppatesi negli ultimi decenni. Il secondo capitolo sarà incentrato su un'analisi storica delle rivoluzioni industriali, di come la società è mutata nel tempo a causa delle innovazioni tecnologiche e dell'avvento delle macchine che in parte hanno sostituito gli uomini nelle loro mansioni. Per comprendere l'impatto delle innovazioni andrò ad analizzare, sempre nel secondo capitolo, le diverse classificazioni delle innovazioni. Mi concentrerò sulla teoria sviluppata da Freeman e Perez (1988) dei paradigmi tecnico-economici e approfondirò il ruolo dei “Key factor” nei diversi periodi, prendendo come esempio il caso della terza rivoluzione industriale e delle ICT. Il terzo capitolo sarà incentrato sull'analisi del fenomeno della quarta rivoluzione industriale, che non tutti gli studiosi ritengono stia avvenendo, le sue caratteristiche, i consigli per governarla al meglio. Un'altra parte del terzo capitolo sarà dedicata all'analisi dell'Industria 4.0 e delle tecnologie che rientrano in questa categoria. L'ultimo capitolo sarà incentrato sugli effetti occupazionali delle nuove tecnologie e sul dibattito che si è creato attorno a questo tema: i robot e le AI sanciranno in un prossimo futuro la fine del lavoro umano? Infine, nell'ultimo paragrafo andrò ad esporre le mie conclusioni sul tema discusso e sulle possibili azioni

da intraprendere in futuro per far sì che il cambiamento apportato dalle innovazioni dei prossimi anni sia positivo e non danneggi la società.

# Capitolo 1: Evoluzione nel tempo del rapporto innovazione-occupazione

## 1.1: Sguardo alla storia economica

Il dibattito concernente il rapporto tra innovazione tecnologica e l'effetto di questa a livello occupazionale nasce nel XVIII secolo durante la rivoluzione industriale grazie al contributo di James Stuart. L'economista faceva notare come la rapida meccanizzazione dell'Inghilterra aveva sì gli effetti di aumentare la produttività, la domanda di nuovi macchinari e ridurre i prezzi, ma faceva nascere anche il problema del riassorbimento nel mercato del lavoro di tutti quegli operai non più necessari e ipotizzava un possibile intervento dello Stato per risolvere il problema. Anche Adam Smith aveva ricollegato la riduzione degli occupati, considerando il risparmio per l'imprenditore, all'introduzione delle macchine e alla possibilità di organizzare e specializzare il lavoro nelle fabbriche. Al tempo gli economisti si dividevano in due schieramenti principali: coloro che pensavano che il mercato avesse la capacità di autoregolarsi attraverso meccanismi interni e che quindi la disoccupazione fosse solo momentanea, e coloro che ritenevano che il cambiamento tecnologico avrebbe ridotto sempre di più il fattore lavoro necessario alla produzione, favorendo il capitale e i macchinari, provocando disoccupazione tecnologica permanente. Tra i primi rientrano i nomi di economisti famosi come Jean Baptiste Say, noto per la sua legge degli sbocchi<sup>1</sup>, secondo la quale è l'offerta a creare la domanda, e convinto sostenitore dell'equilibrio macroeconomico dei mercati, o Thomas Malthus che sosteneva gli effetti positivi della macchinizzazione del lavoro, capace di aumentare la produzione e la domanda dei beni.

Anche se gli economisti tentavano di spiegare scientificamente il mondo come appariva loro, la classe operaia era di differenti vedute in quanto le condizioni lavorative peggioravano e il salario era quello di sussistenza. Di conseguenza nacquero associazioni di categoria per difendere i diritti degli operai e organizzare proteste contro le fabbriche, anche distruggendo macchinari e incendiando le case dei padroni delle fabbriche. Portavoce di questo movimento di insoddisfazione in Inghilterra fu Ned Ludd, personaggio di cui non è certa l'esistenza, famoso per aver bruciato il telaio di una fabbrica tessile nel 1779. A proposito di queste insurrezioni e della preoccupazione popolare relativa al progresso tecnologico David Ricardo scrive, nel suo *“Principles of Political Economy and Taxation”* (1821), “L'opinione diffusa tra le classi lavoratrici che l'impiego delle macchine è spesso dannoso per i loro interessi, non è fondata su pregiudizi ed errori, ma è conforme ai corretti principi di economia politica”. Nonostante ciò, Ricardo era comunque un sostenitore della teoria classica

---

<sup>1</sup> J. B. Say, *Trattato di economia politica*, 1803

secondo la quale il mercato sarebbe stato in grado di compensare gli effetti negativi a livello occupazionale.

Feroce critico del capitalismo e del *laissez faire* fu Marx, che mise in evidenza le misere condizioni lavorative degli operai e della classe proletaria. Il pensiero marxista si basava sul metodo dialettico di Hegel applicato all'economia e riteneva che il capitalismo fosse solo una fase del processo di sviluppo economico mondiale poiché al suo interno vi erano delle contraddizioni che ne avrebbero determinato la fine, passando ad un tipo di economia socialista. La problematica principale del capitalismo è evidenziata nella teoria del plusvalore e nella caduta tendenziale del saggio di profitto. Secondo il filosofo, la disoccupazione sarebbe aumentata sempre di più perché il cambiamento tecnologico e la meccanizzazione delle industrie eliminano più lavoro di quanto l'accumulazione del capitale e la domanda generino nuovi posti disponibili: la composizione dei fattori produttivi tenderà a favorire il capitale, il quale rimpiazzerà il lavoro, accrescendo quello che Marx chiamava "esercito industriale di riserva", ossia i disoccupati, permettendo ai capitalisti di offrire salari sempre più bassi. Scriveva Marx ne "Il capitale" (1867) "*L'accumulazione del capitale, pur apparendo originariamente solo come una sua estensione quantitativa, si realizza, come abbiamo visto, sotto un progressivo cambiamento della sua composizione, sotto un costante aumento della sua costante, a spese del suo costituente variabile*". Di conseguenza, le dimensioni medie delle imprese e la scala produttiva (il capitale costante) sarebbero state incrementate, mentre il potere d'acquisto delle famiglie sarebbe dovuto diminuire a causa dei salari ridotti e dei minori posti di lavoro (il capitale variabile), andando a determinare crisi di sovrapproduzione di portata sempre maggiore. Anche se crisi di sovrapproduzione si sono susseguite nella storia economica, Marx non aveva previsto la capacità del capitalismo di adattarsi e di rinnovarsi, non solo riuscendo ad assorbire duri colpi ma addirittura espandendosi e trovando la propria massima espressione nel processo di globalizzazione.

### 1.1.1: I meccanismi di compensazione

Il dibattito degli effetti occupazionali dell'innovazione sviluppatosi nel XIX secolo riguardava per lo più innovazioni di processo, relative all'incremento della dotazione di capitale o l'introduzione di nuovi e migliori macchinari, che per loro natura erano *labour-saving*. Un'innovazione di processo, definita da Schumpeter come "l'introduzione di un nuovo metodo di produzione o di un nuovo modo di commercializzare un bene" (1934), punta a produrre una stessa quantità di output attraverso l'utilizzo di una minore quantità di input, principalmente il lavoro poiché è di più semplice smobilitazione. La capacità del capitalismo di sopportare le crisi e di recuperare i posti di lavoro persi a causa dell'innovazione tecnologica, ha portato gli economisti classici a sviluppare una teoria, definita in seguito da Marx "dei meccanismi di compensazione".

Vivarelli (1995) fa un elenco completo di questi meccanismi del mercato che permetterebbero di bilanciare gli effetti negativi e il risparmio di lavoro derivante dalle innovazioni di processo, corredato anche dalle critiche mosse a questa teoria. In particolare, individua i meccanismi di compensazione:

- "Attraverso nuove macchine": le innovazioni che riducono i lavoratori nelle industrie utilizzatrici dei nuovi macchinari sono le stesse che creano nuovi posti di lavoro nei settori dove quelle macchine vengono prodotte.
- "Attraverso la riduzione dei prezzi": dato che le innovazioni di processo comportano una riduzione dei costi unitari di produzione, in un mercato competitivo ciò implica una diminuzione corrispettiva dei prezzi, a cui segue, secondo la teoria microeconomica, un aumento della domanda che genera la necessità di incrementare la produzione e, quindi, nuovi posti di lavoro. Questo particolare meccanismo di compensazione è stato ripreso più volte dagli economisti neoclassici e contemporanei ed è l'ipotesi fondamentale su cui si basa la Legge di Say, per cui l'offerta troverà sempre una domanda di egual misura in un mercato concorrenziale e il progresso tecnologico non ostacola questo processo, bensì ne è parte integrante.
- "Attraverso nuovi investimenti": le innovazioni richiedono tempo per diffondersi e durante questo periodo di cambiamento, quando i costi si riducono e i prezzi devono ancora adattarsi, gli imprenditori-innovatori possono conseguire extra-profitti. Tali profitti potranno essere reinvestiti nel mercato creando nuovi prodotti, imprese e posti di lavoro. Questa ipotesi, proposta inizialmente da Ricardo (1951 vol. I p.396), è stata poi ripresa da economisti neoclassici come Marshall (1961, p. 542).

- “Attraverso la diminuzione dei salari”: l’effetto delle tecnologie a risparmio di lavoro trova nel mercato del fattore stesso un effetto compensativo. Assumendo un contesto perfettamente competitivo e la totale sostituibilità tra capitale e lavoro, la disoccupazione porta ad una diminuzione dei salari, la quale induce le imprese ad assumere più lavoratori.
- “Attraverso l’aumento dei redditi”: in contrasto con il meccanismo precedente, poiché sviluppato dalla corrente keynesiana, questo prevede che i benefici del progresso tecnologico vengano in parte redistribuiti sui salari dei lavoratori, grazie anche all’azione sindacale. Un reddito più elevato aumenterebbe i consumi degli individui e, quindi, la domanda aggregata, generando così nuovi posti di lavoro che compenserebbero quelli persi a causa delle innovazioni.

I fautori dei meccanismi di compensazione sostengono che quest’ultimi siano in grado di compensare i possibili effetti negativi delle innovazioni di processo. Tuttavia, le innovazioni non riguardano soltanto i metodi di produzione e commercializzazione, ma anche i beni e servizi. Le innovazioni di prodotto, come le definiva Schumpeter, si concretizzano nell’introduzione di un nuovo bene o di una nuova qualità dello stesso. Queste hanno l’effetto di aumentare la qualità, la quantità e la varietà dei beni messi in circolazione dall’offerta, portando delle volte alla creazione di nuovi mercati e incrementando la produzione e l’occupazione. Questa tesi è supportata dagli economisti classici come Say (1964, p88), ma anche da Marx (1961, vol I, p.445) il quale ha sottolineato i possibili benefici derivanti dalle innovazioni di prodotto. L’economia classica<sup>2</sup> ha sempre avuto estrema fiducia nei meccanismi autoregolatori del mercato, tuttavia, non sempre la realtà rispecchia e ha rispecchiato le passate teorizzazioni ottimistiche dato che le assunzioni dei modelli sono spesso riduttive, semplificative e, per loro natura, non tengono conto di tutta una serie di variabili che hanno come effetto quello di cambiare, anche sostanzialmente, i risultati finali.

I meccanismi di compensazione sopradescritti sono stati oggetto di svariate critiche nel corso degli anni, che si possono sintetizzare in:

- L’introduzione di nuove macchine, osservava Marx (1969, p.552) genera profitto solo se il suo utilizzo rende molto di più della forza lavoro che sostituisce e ciò rende quantomeno inefficace il meccanismo. Se poi le nuove macchine vengono implementate per sostituire quelle vecchie e obsolete, allora la compensazione è addirittura nulla (Freeman et al, 1982).
- La riduzione dei prezzi derivante dall’introduzione di una nuova tecnologia dovrebbe bilanciare la diminuzione della domanda prodotta dal licenziamento dei lavoratori. Tuttavia,

---

<sup>2</sup> Ossia quella corrente di pensiero che si è sviluppata in seguito ai lavori di Smith, Ricardo, Malthus, Say, Mill e che fa propri i principi del libero mercato e del *laissez-faire*.



questo meccanismo non tiene conto della presenza di vincoli sul lato della domanda, i quali possono ritardare le decisioni di spesa, e presuppone un'elevata elasticità al prezzo dei beni, caratteristica non sempre presente; inoltre, le imprese dovrebbero decidere di tradurre l'efficientamento della produzione automaticamente in prezzi più bassi, assumendo, quindi, l'assenza di potere di mercato nelle forme del monopolio e dell'oligopolio (Sylos Labini, 1964).

- Il meccanismo tramite nuovi investimenti si basa sulla già citata Legge di Say, aspramente criticata sia da Marx che da Keynes, la quale prevede che tutti i profitti generati dalle innovazioni vengano immediatamente e interamente reinvestiti. Questo processo viene ostacolato dal fatto che le imprese spesso non ritengono opportuno o profittevole reinvestire la totalità dei propri guadagni, a causa di instabilità del mercato, della politica o delle condizioni di domanda, e se anche lo facessero, nuovi investimenti in capitale e macchinari compenserebbero solo parzialmente la perdita di posti di lavoro.
- La riduzione dei salari deriva da forti ipotesi semplificatrici che contrastano spesso con la realtà dei fatti: flessibilità salariale, concorrenza perfetta dei mercati, specialmente quello del lavoro, assenza di sindacati. Inoltre, contrasta con la teoria keynesiana della domanda effettiva, poiché la diminuzione della domanda aggregata ha come effetto quello di ridurre le aspettative future dei datori di lavoro, i quali tenderanno ad assumere meno lavoratori.
- Il modello di produzione fordista, che prevedeva l'aumento del salario dei lavoratori quando l'azienda conseguiva maggiori profitti, ha permesso negli anni del dopoguerra l'aumento del potere d'acquisto delle famiglie ed è sfociato nella dinamica del consumo di massa e in un aumento generalizzato della domanda aggregata. Questi fenomeni, a loro volta, stimolavano nuovi investimenti e permettevano di ridurre i costi attraverso le economie di scala. Le innovazioni di processo di questo periodo avevano messo in atto il "circolo virtuoso" descritto da Kaldor (1981), permettendo effettivamente di compensare l'effetto negativo delle tecnologie di risparmio di lavoro. Al giorno d'oggi però, le dinamiche lavorative sono mutate (Appelbaum e Schettkat, 1995) a seguito di cambiamenti istituzionali, sociali, dei mercati e la distribuzione del reddito si basa maggiormente sulla curva di Philips piuttosto che sulla condivisione dei profitti tra azienda e lavoratori, riducendo gli effetti positivi del meccanismo di compensazione.

Le innovazioni di prodotto e gli effetti positivi a livello occupazionale possono essere più o meno efficaci. Gli effetti cosiddetti "benessere" (o welfare) derivanti dalla creazione di nuovi mercati o maggiore domanda possono essere controbilanciati dagli effetti di sostituzione e rimpiazzo dei beni esistenti (Katsoulacos, 1986), che vanno invece a ridurre i posti di lavoro. In generale, ogni paradigma

tecnologico è caratterizzato da diverse serie di prodotti che vengono via via immessi sul mercato, i quali a loro volta richiedono più o meno forza lavoro necessaria per produrli e commercializzarli: la nascita del settore automobilistico probabilmente ha aumentato l'occupazione, mentre l'invenzione del formato musicale MP3 avrà avuto un impatto meno significativo, se non addirittura negativo poiché ha ridotto esponenzialmente le vendite di vinili e CD. In epoche diverse l'effetto del risparmio di manodopera derivante dalle innovazioni di processo e la compensazione derivante dalle forze del mercato e dall'introduzione di nuovi prodotti può variare significativamente. Il risultato finale, come spesso accade, dipende da molti fattori interconnessi tra di loro: innovazioni di prodotto e di processo, risparmio di manodopera e meccanismi di compensazione, le dinamiche del mercato del lavoro, gli ostacoli alla concorrenza, il quadro economico generale, quello istituzionale, sociale e le possibilità tecnologiche e di investimento future. La relazione vigente tra innovazione tecnologiche ed occupazione è stata affrontata in maniera differente da economisti appartenenti a diverse correnti di pensiero. Petit (1995) fa una suddivisione tra tre correnti principali: la prima corrente è quella degli economisti neoclassici, che riprendono il pensiero di Solow, la seconda è rappresentata dagli economisti neokeynesiani e la terza scuola di pensiero è un mix tra gli "strutturalisti" e seguaci del pensiero di Schumpeter.

## 1.2: Solow e i modelli neoclassici

Il modello di crescita neoclassico, come sviluppato da Solow (1956), nel lungo periodo non prevedeva cambiamento tecnologico e nemmeno disoccupazione, dato che l'occupazione era pari all'offerta di lavoro. La funzione di produzione era rappresentata da una Cobb Douglas con rendimenti di scala costanti e l'economia tendeva verso uno stato stazionario<sup>3</sup>:

$$k^{1-\alpha} = s/n$$

dove  $k$  rappresenta lo stock di capitale per lavoratore,  $s$  la percentuale di risparmi degli individui e  $n$  è il tasso di crescita della domanda di lavoro. Dato che  $\alpha$  è minore di 1, ad ogni aumento di  $n$  corrisponderebbe una diminuzione del capitale per lavoratore ( $k$ ), il quale rimane costante per definizione. Nell'anno successivo (1957) per correggere il modello in relazione alle osservazioni che evidenziavano come la crescita economica presupponesse un incremento del capitale, Solow ha introdotto nella funzione di produzione un parametro che rappresentasse l'effetto del cambiamento tecnologico, il quale però veniva visto come esogeno. Di fatti, le critiche al modello si concentravano per lo più sul fatto che il progresso tecnologico, il quale richiede capacità, inventiva, creatività e volontà da parte degli individui, venisse relegato a componente esogena del sistema, non spiegandone esattamente cause e caratteristiche. Successivamente, il modello è stato oggetto di rivisitazioni e sviluppi che gli hanno permesso di descrivere meglio il fenomeno delle innovazioni tecnologiche e del loro impatto sull'occupazione. Le principali teorie sono tre:

- Il modello sviluppato da Hall (1988, 1990), il quale si è concentrato sulle dinamiche di mercato e sulle sue storture, interpretando il residuo di Solow come effetto del potere monopolistico. In particolare, se i mercati dei prodotti e dei fattori di produzione non fossero competitivi allora il calcolo del residuo non sarebbe corretto. Le cause più importanti di questo errore di misurazione sono il potere di mercato e i rendimenti di scala crescenti. Per quanto riguarda il mercato del lavoro e la composizione dei salari, è interessante notare come non siano analizzati dal modello perché, dai risultati ottenuti, Hall conclude che i cambiamenti a breve termine non hanno un significativo impatto sulla dinamica della produttività.
- L'approccio *Real Business Cycle* (o ciclo economico reale) afferma che il progresso tecnologico segue un processo stocastico e ricorsivo, gli agenti economici hanno un comportamento razionale ed ottimizzante in relazione agli shock esogeni e che i cambi di produttività derivino dalla possibilità dei lavoratori di sostituire il tempo libero con il lavoro in tempi diversi. Tuttavia, l'ipotesi di sostituzione rimane teorica poiché significherebbe che

---

<sup>3</sup> Anche conosciuta con la formula  $k/f(k) = s/n$

i cambiamenti a livello occupazionale successivi ad uno shock tecnologico derivano dalla reazione dei lavoratori, relegando la disoccupazione a una mera scelta volontaria da parte degli individui. In tempi recenti, Henin (1991) si discosta dall'ipotesi della sostituzione tra tempo libero e lavoro e sottolinea, invece, gli effetti del cambiamento nella capacità produttiva e delle dinamiche del mercato del lavoro attuali, riprendendo la teoria del salario di efficienza e quella della ricerca del lavoro.

- La nuova teoria della crescita nega alcune ipotesi del modello di Solow, ammettendo l'esistenza di rendimenti crescenti a livello di industria o di economia. Prendendo il concetto del *learning-by-doing* da Arrow (1962), i modelli hanno evidenziato la presenza di esternalità positive nella produzione (di tipo marshalliano) derivanti dalla condivisione della conoscenza e dallo sfruttamento dello stock di capitale umano, specialmente nelle attività di ricerca e sviluppo (Romer 1990). Una diversa idea è stata proposta da Lucas (1988), secondo il quale le esternalità dipendono sia dall'accumulazione dello stock di capitale umano, che può essere aumentato tra un periodo e l'altro attraverso la formazione, sia dal livello medio dello stesso, che genera i rendimenti crescenti a livello globale.

Le nuove concettualizzazioni del modello di Solow hanno introdotto nuove variabili che tentano di spiegare il cambiamento tecnologico e gli effetti a livello economico, istituzionale ed occupazionale. Tuttavia, come ha notato Pianta (2005), le innovazioni tecnologiche hanno una natura disequilibratrice che collide con le ipotesi neoclassiche di equilibrio economico generale tra domanda e offerta e di completa flessibilità del mercato del lavoro, relegando le riduzioni dei posti di lavoro a fenomeni di aggiustamento di breve termine.

### 1.3: I neokeynesiani

Nella sua classificazione Petit considera neokeynesiani tutti quegli approcci che non danno per scontata la dinamica equilibratrice tra domanda e offerta basata sulla variazione dei prezzi e delle quantità prodotte e domandate. Inoltre, questo approccio ritiene che gli agenti economici non dispongano di informazioni complete e razionalità, ammettendo la possibilità che la disoccupazione non sia solo quella frizionale di breve periodo, come i neoclassici, ma possa avere caratteristiche più strutturali. Gli studi considerati sono caratterizzati dall'analisi empirica del contesto economico, come quelli multisettoriali, i quali forniscono un'analisi dettagliata degli effetti del cambiamento tecnologico sul mercato del lavoro. I principali modelli post-keynesiani sono anch'essi tre: gli approcci a prezzo fisso, quelli neo-smithiani e i modelli multisettoriali. I primi sostengono che il risultato a livello occupazionale di un qualsiasi cambiamento a livello tecnologico dipende da una serie di varie elasticità e di come queste interagiscono tra loro. In particolare, i driver che determinano un aumento o una diminuzione della domanda di lavoro sono: l'elasticità della domanda, il costo unitario del lavoro e l'intensità del cambiamento tecnico (che può essere generale o limitato ad un singolo settore). Ad esempio, Neary (1981) e Sinclair (1981) hanno dimostrato come in presenza di salari fissi in termini nominali, un cambiamento tecnologico porta ad un aumento della domanda di lavoro a patto che l'elasticità della domanda sia maggiore di uno. Katsoulacos (1986) ha esteso questa analisi nei casi di imperfezione del mercato dimostrando come sia l'elasticità della domanda in relazione all'output a determinare gli effetti di un'innovazione sulla domanda di lavoratori. Nei modelli sulla viscosità dei prezzi (del disequilibrio) come sviluppati da Barro Grossman (1971) salari e prezzi rigidi portano vincoli di quantità nei mercati. Il modello di base presentava solo due mercati, dei beni e del lavoro, e se entrambi erano nella condizione di eccesso di offerta uno shock esogeno avrebbe determinato una riduzione della domanda di lavoro. Questi schemi hanno aiutato a distinguere tra disoccupazione classica e disoccupazione di tipo keynesiano e sono stati utili per trovare opportune politiche per combatterle a seconda del contesto. Tuttavia, presentavano dei difetti: avevano un approccio grezzo alle dinamiche relative alla relazione occupazione-cambiamento tecnologico e perciò il potere predittivo delle formule era limitato. Sneessens (1987, 1990) ha sviluppato un proprio modello per correggere questi limiti concentrandosi maggiormente sulle rigidità tecniche, le quali secondo lui determinavano le imperfezioni di mercato e i conseguenti vincoli quantitativi, piuttosto che sui prezzi. In particolare, ogni settore disponeva di una sua impresa rappresentativa con una data tecnologia di produzione, la quale sceglie output e prezzi per massimizzare il profitto avendo a disposizione un determinato stock di capitale. I vincoli quantitativi derivano da tre fattori: domanda insufficiente, carenza nell'offerta di lavoro oppure necessità di maggiore capitale. Tale modello permette di stimare l'impatto di un eventuale cambiamento della

tecnologia sulla domanda di lavoro, calcolando le differenze nei rapporti tra lavoro-output e capitale-output, anche se mostra le sue difficoltà quando il numero di settori presi in considerazione è maggiore di due.

I modelli Multisetoriali si sono diffusi a partire dagli anni '60 e '70 grazie alle migliorate capacità di calcolo dei computer e dell'applicazione degli stessi in ambito statistico. La peculiarità di questi modelli è che permettono un'attenta analisi empirica dei dati attraverso simulazioni e modelli econometrici, la quale tuttavia è inficiata quando i cambiamenti tecnologici sono repentini e determinano una rottura con il periodo precedente. Perciò quando avvengono cambiamenti strutturali nell'economia, lo sviluppo di questi modelli richiede consulenze statistiche da parte di esperti e analisi di simulazione. Altro problema è il grado di arbitrarietà delle ipotesi, delle variabili prese in considerazione e del metodo di raccoglimento dei dati che possono intaccare la validità e la credibilità dei risultati ottenuti. Petit (1995) riporta le analisi svolte da Whitley e Wilson (1982, 1987) che studiano l'impatto occupazionale delle *information technologies*, in particolare sulla modifica che avviene nei componenti della domanda. Nella simulazione del 1982, che analizzava una quarantina di settori dell'economia britannica nel decennio 1980-1990, i dati mostrano come la riduzione di 342000 posti di lavoro verrà compensata da 175000 lavoratori assunti grazie alla discesa dei prezzi, 142000 derivanti dalla crescita della domanda interna e altri 106000 posti di lavoro per effetto di un aumento della competitività (non di prezzo), generando quindi 81000 occupati in più, i quali tuttavia potrebbero diminuire significativamente (circa di 213000 unità) a seconda della velocità di diffusione delle tecnologie dell'informazione nel Regno Unito rispetto agli altri paesi. Utilizzando lo stesso modello, a cui avevano apportato qualche modifica (maggiore focus sui servizi, ipotesi aggiornate sull'andamento della produttività e analisi relativa a 49 settori), Whitley e Wilson nel 1987 hanno svolto delle simulazioni riguardanti lo stesso argomento ma prendendo in considerazione gli anni che vanno dal 1985 al 1995 sempre in UK. Questa volta il risultato più lampante è il sostanziale squilibrio che c'è tra i vari settori: quello manifatturiero non gode degli aumenti di produttività derivanti dalla diffusione delle IT, continuando a perdere addetti, mentre i posti di lavoro nel terziario crescono anche se presentano minori guadagni in termini di efficienza.

I modelli neosmithiani si basano sugli studi di Smith sulla divisione del lavoro e sugli sviluppi apportati alla teoria da Allyn Young che dimostrano come l'innovazione sia favorita dalla divisione su larga scala dei compiti sia all'interno dell'impresa sia tra imprese diverse. Kaldor (1981, 1986) ha evidenziato come la combinazione di questi elementi porti al processo definito di "causazione cumulativa": se vengono rispettati i criteri per la formazione della domanda, l'espansione dei mercati produce rendimenti crescenti di scala sia interni che esterni e questi incrementi di produttività

generano a loro volta un'espansione dei mercati, instaurando un circolo virtuoso che permette la crescita economica. A ciò è stata aggiunta la legge di Verdoorn, la quale lega la crescita dell'output agli incrementi di produttività di medio termine: la crescita della produzione porta a nuovi investimenti, i quali stimolano la diffusione di nuove tecniche produttive che permettono ulteriori riduzioni dei costi. La linea teorica che si è sviluppata a partire da questi studi si è concentrata su come stimare i guadagni in produttività, distinguendoli dall'allocazione dei suddetti. Tuttavia, i tentativi di stimare la causalità cumulativa non sono riusciti a spiegare esattamente le dinamiche relative alla relazione innovazione-occupazione, anche se Boyer e Petit (1981), attraverso una serie di equazioni che tengono conto della domanda interna e degli aumenti di produttività (relegando però il ritmo di avanzamento tecnologico, dato dagli investimenti in R&S, e gli elementi che determinano la domanda come esogeni) hanno evidenziato come l'innovazione e i rendimenti crescenti in sei industrie europee hanno ridotto il numero di occupati nell'industria manifatturiera, riduzione che potrebbe essere evitata solo a condizione che la domanda aumenti significativamente durante il processo. In particolare, i dati mostrano come un aumento dell'1% delle tecnologie ad alta intensità di capitale provocano un incremento dell'output dell'1%, a scapito di una diminuzione dello 0,2% di lavoro; mentre aumentando le spese in R&S dell'1% l'occupazione scenderebbe dello 0,5%<sup>4</sup>. Gli autori hanno continuato l'analisi andando ad indagare le diverse origini della formazione della domanda (prezzi, profitti, salari etc.), le quali hanno portato a sviluppare altrettanti regimi di crescita differenti (guidati dalla crescita dei salari, delle esportazioni o dei profitti etc.). Altri modelli hanno sviluppato queste interrelazioni: Fagerberg (1991) ha formalizzato le dinamiche tra la formazione dei salari, il cambiamento tecnologico e la crescita dell'occupazione, mentre Scott (1991) ha insistito sulla natura intrinseca delle innovazioni tecnologiche a generare crescita economica attraverso nuovi investimenti. Gli studi neosmithiani che sviluppano la teoria kaldoriana sottolineano tutti la natura endogena del cambiamento tecnologico, tuttavia, come per i neokeynesiani, le caratteristiche dello stesso rimangono quasi astratte, così come gli effetti delle innovazioni (di prodotto e di processo) e i diversi ritmi e velocità di diffusione delle tecnologie.

---

<sup>4</sup> Non considerando gli effetti di bilanciamento derivanti dall'aumento della domanda

## 1.4: Il pensiero strutturalista e neoschumpeteriano

I modelli strutturalisti hanno come base per le loro teorie gli studi di Schumpeter, Hicks e Chamberlin e, superando il bias degli approcci neokeynesiani che tendevano verso le innovazioni di processo e i conseguenti guadagni di produttività, si concentrano sul processo produttivo a diversi livelli. Anche qui Petit (1995) esegue una tripartizione delle correnti di pensiero che seguono i tre economisti sopracitati.

Gli *Hicksiani* considerano il cambiamento tecnologico non come un processo lineare, bensì caratterizzato da discontinuità, le quali possono causare periodi di crescita o di recessione economica. Di conseguenza, quando si verifica un'innovazione di processo che rappresenta una rottura con il periodo precedente si avvia un lungo percorso di accumulazione del capitale che determinerà la fase di crescita economica. Hicks (1973) ha studiato proprio il problema della transizione da uno stato di crescita stazionario a un altro nel lungo termine, quando si verificano innovazioni che cambiano le attrezzature produttive. A tal proposito ha utilizzato un quadro di riferimento neo-austriaco dove: la tecnologia è rappresentata su un profilo temporale di input e output; la domanda e i profitti degli imprenditori sono presi come costanti tra i due periodi; i salari sono fissi e vengono consumati per intero dagli individui; il mercato dei capitali è perfettamente funzionante grazie alla correttezza del tasso di interesse. In questo scenario, le dinamiche tra produzione e occupazione dipenderanno dai coefficienti tecnici tra le due tecnologie e dal tempo necessario per produrre le nuove attrezzature. Nel periodo di transizione in questione l'occupazione può essere sopra o sotto il livello precedente a seconda anche della velocità di diffusione delle nuove tecnologie e dei possibili effetti di compensazione derivanti dai nuovi investimenti effettuati dalle imprese, i quali possono limitare la perdita di posti di lavoro delle innovazioni di processo (Stoneman, 1976). La corrente Hicksiana ha evidenziato come i livelli di consumo (e dei salari), la velocità di diffusione e gli specifici coefficienti tecnologici determinino l'impatto occupazionale delle nuove tecnologie, tuttavia, le ipotesi che considerano la domanda come esogena e costante nel tempo limitano la potenza esplicativa dei modelli e portano spesso a sottostimare gli effetti legati all'introduzione di tecnologie *labour-saving*.

La corrente che segue gli studi di Chamberlin si è concentrata sulle innovazioni di prodotto e sul loro impatto a livello occupazionale. Se è chiaro che le innovazioni di processo portano quasi sempre ad una riduzione dell'occupazione data dal risparmio dei costi e dall'aumento della produttività, le innovazioni di prodotto hanno effetti contrastanti: i nuovi beni creano nuovi mercati, aumentano la domanda e l'occupazione, però se sostituiscono quelli già presenti sul mercato possono avere l'effetto opposto. Una soluzione per determinare gli effetti delle innovazioni di prodotto è quella proposta da Dixit e Stiglitz (1977) e Krugman (1979) che riprendono il concetto di differenziazione



sviluppato da Chamberlin, che spiega attraverso le imperfezioni del mercato il comportamento del consumatore finale. Quest'ultimo bilancia l'utilità negativa derivante dal lavoro con l'utilità positiva ottenuta dal consumo dei beni, in parte sostituibili, il cui numero aumenta dopo un'innovazione di prodotto. A causa di questa parziale sostituibilità, le innovazioni appaiono come nuove qualità di prodotti simili, il che definisce un caso di differenziazione orizzontale del prodotto, in antitesi con l'ipotesi della concorrenza perfetta nella quale i prodotti sono perfettamente omogenei. Se i consumatori agiscono in maniera ottimizzante si viene a creare una doppia relazione tra innovazione di prodotto e livello di occupazione: un aumento nel numero di prodotti sul mercato incrementa i posti di lavoro, invece la diminuzione del grado di sostituibilità tra i prodotti determina l'effetto opposto. Tuttavia, questo caso della differenziazione orizzontale è limitato al breve-medio termine, poiché il numero di prodotti nei vari mercati non è in costante crescita e molte innovazioni provocano il ritiro dei prodotti più vecchi, come per esempio accade con gli smartphone di nuova generazione. I modelli di questo tipo sono sviluppati seguendo le ipotesi di equilibrio economico generale, perfetta informazione e comportamento ottimizzante degli individui e ciò, oltre ad escludere la possibilità di disoccupazione tecnologica, limita il loro campo di applicazione empirica.

Complementari in questo senso sono gli approcci strutturalisti (o neoschumpeteriani) che si focalizzano maggiormente sul processo di innovazione. Le idee di Schumpeter sono state riprese da molti economisti durante il periodo di recessione economica che stava investendo i paesi sviluppati a partire dagli anni '70 dopo l'abbandono delle idee keynesiane, le quali furono utili nell'immediato dopoguerra, ma in quegli anni trovavano un'applicazione limitata. La corrente schumpeteriana si divide a sua volta in due, tra coloro che si sono concentrati sugli aspetti microeconomici dell'innovazione, come Nelson e Winter, e quelli che hanno studiato maggiormente gli effetti macroeconomici di lungo termine, tra cui spiccano Freeman e Soete. Inizialmente Nelson e Winter (1974, 1982) volevano sviluppare un'analisi delle forze che determinano la crescita economica, che per loro erano la selezione delle innovazioni e l'accumulazione di capitale, tenendo conto dei dati di Solow. Nel loro framework, le imprese, più che alla massimizzazione del profitto, perseguono una costante ricerca di tecniche soddisfacenti di produzione attraverso un processo di sperimentazione per tentativi ed errori. Con delle simulazioni su un insieme di 100 tecniche produttive, ossia differenti mix di capitale e lavoro, è stato evidenziato come la discontinuità portata dal cambiamento tecnologico non determina per forza una situazione di caos, anzi, a seconda di come reagiscono le imprese si possono venire a creare anche pattern lineari che non possono essere desunti da un'analisi macroeconomica. Siccome non esiste ancora una spiegazione causa-effetto totalmente esplicativa dell'impatto delle innovazioni, l'analisi di Nelson e Winter diventa utile per comprendere quali sono le configurazioni di capitale e lavoro che causano una maggiore perdita di impieghi e se le "politiche

tecnologiche” siano veramente utili<sup>5</sup>. Il problema di questi modelli di “competizione tecnologica” è la loro base sostanzialmente empirica, fondata sull’analisi di una singola impresa o settore e che poco si presta ad essere generalizzata a differenti contesti storici e competitivi. Sugli aspetti macroeconomici e l’analisi storica delle innovazioni si sono concentrati Freeman e Soete (1982, 1987). Nei loro lavori hanno riscontrato, studiando le tecnologie dell’informazione in relazione alla fase discendente del ciclo di Kondratieff tra gli anni 1970-1980, che la nascita di un nuovo paradigma tecnico economico è sempre accompagnata dalla diffusione di un cluster di innovazioni che danno impulso all’attività economica attraverso l’efficientamento della produzione, la nascita di nuovi settori e la creazione di nuove opportunità di investimento. La tesi da loro sviluppata tenta di trovare una soluzione al paradosso della produttività quando si verifica un cambiamento tecnologico a livello sistemico: perché la crescita economica rallenta quando vengono introdotte delle nuove tecnologie? Sviluppi più recenti della teoria hanno osservato come i cambiamenti nelle tecniche produttive (relativamente alle innovazioni di processo) modificano non solo il rapporto capitale-lavoro ma impattano anche sulle competenze richieste ai lavoratori. I ritardi di apprendimento e aggiornamento delle skills lavorative necessarie per sfruttare al meglio le innovazioni, così come le difficoltà nel rimodellare i processi di produzione e di adeguare la struttura organizzativa dell’azienda possono generare disoccupazione (perché nel breve periodo è più semplice dotarsi di capitale fisico piuttosto che di quello umano), la quale rallenta il processo di crescita. Il problema di questo approccio presuppone una certa rigidità dei requisiti e la non-sostituibilità tra i lavoratori con competenze diverse, fenomeno non sempre verificatosi in passato e non necessariamente vero in tutti i settori. Nonostante ciò, gli strutturalisti hanno individuato le cause della disoccupazione guardando allo sviluppo delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione. In particolare, le distorsioni che coinvolgono il mercato del lavoro a seguito delle innovazioni, il mismatching delle qualifiche lavorative tra settori affermati e nascenti, i ritardi nell’adeguamento delle strutture organizzative e i conseguenti rallentamenti della produttività generano disoccupazione, la quale può essere frizionale, se assorbita dai mercati in tempi relativamente brevi, oppure tecnologica, che quindi permane nel lungo periodo. La crescita economica è possibile soltanto quando il nuovo paradigma tecnologico viene completamente assorbito in tutti i contesti: sul lato della domanda e dell’offerta, in ambito istituzionale, sociale, lavorativo etc. Pianta (2005) ha definito questo approccio come estremamente esplicativo delle dinamiche macroeconomiche di lungo periodo, grazie anche all’analisi storica delle tecnologie, tuttavia, per essere “operazionalizzato” correttamente le domande di studio dovrebbero

---

<sup>5</sup> Nelson (1982) ha sviluppato il concetto di “sistemi nazionali di innovazione”: il contesto istituzionale interagisce con il settore privato introducendo leggi e regolamenti, determinando gli incentivi, limitando il grado di incertezza e impattando sulle condizioni di opportunità e di appropriabilità delle nuove tecnologie.

essere concentrate maggiormente sui tipi di innovazione che possono presentarsi e sul modo in cui queste interagiscono con le variabili economiche e occupazionali. È per questo motivo che nel prossimo capitolo andrò ad analizzare le innovazioni e le rivoluzioni tecnologiche che si sono susseguite nell'arco della storia umana, con particolare attenzione al concetto di innovazione, paradigma tecnico-economico e degli effetti dei cambiamenti tecnologici sulle dinamiche occupazionali.

## Capitolo 2: Rivoluzioni industriali e paradigmi tecnico-economici

### 2.1: Le rivoluzioni passate

Sin da quando l'uomo è apparso sulla Terra più di duecentomila anni fa la specie umana non ha mai smesso di cambiare, innovare e adattarsi. Per comodità storica, scandiamo questa enorme quantità di tempo in periodi in modo da analizzare i principali fatti avvenuti, i modelli di società, i sistemi economici, le correnti di pensiero, artistiche e politiche prevalenti. Tra la fine di un periodo e l'inizio di un altro ci sono quasi sempre eventi di grande portata che modificano il tessuto sociale, economico e politico dell'umanità o di un grande gruppo di individui. È in questo caso che parliamo di rivoluzioni. Abbiamo studiato o assistito a molteplici rivoluzioni nell'arco della storia. Lo storico Ennio De Simone (2014) nel suo libro "*Storia economica, dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*" ne individua tre. La prima rivoluzione fu quella cognitiva, avvenuta circa settantamila anni fa quando l'*homo sapiens* sviluppò, durante l'arco di millenni, il pensiero astratto e l'uso del linguaggio e dei simboli per esprimerlo, creando i primi miti, storie e religioni e dando origine alle primordiali forme di cultura. Ciò gli consentì di vincere la competizione evolutiva con le altre specie perché si andavano formando gruppi di uomini sempre più grandi, in grado di procacciarsi le risorse per sopravvivere e di difendersi meglio dalle minacce esterne. La seconda rivoluzione fu quella agricola, che ebbe inizio circa dodicimila anni fa, quando diverse comunità di cacciatori-raccoglitori decisero, in maniera separata e autonoma, di abbandonare la vita nomade e di stabilizzarsi in luoghi più o meno fertili per poter coltivare la terra e allevare gli animali. Con questa rivoluzione si posero le basi per il cambiamento del sistema sociale e produttivo dell'uomo: sorsero i primi villaggi, nacque il concetto di proprietà, la necessità di pensare al futuro e di risparmiare parte delle risorse e anche una primordiale forma di suddivisione del lavoro. Nell'arco di millenni i villaggi divennero città, le città si trasformarono in regni, i regni in imperi, che via via nell'arco della loro storia si arricchivano, si espandevano e poi crollavano a causa di minacce esterne o dell'instabilità interna. Dopo l'Impero Romano, seguì il Medioevo, dove si sviluppò il sistema feudale. In Europa si cominciavano a delineare i confini di quelle che successivamente sarebbero diventate le Nazioni; i re governavano insieme ai nobili e la maggior parte della popolazione era impiegata nel lavoro dei campi. Poi, diversi secoli dopo, si diffuse il mercantilismo, con l'intensificazione degli scambi commerciali, soprattutto oltre oceano, grazie anche alla nascita delle compagnie commerciali britanniche e olandesi. L'incremento della popolazione, dell'aspettativa di vita e della ricchezza misero pressione sul sistema produttivo, ancora legato alla forza e ai ritmi umani, e sugli innovatori,

i quali riconobbero l'opportunità di ottenere grandi profitti mettendo le loro macchine al servizio dell'industria.

### 2.1.1: Le rivoluzioni industriali

Comunemente si individua nella metà del XVIII secolo l'inizio della terza rivoluzione della storia umana, quella industriale, che successivamente è stata divisa in tre fasi. La prima rivoluzione industriale vide i suoi albori in Inghilterra, grazie al progresso tecnico e allo sviluppo della macchina a vapore, ma anche alla possibilità d'iniziativa imprenditoriale e al sistema brevettuale del suddetto paese che consentiva all'inventore di appropriarsi dei profitti derivanti dall'opera del suo ingegno. La forza del vapore era nota sin dai tempi degli antichi greci, tuttavia, la sua prima applicazione in ambito tecnico è dovuta al matematico e fisico francese Denis Papin che presentò in un articolo del 1690 sulla rivista *Acta Eruditorum* un pistone che funzionava grazie al moto rotatorio indotto dal vapore. Negli anni successivi molti inventori svilupparono congegni più o meno funzionanti che sfruttavano la forza del vapore per compiere i più disparati compiti, ma è grazie a James Watt che ebbe davvero inizio la rivoluzione industriale. La macchina di Watt, brevettata nel 1769, trasformò il movimento lineare del pistone in movimento rotatorio, il quale permise l'applicazione di questa tecnologia in molti altri settori: tessile, agricolo, minerario, trasporti. La successiva industrializzazione dell'Inghilterra apparve quasi inevitabile. Le scoperte in ambito scientifico e le continue innovazioni permisero all'industria di fiorire, grazie anche alla disponibilità di una grande quantità di forza lavoro a basso costo. L'incremento di capacità e produttività portò all'urbanizzazione, alla nascita del capitalismo industriale, del sistema fabbrica e della divisione del lavoro (secondo le teorie di Smith 1776), di una nuova classe media e della classe operaia, di nuove teorie economiche, correnti letterarie e politiche; inoltre, la maggiore velocità ed efficienza dei trasporti permise la diffusione di queste tecnologie nei paesi occidentali prima e in tutto il globo poi.

Il periodo successivo nella storia del progresso tecnologico è la seconda rivoluzione industriale, che Vaclav Smil data tra il 1867 e il 1913 nel suo libro *“Energy and Civilization, a history”* (2017). Alla metà del XIX secolo l'economia dei paesi europei e degli Stati Uniti era ancora principalmente basata sull'agricoltura, ma nell'arco di poco più di mezzo secolo la produzione di generi alimentari incrementò in misura maggiore della popolazione, garantendo un maggiore tenore di vita, e l'estrazione di risorse e di fonti di energia ebbe una crescita esponenziale.

Indicatori	1850	1914	Crescita di <i>n</i> volte
Popolazione mondiale (miliardi)	1,3	1,8	1,4
Grano (milioni di quintali)	450	1.124	2,5
Patate (milioni di quintali)	58	1.095	19
Cotone (milioni di quintali)	5	55	11
Bovini (milioni di capi)	200	482	2,4
Rame, minerale (migliaia di tonnellate)	57	1.000	17,5
Carbon fossile (milioni di tonnellate)	100	1.400	14
Petrolio (migliaia di tonnellate)	67	53.539	800
Strade ferrate (chilometri)	35.000	1.081.000	31

6

È l'era delle filosofie positiviste, della fede nella ragione, nella scienza e nella tecnica, che in quegli anni andavano di pari passo ed erano spesso finanziate dall'industria. Nel XIX secolo si assiste inoltre all'invenzione di macchine che saranno il fulcro del successivo periodo storico: del motore a scoppio (1853), del telegrafo (1840), del telefono (1871), del cinema (1895), della radio (1896) e dei primi aeromobili.

Alla fine del secolo si sviluppano le vecchie industrie e nascono nuovi settori: l'industria chimica e petrolchimica, l'industria elettrica, quella della gomma, metallurgica, siderurgica. Si formano i primi sistemi bancari moderni, grazie all'accresciuta disponibilità di oro e metalli preziosi, assistiamo alla motorizzazione dell'agricoltura e alla nascita della grande impresa sul modello americano, dove il lavoro veniva "organizzato scientificamente" per aumentare i rendimenti degli operai, secondo gli studi effettuati da Frederick Taylor (1911). Gli studi sull'organizzazione del lavoro furono poi ripresi negli anni successivi da Henry Ford e applicati alla catena di montaggio, da cui poi nacque il *modello fordista*, esportato in tutto il mondo per la produzione in serie di beni standardizzati. La classe medio-borghese diventa quella dominante nei paesi occidentali e si aprì la stagione dei consumi di massa e della Belle époque, dove prezzi, profitti e salari crescevano in maniera costante, il commercio mondiale raddoppiò e si venne a costituire una primordiale forma di economia globale e interconnessa, grazie all'uso dei moderni mezzi di trasporto sempre più grandi e rapidi (treni, navi e aerei), i quali sfruttavano le nuove fonti di energia (elettricità, petrolio e carbone).

<sup>6</sup> Tabella 9.1, E. De Simone, *Storia economica*, 2018

Tra il 1914 e il 1945 il mondo fu sconvolto dai due conflitti mondiali e da una crisi finanziaria depressiva come mai se ne erano viste fino ad allora (1929). Si pone solitamente negli anni '50 l'inizio della terza rivoluzione industriale, quella che ha plasmato e tutt'ora sta plasmando tutto il globo. Il periodo in questione comincia con la ricostruzione delle nazioni che hanno combattuto la Seconda guerra mondiale, la spartizione del mondo in due aree d'influenza, la nascita del Welfare State moderno. Nei decenni successivi accadranno gli eventi che hanno dato forma all'era contemporanea: le guerre in Korea e in Vietnam, la corsa allo spazio, le crisi petrolifere del Medio Oriente, il crollo del muro di Berlino e la successiva disgregazione dell'URSS, l'attacco dell'11 settembre e lo scoppio della bolla immobiliare del 2007. L'esperienza della guerra fece comprendere al mondo la necessità di dotarsi di meccanismi sovranazionali in grado di mantenere la pace ed è in questi anni che si tengono diversi incontri e si stipulano vari trattati, i quali gettano le basi per il nuovo ordine politico ed economico mondiale: l'ONU, il GATT, il FMI, la Banca mondiale, l'OCSE, la CEE (che poi diventerà l'UE). Le industrie nate nel periodo precedente (elettrica, automobilistica, aeronautica, chimica ecc.) si consolidano, mentre nascono quella spaziale, dell'informatica, dell'elettronica e la nucleare. In particolare, lo sviluppo dell'elettronica, cominciato con le invenzioni del transistor (1948) e del circuito integrato (1958), è stato associato a quello dell'informatica, che in quel periodo riguardava per lo più calcolatori ed elaboratori. Negli anni successivi entrambe le industrie hanno tentato di ridurre sempre di più le dimensioni dei propri prodotti, aumentando al contempo la velocità e la potenza di calcolo, introducendo sul mercato i personal computer, i telefoni cellulari e tutti i dispositivi che noi oggi possediamo e sviluppando l'infrastruttura del web e di Internet. Le invenzioni e le innovazioni in ambito produttivo e commerciale impattarono fortemente sull'economia, che nonostante qualche rallentamento dovuto alle crisi (petrolifere e scoppio di bolle nei mercati finanziari) continua a crescere, tanto che per sfruttare meglio le tecnologie dell'informazione e della comunicazione si abbandona il modello fordista della produzione di massa per adottarne uno più snello, detto della *lean production*. Negli anni Settanta del XX secolo, dopo un periodo di continua espansione dei mercati e dei consumi, la possibilità di realizzare consistenti economie di scala nella produzione si stavano esaurendo; a ciò si aggiunse l'incremento del costo dell'energia, delle materie prime e del lavoro. Perciò, le imprese dovettero trovare un nuovo modo di produrre in grado di proteggere i propri margini di profitto. Si avviò così un grande processo di decentramento produttivo e delocalizzazione delle fabbriche nei paesi dove i salari erano più bassi e i diritti sindacali quasi assenti, mentre all'interno degli impianti produttivi si fece ricorso a nuove tecnologie *labour-saving* per aumentare l'efficienza e ridurre i costi, dando vita alla catena di *supply-chain* globale. Le innovazioni informatiche hanno portato all'interno delle imprese tecnologie in grado di comunicare ed elaborare informazioni tramite i dispositivi digitali, anche in maniera



autonoma, ed è qui che nasce l'ICT (information and communication technology) e, successivamente, si sviluppano le grandi società che di queste tecnologie hanno fatto il loro core business: IBM, Intel, Sony, Apple, Microsoft, Google...

Se la prima è considerata la rivoluzione del vapore, la seconda dell'elettricità, la terza è decisamente quella dell'informazione. Lo sviluppo delle nuove tecnologie, di mezzi di trasporto e di comunicazione sempre più efficienti ha portato alla globalizzazione dei mercati e poi dei popoli. Le trasformazioni avvenute in questo periodo, come la terziarizzazione dell'economia, la progressiva urbanizzazione, il mutamento della società, del modo di amministrarsi, di condurre la vita e gli scambi commerciali, sono molto più radicali e rapide rispetto a quelle delle precedenti rivoluzioni a causa dell'introduzione dell'informatica e della creazione di Internet. Quest'ultime hanno reso le comunicazioni e la trasmissione di informazioni molto più veloci, riducendone drasticamente i costi, terminando il processo di globalizzazione che era cominciato nella seconda rivoluzione industriale e rendendo il globo un villaggio interconnesso grazie all'uso della rete. In anni recenti abbiamo assistito alla diffusione sempre più capillare delle tecnologie dell'ICT in tutto il mondo, tanto che sono diventate parte integrante delle nostre vite e del nostro lavoro di tutti i giorni. La progressiva digitalizzazione e la pervasività del Web si notano soprattutto dai numeri di questi fenomeni. Nel 2022, rispetto all'anno precedente, il Global digital report <sup>7</sup> mostra come:

- la popolazione mondiale ha raggiunto 7,91 mld (+1% 2021)
- 5,3 mld sono gli utilizzatori di telefoni cellulari (+1,8% 2021)
- 4,95 mld sono gli utenti di internet (+4% 2021)
- 4,62 mld sono gli utenti dei social media (+10% 2021)

La società odierna è profondamente mutata negli ultimi decenni, così come sono cambiati i modelli di business e gli impianti produttivi, i quali utilizzano sempre in maggior numero le tecnologie 4.0: intelligenze artificiali, Internet of Things, algoritmi, robot, stampanti 3D, big data, cyber-physical systems, Blockchain e molte altre. L'applicazione di queste tecnologie ha avuto un così grande impatto sul processo produttivo tanto che adesso si parla delle cosiddette "*Smart factories*", ossia fabbriche completamente automatizzate dove i prodotti sono fabbricati da macchine interconnesse e dotate di sensori che permettono l'autoregolazione e manutenzione grazie alle "tecnologie intelligenti" e all'*Ubiquitous Computing*. Molti studiosi si sono chiesti se in questi anni stiamo affrontando una quarta rivoluzione industriale. Alcuni sono convinti di ciò (Schwab 2019), mentre altri propugnano l'idea che ciò che viviamo oggi è solo lo sviluppo e il completo affermarsi della

---

<sup>7</sup> <https://wearesocial.com/it/blog/2022/01/digital-2022-i-dati-globali/>

terza, cominciata negli anni '50 (Cetrulo e Nuvolari, 2019). Per comprendere se il comparto delle tecnologie definite 4.0 sia effettivamente un cambio di paradigma, la cosiddetta era della connessione, oppure ci troviamo ancora nella rivoluzione dell'informazione è necessario definire prima cosa sia un paradigma tecnico-economico ed analizzarne le caratteristiche.

Questa introduzione è stata fatta per mettere in evidenza come anche se parliamo di rivoluzioni e cambiamenti significativi nell'aspetto delle civiltà e delle società che si sono succedute nel tempo, la storia umana è da sempre una storia di evoluzione, lenta ma costante. Ogni rivoluzione industriale si basa sulle tecnologie e sulle innovazioni della precedente e di solito comincia quando quest'ultima non ha ancora completato la sua diffusione. Alcune volte può succedere che un'innovazione faccia fare un salto di paradigma a livello scientifico o tecnico, ma perché questa prenda piede a livello sociale ed economico è necessario del tempo sia per adattarsi ed inglobare la nuova tecnologia sia per svilupparla ancora meglio e trovare nuovi campi di applicazione.

## 2.2: Innovazioni e sistemi economici

Un sistema economico può essere definito come “l’insieme delle forme istituzionali, dei rapporti giuridici o consuetudinari, delle strutture sociali e delle modalità di organizzazione della produzione che regolano l’attività economica dell’uomo”. Come abbiamo visto, nell’arco della storia umana se ne sono alternati diversi, dato che non esistono sistemi chiusi o *puri* (Dobb 1972) e poiché in ogni sistema si possono riscontrare caratteristiche simili ai periodi precedenti e, probabilmente, a quelli successivi. Questo comporta che in un’epoca storica convivranno più tipologie di organizzazione produttiva, di cui una sarà la dominante. Molti economisti ritengono che il cambiamento tecnologico stia alla base della crescita economica e il motivo del passaggio da un sistema economico ad un altro. Una teoria fra tutte sembra essere condivisa maggiormente ed è quella dei cicli di Kondratieff, poi ripresa in seguito da Schumpeter. Secondo l’economista russo la storia economica del capitalismo può essere suddivisa in fasi, dette “onde lunghe”, che hanno una durata compresa tra i 50 e i 60 anni, le quali si articolano al proprio interno in cicli medi (7-10 anni) e in cicli brevi (3-4 anni). Ogni ciclo è quindi diviso in fasi, che si distinguono in ascendenti o discendenti. Le prime sono quelle di crescita economica, collegate generalmente all’introduzione e allo sfruttamento di nuove tecnologie, cui consegue un aumento della produzione, degli investimenti, dei redditi, dei consumi e dei prezzi. Le seconde, invece, hanno caratteristiche opposte: derivano dal completo sfruttamento delle tecnologie esistenti, cui si associa la sovrapproduzione e la saturazione dei mercati, un ribasso dei consumi e dei redditi e fenomeni più o meno gravi di stagnazione. Spesso le fasi depressive erano una stretta conseguenza di conflitti o guerre poiché questi acceleravano la produzione e lo sviluppo delle fabbriche e dell’industria di base, ma durante il periodo post-bellico e la successiva riconversione, l’eccessiva capacità produttiva non corrispondeva ai bisogni della popolazione. Questa teoria, elaborata negli anni ’30, permise a Schumpeter di sviluppare una propria visione sui cicli di breve e lunga durata, basata sul processo di innovazione nel processo di sviluppo economico. Secondo l’economista austriaco, infatti, le onde lunghe di Kondratieff corrispondono ai periodi delle rivoluzioni industriali e le innovazioni tecnologiche sarebbero state la scintilla che ha permesso di volta in volta il cambiamento da un sistema economico ad un altro. Le diverse durate delle fasi di gestazione e assorbimento delle nuove tecnologie determinano la lunghezza e l’intensità dei cicli economici. Nel pensiero di Schumpeter le innovazioni si presentano continuamente in *grappoli* o *sciami* e si possono distinguere nell’emergere di nuovi prodotti e processi produttivi, nuove forme organizzative e fonti di approvvigionamento, nuovi modelli di business e mercati da conquistare, che alla fine si concretizzano sempre in rinnovate occasioni di investimento e di profitto.

### 2.2.1: Classificare le innovazioni

Un modo per capire come tutte queste novità influenzano il sistema economico di riferimento è sviluppare una classificazione delle tipologie di innovazioni che possono avere luogo. Le classificazioni ad oggi esistenti sono diverse. Una delle più famose e che fornisce le linee guida per raccogliere e interpretare i dati a livello internazionale in modo da renderli omogenei è quella dell'Oslo Manual, scritta in maniera congiunta dall'OECD e dall'Eurostat, che riconosce l'innovazione come *l'implementazione di un prodotto, processo, metodo di marketing o organizzativo, nuovo o significativamente migliorato* (terza edizione Oslo Manual). Queste innovazioni possono essere poi distinte a seconda del loro grado di novità in innovazioni incrementali, quelle che si basano su un bagaglio di risorse e conoscenze pregresse e sono caratterizzate da un limitato impatto sulle tecnologie e sui mercati esistenti, e le innovazioni radicali, che al contrario richiedono la riconfigurazione del sistema di conoscenze e competenze delle imprese e portano novità tanto significative da rendere obsoleti prodotti e tecnologie. Un'altra classificazione delle innovazioni, che supera la tradizionale dicotomia incrementale-radical, è quella proposta da Henderson e Clark (1990) che suddivide le tipologie in base al loro impatto sulle competenze necessarie a produrre un determinato bene. I due studiosi hanno individuato due tipi di conoscenze fondamentali per la realizzazione dei prodotti e necessarie per introdurre delle innovazioni nel mercato: le conoscenze relative ai componenti e quelle alla base dei legami tra i componenti, dette architetture. Sulla base di queste definizioni, sono state distinte quattro tipologie di innovazioni:

- Incrementali - hanno un lieve impatto su entrambi i tipi di conoscenze;
- Modulari – apportano cambiamenti considerevoli alle conoscenze relative ai componenti, ma non modificano i legami tra gli stessi;
- Architetture – hanno un significativo impatto sulle conoscenze architetture, tuttavia non cambiano i componenti alla base dei prodotti;
- Radicali – rivoluzionano entrambi i set di conoscenze, sia relative ai componenti sia ai legami.

Altre classificazioni sono quella di Abernathy e Clarke (1985), la quale si concentra sulle competenze tecniche e commerciali e le innovazioni, contrapposte tra quelle che rafforzano le competenze preesistenti e quelle che le distruggono, e quella di Christensen (2004) che, avendo come base la domanda dei consumatori e non l'impatto tecnologico, introduce i concetti di *disruptive technologies* e *sustaining technologies*, dove le prime risultano essere quelle rivolte a nuovi segmenti di mercato o a piccole nicchie, specialmente quelle attente al prezzo dei prodotti, mentre le seconde

sono quelle preferite dalle imprese consolidate in un settore e che mirano a soddisfare i consumatori tradizionali.

Tutte queste classificazioni mirano ad individuare le innovazioni e definire il loro impatto a livello tecnologico o nei mercati esistenti e potenziali. Un percorso diverso è stato invece seguito da Freeman e Perez (1988) che hanno proposto una tassonomia delle innovazioni, basata sul lavoro dello Science Policy Research Unit, con l'obiettivo di delineare come queste abbiano influenzato il cambiamento tecnologico nelle varie epoche storiche. Questa classificazione distingue quattro tipi di innovazioni:

- **Innovazione incrementale:** questa tipologia di innovazione è la più comune perché avviene in maniera più o meno continuativa in tutti settori, industrie e paesi e può scaturire dalla combinazione diversi fattori come: la domanda di mercato, i cambiamenti socioculturali, le nuove opportunità a livello tecnologico e normativo. Solitamente è il risultato di un processo di *bottom-up*, ossia deriva da idee e miglioramenti apportati da chi è direttamente coinvolto nel processo produttivo (ingegneri, specialisti e addetti ai lavori) oppure grazie alle economie di esperienza (come i fenomeni del “*learning by doing*” e “*learning by using*”), e non di un progetto di ricerca e sviluppo avviato dal top management. Molti studi empirici hanno confermato l'importanza di queste innovazioni al fine di rendere più efficiente i processi di produzione e l'utilizzo delle materie prime, in particolare quelli di Hollander (1965) e Townsend (1976). Le innovazioni di questo tipo, nonostante siano fondamentali per vincere la competizione fra imprese, non hanno un significativo effetto sul sistema economico, tanto da passare spesso inosservate al grande pubblico, e si traducono concretamente in *scaling-up* degli impianti, dei macchinari, efficientamento del processo input-output, aumenti di produttività e miglioramenti della qualità o delle specifiche tecniche dei prodotti.
- **Innovazioni radicali:** le innovazioni di questo tipo rappresentano un punto di discontinuità con il passato e derivano da singoli eventi che poi impiegano anni se non decenni per mostrare il loro reale potenziale, creando per esempio nuovi mercati o industrie (Nylon, microprocessori, motore a scoppio), e sono caratterizzate da progressivi investimenti che di solito precedono le fasi di grande espansione economica. Sono spesso il risultato di ingenti finanziamenti e di anni di ricerca delle divisioni di R&D di aziende private o frutto di progetti che vedono governi, università e laboratori lavorare a stretto contatto. Solitamente coinvolgono competenze di varia natura (chimica, fisica, ingegneria) e prevedono lo sfruttamento di precedenti invenzioni o scoperte, nonché la creazione di nuove conoscenze e l'utilizzo combinato di prodotti, processi e innovazioni organizzative con il fine ultimo di sviluppare

un qualcosa di completamente innovativo. Dati questi elementi le innovazioni radicali, pur apportando un cambiamento strutturale in alcuni settori, sono caratterizzate da un impatto relativamente piccolo a livello sistemico e globale.

- Cambiamenti dei “sistemi tecnologici”: secondo Keirstead (1948), che ha preso spunto dalla teoria Schumpeteriana del progresso tecnologico, sono “costellazioni di innovazioni”, tecnicamente ed economicamente interconnesse, che hanno un impatto considerevole nell’economia di diversi paesi e settori e, inoltre, permettono la creazione di una serie di nuovi prodotti o servizi che danno vita poi a nuovi mercati. Un esempio di ciò possono essere le innumerevoli innovazioni nel campo dei materiali sintetici e plastici durante i decenni che vanno dal 1920 al 1950, le quali sono andate di pari passo con lo sviluppo dell’industria petrolchimica e dei suoi derivati. Per individuare le connessioni tra le varie innovazioni, un importante concetto è stato introdotto da Nelson e Winter (1982), i quali con la loro teoria delle “traiettorie naturali” spiegano l’interrelazione tecnica all’interno dei cluster di innovazioni, radicali e incrementali. I due studiosi hanno analizzato come i significativi cambiamenti derivanti da un cluster di innovazioni seguono un processo di consolidamento all’interno del sistema economico che diventa sempre più “ospitale”; per cui una tecnologia che all’inizio poteva sembrare una svolta radicale del paradigma, con il tempo assume sempre di più le caratteristiche di un’innovazione incrementale. Questo poi ha conseguenze anche economiche ed organizzative. Un esempio di ciò può essere il cluster di innovazioni che hanno avuto luogo successivamente all’invenzione dell’automobile: all’inizio tutte le autovetture consumavano benzina, poi, dopo diversi cambiamenti a livello componentistico e di funzionamento, siamo arrivati alle auto elettriche e in un prossimo futuro potremmo assistere alle auto a guida autonoma. In un primo periodo erano singole e piccole aziende che producevano e vendevano veicoli elettrici, ma ora che a livello tecnologico sono di più facile produzione, i consumatori sono più attenti all’impatto ambientale e molte nazioni si sono dotate delle colonnine di ricarica, tutti i produttori hanno almeno una linea di macchine elettriche.
- Cambiamenti dei “paradigmi tecnico-economici”: sono descritti come innovazioni del sistema tecnologico esistente che ha un impatto tale da influenzare il funzionamento dell’intera economia. Sono anche detti “rivoluzioni tecnologiche” perché derivano da una combinazione ampia di innovazioni radicali, incrementali e incorporano anche più sistemi tecnologici. Viene usata l’espressione “tecnico-economico”, al posto del “paradigma tecnologico” individuato da Dosi (1982), poiché va oltre la semplice introduzione di nuovi beni, servizi, processi produttivi, mercati e industrie, ma ha un effetto che coinvolge, in maniera diretta o

indiretta, tutte le branche dell'economia e la società nel suo complesso. Questa quarta categoria di cambiamento tecnologico corrisponde al concetto di "traiettoria naturale generale" di Nelson e Winter, che una volta diventata il paradigma dominante ha la capacità di dettare gli standard quantitativi, qualitativi e lavorativi per i successivi decenni.

Riprendendo la teoria dei cicli lunghi di Schumpeter, Freeman e Perez vedono la storia umana come una successione di paradigmi tecnico-economici, i quali emergono dopo un lungo processo di cambiamento strutturale della società e che negli ultimi secoli sono coincisi con le rivoluzioni industriali, ma non solo. Nel libro "*Technical Change and Economic Theory*" (Dosi 1988), al secondo capitolo, i due economisti provano ad esemplificare i cambiamenti dei regimi tecnologici negli ultimi duecentocinquanta anni e le loro principali caratteristiche al livello di tecnologia dominante, principali settori e industrie, le forme organizzative e di mercato più diffuse, le materie prime utilizzate e i limiti del paradigma precedente risolti da quello successivo.

**Table 3.1** A tentative sketch of some of the main characteristics of successive long waves (modes of growth)

1	2	3	4	5	6	7	8
Number	Approx. periodisation Upswing Downswing	Description	Main 'carrier branches' and induced growth sectors infra-structure	Key factor industries offering abundant supply at descending price	Other sectors growing rapidly from small base	Limitations of previous techno-economic paradigm and ways in which new paradigm offers some solutions	Organisation of firms and forms of cooperation and competition
First	1770s & 1780s to 1830s & 1840s  'Industrial revolution'  'Hard times'	Early mechanisation Kondratieff	Textiles Textile chemicals Textile machinery Iron-working and iron castings Water power Potteries  Trunk canals Turnpike roads	Cotton  Pig iron	Steam engines Machinery	Limitations of scale, process control and mechanisation in domestic 'putting out' system. Limitations of hand-operated tools and processes. Solutions offering prospects of greater productivity and profitability through mechanisation and factory organisation in leading industries.	Individual entrepreneurs and small firms (< 100 employees) competition. Partnership structure facilitates co-operation of technical innovators and financial managers. Local capital and individual wealth.
Second	1830s & 1840s to 1880s & 1890s  Victorian prosperity        'Great depression'	Steam power and railway Kondratieff	Steam engines Steamships Machine tools Iron Railway equipment    Railways World Shipping	Coal  Transport	Steel Electricity Gas Synthetic dyestuffs  Heavy engineering	Limitations of water power in terms of inflexibility of location, scale of production, reliability and range of applications, restricting further development of mechanisation and factory production to the economy as a whole. Largely overcome by steam engine and new transport system.	High noon of small-firm competition, but larger firms now employing thousands, rather than hundreds. As firms and markets grow, limited liability and joint stock company permit new pattern of investment, risk-taking and ownership.
Third	1880s & 1890s to 1930s & 1940s  'Belle époque'  'Great depression'	Electrical and heavy engineering Kondratieff	Electrical engineering Electrical machinery Cable and wire Heavy engineering Heavy armaments Steel ships Heavy chemicals Synthetic dyestuffs  Electricity supply and distribution	Steel	Automobiles Aircraft Telecommunications Radio Aluminium Consumer durables Oil Plastics	Limitations of iron as an engineering material in terms of strength, durability, precision, etc., partly overcome by universal availability of cheap steel and of alloys. Limitations of inflexible belts, pulleys, etc., driven by one large steam engine overcome by unit and group drive for electrical machinery, overhead cranes, power tools permitting vastly improved layout and capital saving. Standardisation facilitating world-wide operations	Emergence of giant firms, cartels, trusts and mergers. Monopoly and oligopoly became typical. 'Regulation' or state ownership of 'natural' monopolies and 'public utilities'. Concentration of banking and 'finance-capital'. Emergence of specialised 'middle management' in large firms.

8

<sup>8</sup> Tabella 3.1 Dosi et al. "Technical Change and Economic Theory", 1988



Table 3.1—cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
Number	Approx. periodisation Upswing Downswing	Description	Main 'carrier branches' and induced growth sectors <i>infra-structure</i>	Key factor industries offering abundant supply at descending price	Other sectors growing rapidly from small base	Limitations of previous techno-economic paradigm and ways in which new paradigm offers some solutions	Organisation of firms and forms of cooperation and competition
Fourth	1930s & 1940s to 1980s & 1990s  Golden age of growth and Keynesian full employment  Crisis of structural adjustment	Fordist mass production  Kondratieff	Automobiles Trucks Tractors Tanks Armaments for motorised warfare Aircraft Consumer durables Process plant Synthetic materials Petro-chemicals  Highways Airports Airlines	Energy (especially oil)	Computers Radar NC machine tools Drugs Nuclear weapons and power Missiles Micro-electronics Software	Limitations of scale of batch production overcome by flow processes and assembly-line production techniques, full standardisation of components and materials and abundant cheap energy. New patterns of industrial location and urban development through speed and flexibility of automobile and air transport. Further cheapening of mass consumption products	Oligopolistic competition. Multinational corporations based on direct foreign investment and multi-plant locations. Competitive subcontracting on 'arms length' basis or vertical integration. Increasing concentration, divisionalisation and hierarchical control. 'Techno-structure' in large corporations.
Fifth*	1980s & 1990s to ?	Information and communication  Kondratieff	Computers Electronic capital goods Software Tele-communications equipment Optical fibres Robotics FMS Ceramics Data banks Information services  Digital tele-communications network Satellites	'Chips' (micro-electronics)	'Third generation' biotechnology products and processes Space activities Fine chemicals SDI	Diseconomies of scale and inflexibility of dedicated assembly-line and process plant partly overcome by flexible manufacturing systems, 'networking' and 'economies of scope'. Limitations of energy intensity and materials intensity partly overcome by electronic control systems and components. Limitations of hierarchical departmentalisation overcome by 'systemation', 'networking' and integration of design, production and marketing.	'Networks' of large and small firms based increasingly on computer networks and close co-operation in technology, quality control, training, investment planning and production planning ('just-in-time') etc. 'Keiretsu' and similar structures offering internal capital markets.

\*All columns dealing with the "fifth Kondratieff" are necessarily speculative

Ex post il progresso tecnologico ed economico può apparire naturale, quasi necessario, dato che il nuovo paradigma si sviluppa sempre all'interno del precedente, e quindi presuppone un ambiente in cui l'innovazione e il cambiamento vengono accolti se non incoraggiati. Tuttavia, per affermarsi un regime tecnologico ha bisogno di passare attraverso diverse fasi di gestazione e anche di conflitto con quello precedente. Affinché un paradigma prenda piede e diventi dominante deve prima dimostrare la sua superiorità in termini di redditività e il suo potenziale di miglioramento, inizialmente in pochi settori, e poi incontrare il favore delle altre branche dell'economia, attraverso un processo di continua diffusione e adozione da parte di aziende, governi e individui. Ciò comporta spesso crisi di aggiustamento e cambiamenti strutturali che modificano il comportamento della società nel suo complesso, e la mancata corrispondenza in tutto il mondo deriva principalmente dalle diverse velocità di cambiamento e adozione, ma anche dall'inerzia che caratterizza la natura umana, così come le imprese e le istituzioni. Basta pensare alla riluttanza e alla difficoltà con cui le tecnologie digitali si sono diffuse nel sistema produttivo italiano, composto per lo più da piccole e medie imprese che hanno forti legami con il territorio e la tradizione. La diffusione del nuovo paradigma tecnico-economico parte dalle industrie iniziali o dalle aree di applicazione che mostrano i maggiori profitti e successivamente si espande ad una gamma molto più ampia di settori, trasformando radicalmente prodotti e servizi, nonché i processi produttivi, di distribuzione e il *sensu comune* manageriale, fino a poi comprendere tutte le attività economiche e anche le dinamiche sociali.

## 2.2.2: I “Key factor” di un paradigma tecnico-economico e la sua diffusione

Freeman e Perez chiariscono come essendo un paradigma tecnico-economico molto più di un semplice cluster di innovazioni, questo sia un'interrelazione di nuovi prodotti, processi, tecniche di produzione, nuovi modelli di business, forme organizzative di impresa e settori che si traduce in una maggiore efficienza e produttività aprendo la strada a flussi di investimenti e potenziali profitti. La loro riflessione, incentrata sui sistemi economici e la loro evoluzione, differisce sostanzialmente sia dalla teoria evolutiva, che invece si concentra sull'impresa innovatrice e sulle abilità dell'imprenditore, sia dalla teoria neoclassica, la quale spiega in termini microeconomici la sostituibilità tra i fattori del lavoro e del capitale e assume che l'innovazione tecnologica sia solo un cambiamento nelle quantità degli stessi che l'imprenditore attua al fine di ridurre i costi. Il cambio di paradigma presuppone un cambiamento a livello sistemico e di *modus operandi* delle imprese, che si trovano davanti a una diversa struttura dei costi relativi a tutti gli input di produzione. In ogni nuovo paradigma tecnico-economico è possibile identificare un fattore di produzione o un set di questi che possono essere descritti come i “*Key factors*” del suddetto paradigma, a patto che rispettino determinate caratteristiche:

- Il costo relativo deve essere percepito come basso o in rapido calo. Infatti, come Rosenberg (1975) e altri hanno dimostrato, piccoli cambiamenti nella struttura dei costi hanno un impatto irrilevante sulla condotta delle imprese, che investono su altri fattori. Solo le riduzioni significative e permanenti hanno la capacità di alterare i processi decisionali e le routine produttive di ingegneri, ricercatori, manager ecc. (Perez 1985).
- Per un lungo periodo di tempo ci deve essere un'illimitata disponibilità dell'offerta, anche se apparente. Possono anche esserci indisponibilità momentanee, dovute spesso all'incremento esponenziale che subisce la domanda quando l'input in questione si rivela efficace, ma per convincere gli investitori e le aziende è essenziale che la risorsa non sia scarsa e che possa soddisfare le esigenze di produzione su un orizzonte di lungo termine.
- Il potenziale chiaro per l'uso e l'incorporazione del (o dei) key factor in molti prodotti e processi del sistema economico, in maniera diretta o, come accade più comunemente, attraverso una serie di innovazioni tecniche e organizzative interconnesse l'un l'altra che permettono la riduzione dei costi, il miglioramento della qualità e delle modifiche relative agli altri fattori di produzione (in primis capitale e lavoro).

Rispettate queste caratteristiche, è molto probabile che un input di produzione diventi un fattore chiave per lo sviluppo e la diffusione del nuovo paradigma. Come si può chiaramente vedere dalle

tabelle precedenti<sup>10</sup>, Freeman e Perez fanno diversi esempi di key factor che si sono succeduti nella storia: è successo nel dopoguerra con il petrolio, fino alle diverse crisi avvenute negli anni '70 e '80, e prima di allora nell'epoca Vittoriana il fattore chiave della crescita degli imperi era la grande disponibilità di acciaio a basso costo, allo stesso modo il carbone fu il motore di sviluppo nel periodo precedente. Perfino i vari archeologi e antropologi hanno riscontrato il ruolo essenziale che alcuni fattori hanno rivestito nella storia evolutiva dell'uomo, nominando intere ere con il nome del materiale più in uso in quel tempo (Età della pietra, Età del bronzo, Età del ferro). È chiaro come ciascuno dei key factor individuati esistesse e spesso fosse già utilizzato anche prima che il nuovo paradigma si diffondesse, tuttavia, l'applicazione su larga scala è avvenuta solo quando gli individui e le imprese sono stati in grado di riconoscere il suo vero potenziale e l'input in questione ha soddisfatto tutte le condizioni precedentemente analizzate. Solitamente ciò avviene quando il fattore chiave del periodo precedente comincia a mostrare i suoi limiti dal punto di vista innovativo, ossia l'impossibilità di incrementare la produttività o la qualità dei beni e servizi, e i margini di profitto diventano via via decrescenti, venendo a mancare nuove opportunità di investimento.

Perez (1988) ha dimostrato come, molto probabilmente, da un punto di vista tecnico le rivoluzioni tecnologiche avrebbero potuto verificarsi prima e in maniera più graduale, ma gli stessi fattori economici e istituzionali che stimolano le innovazioni, in un primo momento risultano essere i principali detrattori, ritardando il cambiamento poiché sono legati dall'inerzia allo status quo vigente. Arthur (1988) ha studiato come le massicce esternalità presenti in un sistema economico fungano da forti meccanismi di contenimento alla diffusione delle nuove tecnologie, le quali farebbero venire meno le esternalità sviluppatesi nel tempo. David (1985) ha studiato l'impatto degli standard tecnici, ossia quello stock preesistente di conoscenze, competenze, attrezzature, procedure, mercati, istituzioni e dinamiche che si instaurano tra gli elementi di un sistema, favorendone la sua conservazione. Un esempio pratico sono le difficoltà che hanno affrontato il computer e le ICT ad entrare nelle routine aziendali, le quali sono le stesse che hanno ritardato la diffusione dell'energia elettrica nel XIX secolo, come anche l'ostruzionismo subito dalla macchina a vapore. È solo quando l'efficienza e la produttività delle traiettorie tecnologiche consolidate comincia a diminuire, mostrando i suoi limiti, e le prospettive reddituali future sono minacciate da un consistente aumento dei costi o dal rischio di uscire dal mercato a causa della competizione che l'accettazione e l'adozione del nuovo paradigma appare una scelta ragionevole o, comunque, necessaria. Dopo che in molti hanno cominciato ad investire ed utilizzare le nuove tecnologie, appare più semplice e sicuro adottarle e dato che i fattori chiave non sono input isolati, quanto piuttosto il cuore di un sistema tecnologico in

---

<sup>10</sup> Tabella 3.1 e 3.1 continuo Dosi "Technical Change and Economic Theory", 1988

rapida crescita e espansione, si avvia solitamente un processo di innovazione costante proprio attorno ad essi: lo sviluppo di prodotti correlati e complementari, le catene di fornitura e distribuzione si adeguano e migliorano, si introducono nuovi processi produttivi, sociali e manageriali. All'inizio le nuove tecnologie possono apparire come soluzioni a particolari "colli di bottiglia" del paradigma precedente ma, come detto, la nuova traiettoria di innovazioni acquisisce autorevolezza e sviluppa dinamiche proprie ed indipendenti grazie ad un processo di sviluppo proveniente da più parti (colonna 7 tabella 3.1). Una volta stabilitosi, il nuovo paradigma tecnico-economico si cristallizza come nuovo standard produttivo, commerciale e manageriale, riportando fiducia negli investitori e negli imprenditori dopo un lungo periodo di incertezza e cambiamento strutturale.

Questo approccio al cambiamento tecnologico mostra le sue similarità con la teoria neoclassica, nella continua ricerca della soluzione che implica il minor costo e l'impiego più efficiente dei fattori produttivi attraverso il mix efficiente di capitale e lavoro. Tuttavia, differisce da quest'ultima poiché evidenzia come la risposta del sistema al cambiamento (significativo) del costo degli input sia data non tanto dalla ricombinazione delle quantità dei fattori produttivi, quanto dallo sfruttamento delle nuove tecnologie e dalle innovazioni che utilizzano in maniera più efficiente il potenziale del capitale e della forza lavoro. Inoltre, la teoria neoclassica prevede la possibilità di ricombinare i fattori produttivi, se pur nel lungo periodo, in modo da raggiungere il costo minimo e ciò deriva dall'ipotesi di informazione completa e perfetta; quindi, si ammette una condizione di reversibilità degli investimenti. Al contrario, gli autori sottolineano come questi cambiamenti siano il risultato di una ricerca attiva e prolungata, derivante da una sperimentazione fatta di prove, errori e successivo apprendimento (informazione incompleta), e aggiungono che una volta che i principali attori sul mercato e i *decision-maker* adottano la nuova tecnologia, questo cambiamento sia irreversibile poiché gli stessi sono vincolati dalla pervasività dei vantaggi tecnici ed economici dei nuovi fattori chiave, nonché dalle esternalità e complementarità che si vengono a creare nel mercato.

### 2.2.3: I cambiamenti sociali ed istituzionali

Una volta compreso che il nuovo paradigma tecnico-economico si sviluppa all'interno del precedente e che la sua diffusione avviene dopo che i key factors hanno dimostrato il loro vantaggio comparativo rispetto ai precedenti, rispettando i tre criteri descritti sopra, allora si afferma un nuovo "modello ideale" di organizzazione produttiva, il quale permette aumenti di produttività, riduzione dei costi e nuove opportunità di investimento prima sconosciute. Freeman e Perez (1988) spiegano come il cambiamento del paradigma riguarda non solo gli aspetti tecnici di produzione, ma coinvolge tutto il sistema produttivo ed economico:

- Nelle organizzazioni si andranno a formare nuove "best practices";
- Saranno richieste alla forza lavoro nuove o differenti skill (*hard* e *soft*), sia a livello quantitativo sia qualitativo e ciò avrà un effetto anche sui salari e sulla loro distribuzione;
- Emergerà un nuovo mix ottimale di beni e servizi da produrre grazie all'uso intensivo dei fattori chiave a basso costo, i quali saranno preferiti rispetto ai precedenti e pertanto occuperanno una quota sempre maggiore del PIL;
- Si diffonderanno nuovi trend riguardanti le innovazioni sia incrementali che radicali che faranno leva sui nuovi input;
- Le modifiche nella struttura dei costi cambieranno il vantaggio comparativo di Nazioni o di parti del mondo, per cui si svilupperanno nuovi pattern di investimento a livello nazionale e globale;
- Ci saranno diverse ondate di investimenti, pubblici e privati, per fornire infrastrutture adeguate alle nuove tecnologie e che sfrutteranno le esternalità dovute alle stesse per facilitare l'uso dei nuovi prodotti e processi produttivi;
- Si osserverà una tendenza di nuovi imprenditori-innovatori ad entrare con imprese di piccole dimensioni nei settori in rapido sviluppo o a svilupparne direttamente di nuovi;
- Le imprese di grandi dimensioni cominceranno a concentrare i loro investimenti in quelle branche dell'economia che fanno uso dei fattori chiave a basso costo, con lo scopo di perseguire strategie di crescita o di diversificazione;
- Emergerà un nuovo modo di consumare i beni e i servizi, cambierà il sistema di distribuzione e il comportamento del consumatore.

L'imporsi di questi nuovi trend corrisponde alla fase di crescita del ciclo di Kondratieff, successivo al lungo periodo di crisi e depressione economica affrontato in precedenza, e sarà caratterizzato da un profondo cambiamento strutturale a livello economico, il quale però richiederà

un radicale mutamento delle istituzioni e della società. In particolare, le innovazioni tecnologiche, già ampiamente diffuse nei nuovi settori, si scontreranno con i vecchi sistemi e ciò causerà ondate recessive prolungate, mostrando il crescente grado di *mismatch* tra il nuovo paradigma tecnico-economico e l'esistente quadro socio-istituzionale. La necessità di un riadattamento su larga scala del comportamento sociale e dei *decision-maker* appare per soddisfare le esigenze e sfruttare il potenziale di un cambiamento tecnologico che ha già avuto luogo in misura considerevole in alcuni settori della sfera economica. Questo riadattamento avviene come risultato di un processo di ricerca politica, sperimentazione e adattamento, ma una volta che è stato raggiunto da una varietà di cambiamenti sociali e politici a livello nazionale e internazionale, la corrispondenza che ne risulta facilita la ripresa e permette una nuova fase di crescita. Per ottenere la corrispondenza tra il sottosistema tecnico-economico e il framework socio-politico, si affronteranno diverse fasi turbolente, dato che è un processo di scontro e di conflitto, il quale porta a risultati diversi a seconda delle differenze nazionali, storiche e culturali. Tuttavia, una volta stabilito, il nuovo contesto istituzionale e regolatorio darà il via a un'ondata di investimenti, grazie anche alla ritrovata fiducia degli investitori dopo una fase di crisi e di scetticismo, che permetteranno la completa affermazione del nuovo paradigma.

## 2.3: Il paradigma delle ICT e la rivoluzione informatica

Avendo analizzato le caratteristiche di un paradigma tecnico-economico, i fattori scatenanti, come si sviluppa, si diffonde e che impatto ha a livello economico e sociale, possiamo adesso analizzare il paradigma prevalente negli ultimi decenni caratterizzato dalle *Information and Communication Technologies* (ICT). Il regime tecnologico del nostro tempo si sviluppa a seguito della crisi del precedente, ossia quello che va dagli anni '50 del dopoguerra fino alle crisi petrolifere degli anni settanta, che provocarono un radicale cambiamento del sistema economico e produttivo. Infatti, il paradigma del dopoguerra si era sviluppato attorno a fattori chiave come il petrolio e i suoi derivati, le fibre sintetiche e le produzioni ad alta intensità di energia, dato che i combustibili fossili e le materie prime erano ampiamente disponibili a costi ridotti, e l'economia era guidata dalle *big corporation* che operavano nei settori energetico, chimico, automobilistico e le altre produzioni di massa che facevano uso intensivo di capitale. Il "tipo ideale" di produzione era quella a flusso continuo che utilizzava la catena di montaggio per produrre quantità sempre maggiori di beni standardizzati, in modo da sfruttare le economie di scala e ridurre i costi fissi degli impianti, che erano di dimensioni considerevoli, e le grandi multinazionali che stavano nascendo si basavano su una struttura organizzativa e manageriale prettamente gerarchica, la quale amministrava tutte le divisioni dell'impresa, dato che la strategia di crescita prevalente era l'integrazione verticale, con particolare focus sul marketing e sulle vendite. A livello lavorativo, le imprese utilizzavano una quantità più o meno simile di impegni *blue-collar* e *white-collar*, rispettivamente lavori con mansioni prettamente fisiche, a bassa specializzazione o educazione e pagati modestamente e lavori che, invece, richiedono conoscenze e competenze più intellettuali, creative e dirigenziali. La distinzione si basa sul fatto che storicamente chi andava a lavorare nelle fabbriche aveva un'uniforme di colore blu, dato che durante l'orario lavorativo ci si sporcava facilmente con macchie di grasso, olio e polveri, al contrario, chi lavorava in ufficio si vestiva in maniera formale, con completo, cravatta e camicia tipicamente bianca. Nel tempo questa suddivisione è rimasta e, ad oggi, si indicano con colletti blu tutta quella serie di lavori, anche abbastanza specializzati, che richiedono una grande componente fisica: produzione, costruzione, riparazione e manutenzione di impianti e macchinari ecc. Mentre, nella categoria colletti bianchi rientrano tutti quei lavori che presuppongono un'adeguata istruzione e competenze *hard* e *soft*, orientati alla conoscenza e al *problem-solving*, come gli architetti, gli amministratori, i medici, i lavori d'ufficio ecc. Tutto ciò ha portato nel dopoguerra ad uno specifico pattern occupazionale con conseguenze anche per quanto riguarda la distribuzione dei redditi.

De Simone (2014) ha individuato sei principali fattori che hanno determinato il boom economico:



- La disponibilità di un gran numero di innovazioni sviluppate durante il periodo bellico che durante la fase di ricostruzione si diffusero a livello mondiale e che permisero di compiere passi da gigante in molti settori dell'economia, dall'industria all'agricoltura, dalla medicina al comparto amministrativo;
- Il ruolo predominante dello Stato nell'economia, che svolgeva le funzioni di programmatore, produttore e consumatore. Inoltre, fu grazie agli ingenti investimenti pubblici per la ricostruzione che si costruirono le infrastrutture fondamentali allo sviluppo come porti, strade, stazioni, aeroporti, ferrovie e ciò impattò positivamente sia sull'occupazione sia sulla domanda;
- Furono costituite numerose organizzazioni internazionali volte a favorire la pace e il commercio mondiale, facendo venire meno le barriere legali erette durante il protezionismo;
- L'istruzione e la formazione del capitale umano permisero di ridurre gradualmente l'analfabetismo e di migliorare la produttività della forza lavoro;
- La grande disponibilità di capitali, il cui movimento fu favorito dal sistema dei cambi fissi inaugurato con gli accordi di Bretton Woods;
- I prezzi accessibili delle materie prime e la disponibilità di manodopera il cui salario era in crescita, ma comunque contenuto, consentirono di produrre beni di consumo sopportando costi relativamente bassi.

La fase di grande crescita ed espansione dei mercati ha agevolato la diffusione del paradigma tecnologico a livello sociale e istituzionale, complici anche la crescita della domanda aggregata, la produzione di massa e l'acquisto in grandi quantità di beni durevoli. Questo periodo di sviluppo economico fu messo in crisi da due eventi in particolare: il crollo del sistema monetario internazionale, dovuto all'inconvertibilità del dollaro del 1971 e all'abbandono definitivo nel 1973 del *gold exchange standard*, e gli shock petroliferi, prima nel 1973 a seguito della Guerra del Kippur e poi nel 1979 quando venne a mancare la produzione dell'Iran, dato che il paese stava affrontando una rivoluzione. Nell'arco di 7 anni (1973-1980), il prezzo del petrolio era passato da 3 a 30 dollari al barile, incrementando esponenzialmente i costi sia di produzione sia di trasporto e distribuzione dei beni. A ciò si aggiunse l'aumento dei salari e la crescita della domanda di beni di consumo, dovuta all'incremento demografico e alla più lunga aspettativa di vita nella maggior parte dei paesi sviluppati, che provocò una lunga spirale inflazionistica. Il modello della produzione di massa entrò in crisi, non potendo più realizzare economie di scala in diversi ambiti produttivi e dato che la domanda per i beni durevoli era ormai satura, procedendo solo per sostituzione.

Come detto in precedenza, è proprio a seguito di periodi di crisi come questi che un nuovo paradigma riesce ad affermarsi, una volta che si sono mostrati tutti i limiti di quello precedente. La prima fase, datata tra gli anni '60 e '70, ha visto la commercializzazione dei primi calcolatori, i quali erano ingombranti, costosi da produrre e poco efficienti, l'emergere dell'industria elettronica e di quella informatica, la creazione della prima versione di Internet, il quale era parte di un progetto del Ministero della Difesa americano che voleva sviluppare un modo per mantenere le comunicazioni in caso di guerra. Se dovessimo dare una definizione delle ICT, la Treccani riporta che *“indica la convergenza dell'informatica con le telecomunicazioni e che identifica ogni settore legato allo scambio di informazioni e tutti i metodi e le tecnologie che servono a realizzarlo, compreso l'hardware, il software e i servizi connessi”*. La sigla rappresenta, quindi, quelle tecnologie coinvolte nella produzione e nella trasmissione di informazioni, trasversali a tutti i settori dell'economia, i loro componenti e i prodotti e i servizi correlati. La diffusione delle ICT è dovuta ad una progressiva fusione delle tecnologie della comunicazione (TC) e tecnologie dell'informazione (TI), le quali in un primo momento si sono sviluppate in maniera indipendente, ma successivamente dato che emergevano esternalità positive sono andate via via integrandosi. Mentre il mondo stava affrontando una recessione a livello globale, negli anni '70 IBM e HP producevano i primi personal computer e nei primi anni '90 la rete internet fu messa a disposizione per scopi civili, i costi per produrre la componentistica dell'elettronica, in particolare i microprocessori, diminuivano di anno in anno.

I fattori chiave di questo paradigma hanno dimostrato la loro validità, facendo sì che sempre più aziende e governi investissero nelle nuove tecnologie e si dotassero di tutte quelle infrastrutture necessarie per sfruttarle a pieno. Di pari passo anche il mondo imprenditoriale stava subendo un cambiamento radicale:

- Dal modello di produzione fordista si passò alla cosiddetta “produzione snella”, più adatta alle mutate condizioni del mercato, che si basa su una maggiore flessibilità operativa. In particolare, le aziende fecero ricorso a strategie di decentramento produttivo, ossia l'esternalizzazione di processi e lavorazioni ad altre imprese, in modo da ridurre i costi, la complessità organizzativa e permettere l'aumento o la diminuzione della produzione. Un'altra strategia perseguita fu quella della delocalizzazione di alcune fasi del processo produttivo in aree dove il costo del lavoro fosse minore che nei paesi occidentali e la tassazione fosse contenuta.
- Grazie alle nuove tecnologie di comunicazione e trasporto, fu possibile ridurre le scorte in magazzino, riducendo ulteriormente i costi, e vennero ottimizzati anche i tempi utilizzando il metodo giapponese del *just in time*.

- Le imprese divennero più snelle, andando a modificare le modalità lavorative, le quali non prevedevano più soltanto la ripetizione di compiti nella catena di montaggio, ma si introdussero nuove forme basate sul lavoro di gruppo e per progetto in cui i dipendenti spesso svolgevano più mansioni. Le ore di lavoro divennero più flessibili e le giornate lavorative persino più corte in alcuni casi. Tuttavia, anche la sicurezza del posto di lavoro fu intaccata e molti furono costretti a cambiare diversi lavori, arrivando al punto che era difficile lavorare per tutta la vita in una azienda.
- In questo periodo sorsero molte piccole e medie imprese, le quali, non potendo sfruttare le economie di scala dei grandi impianti, si concentravano in alcune zone di determinati paesi che presentavano ambienti favorevoli allo sviluppo di singoli settori, come quello manifatturiero in Italia e quello tecnologico negli USA. Nacquero così i distretti (o cluster) industriali, formati per creare esternalità positive tra le imprese dovute alla condivisione di risorse, conoscenze e competenze.

Brian Arthur, con il suo lavoro sulla *path dependency* (1988), ha commentato il fenomeno dicendo: “A livello di impresa, il “tipo ideale” di organizzazione produttiva ad alta intensità di informazione che sta emergendo collega sempre più il design, la gestione, la produzione e il marketing in un unico sistema integrato. Un processo che può essere descritto come *systemation* e va ben oltre i concetti precedenti di meccanizzazione e di automazione”. Oltre al sorgere dell’industria dei computer e della telefonia, cambiarono anche gli altri settori, che sfruttarono il trend di crescita e le sue esternalità, utilizzando le infrastrutture delle telecomunicazioni per ridurre esponenzialmente i costi.

I cambiamenti strutturali di questo paradigma, come evidenziato in parte precedentemente, ebbero non poche conseguenze anche sul mercato del lavoro: mentre le vecchie industrie, come quella dell’acciaio o del petrolio, mostravano un eccesso di offerta, i nuovi settori erano in perenne carenza di personale. Le competenze e professionalità richieste ai dipendenti passarono da conoscenze medie e specializzate a quelle di livello più elevato (hardware e software), di carattere multidisciplinare e organizzativo che richiedevano diverse soft-skills, quali: la capacità di gestione di grandi quantità di dati, del tempo, dei progetti, dei team, dei flussi di informazione e comunicazione. Perez (1988) osservò come “diversità e flessibilità su tutti i livelli si sostituiscono a omogeneità e sistemi dedicati”. Da qui la necessità per le imprese di formare e aggiornare costantemente i dipendenti perché le innovazioni si susseguivano una dopo l’altra con velocità crescente, ma anche le istituzioni e le università dovettero rivedere i programmi di studio per inserire le nuove conoscenze. Anche la composizione del capitale subì una grande trasformazione, dato che la maggior parte degli investimenti delle aziende fu ridiretta ad acquisire strumenti in grado di sfruttare le ICT. I computer

venivano associati a tutta una serie di attrezzature, creando i dispositivi CNC (*computer numerical control*), ossia strumenti di lavorazione come trapani, torni e frese il cui controllo era automatizzato per mezzo di un calcolatore e sorsero anche i CAD (*computer-aided design*), utilizzati per essere di supporto alla progettazione di manufatti grazie all'uso di robot e stampanti 3D. Riuscire ad individuare tutte le innovazioni in questo campo è sicuramente difficile poiché per sua natura le ICT sono dinamiche, in continua evoluzione e non suddivise in comparti stagni, tuttavia, nel suo lavoro *“Introduzione alla Information Communication Technology”*, Caperna (2010) tenta di elencare e categorizzare tutte quelle tecnologie che rientrano sotto l'ombrello delle ICT. Intanto, individua gli elementi costitutivi, i quali secondo una distinzione fatta da Van der Meer e Van Winden (2003) sono: l'infrastruttura elettronica, il contenuto elettronico e l'accesso elettronico. La prima rappresenta la parte fisica delle tecnologie, ossia l'hardware, e può essere identificata con i computer, i telefoni, i server e anche tutte quelle infrastrutture composte da cavi, antenne, satelliti ecc. Il contenuto elettronico è il sistema di informazioni propriamente detto, le quali vengono prodotte, immagazzinate e fatte circolare sulla rete. L'ultimo elemento rappresenta la capacità di qualsiasi persona, ente, impresa e istituzione di accedere alle informazioni e a tutte le opportunità che queste tecnologie offrono.

L'infrastruttura di base è, quindi, la rete Internet, che permette alle informazioni di essere prodotte, gestite, elaborate e diffuse tra tutti gli utenti. Essa è costituita da una serie di reti pubbliche e private, universitarie, aziendali e commerciali connesse tra di loro, le quali si scambiano dati attraverso protocolli di comunicazione standard, i più famosi sono TCP e IP e quello più utilizzato è l'http (*HyperText Transfer Protocol*), il quale permette la lettura di documenti non sequenziale, ossia in grado di passare da un punto all'altro tramite una serie di rimandi (i link o hyperlink). Come detto, Internet è nato per scopi militari negli anni '60, ma la sua popolarità è dovuta all'invenzione del World Wide Web da parte del ricercatore del CERN di Ginevra Tim Barners Lee nel 1991. Questo è composto da un'infinita quantità di librerie e pagine organizzate a cui si può accedere mediante i dispositivi connessi ad Internet attraverso specifici programmi detti Browser<sup>11</sup>. Anche il web si è innovato con il tempo ed ha subito tre fasi principali di sviluppo: nel primo periodo il web veniva definito statico, poiché permetteva la lettura di file ipertestuali preparati precedentemente e visualizzabili attraverso le applicazioni browser; nel secondo periodo si è passati al web dinamico, migliorato sotto il punto di vista dell'interattività e della dinamicità grazie all'incremento delle funzionalità dei browser e lo sviluppo dei linguaggi di programmazione e interpretazione delle informazioni (JavaScript, PHP, ASP); la terza fase è quella tutt'ora in atto oggi,

---

<sup>11</sup> Applicazioni che permettono di acquisire, presentare e navigare i dati presenti sul Web

dove il web viene detto 3.0 e non è ancora conclusa poiché sviluppatori e ricercatori di tutto il mondo stanno cercando di migliorare questa infrastruttura di informazioni al fine di trasformare il web in un database di più facile accesso, sfruttare al meglio le tecnologie relative all'intelligenza artificiale, realizzare un web semantico, ossia uno spazio dove le informazioni sono interpretabili in relazione al contesto in cui vengono presentate, di modo da permettere agli algoritmi di comprenderle ed elaborarle autonomamente.

L'infrastruttura di Internet è la pietra d'angolo attorno alla quale Caperna individua le principali tecnologie sviluppatesi durante questo paradigma: Database Technologies, Decision Support Systems, Multimedia Technologies, Identification Technologies. Le database technologies sono tutte quelle invenzioni che sfruttano i database, ossia *“un insieme di dati strettamente correlati, memorizzati su un supporto di memoria di massa, costituenti un tutt'uno, che possono essere manipolati da più programmi applicativi”*, con lo scopo di: creare o cancellare dati, modificare quelli già presenti, ricercare dati secondo criteri stabiliti dall'utente, ordinare e classificare le informazioni mediante criteri stabiliti, creare rapporti o relazioni relativi ai dati immagazzinati. Queste tecnologie, prima ad appannaggio di pochi e poi con il tempo diventate sempre più *user-friendly*, permettono di accedere e gestire i dati in maniera veloce ed efficiente, potendo metterli anche in relazione tra di loro, e riducono significativamente i costi. In anni recenti, data l'infinita mole di dati che si producono ogni minuto, sono state sviluppate le tecnologie di *DataBase Management (DBM)*, che si concentrano nella creazione di applicazioni software in grado effettuare operazioni specifiche sui dati e interrogare efficientemente il database. Le multimedia technologies sono quelle che permettono la comunicazione delle informazioni attraverso una pluralità di contenuti, come audio, video, immagini e testi. L'enciclopedia online di Wikipedia ne è un esempio perfetto, dato che ogni termine viene descritto con l'ausilio di immagini, testi, video, grafici ecc. Il termine multimedialità si è diffuso a partire dalla fine del 1980 e spesso viene confuso con l'interattività dei contenuti presenti sulla rete, ossia la possibilità degli utenti di comunicare e dare indicazioni ai programmi con cui vengono presentate le informazioni, e anche con il termine ipertestualità, la caratteristica dei documenti ipertestuali, i quali non devono essere obbligatoriamente letti sequenzialmente. Le identification technologies consentono di stabilire la posizione di un qualcosa, prodotto, veicolo, persona, e anche di identificarlo. La firma digitale viene utilizzata dalle persone di essere identificate giuridicamente ed ha la stessa valenza cartacea, le merci vengono tracciate e identificate durante il loro percorso di fornitura e distribuzione attraverso la lettura dei codici a barre e, di recente, i menù sono diventati accessibili mediante la scannerizzazione dei codici QR. Una delle tecnologie di questo tipo maggiormente utilizzate a livello mondiale è quella GPS (*Global Positioning System*) che permette la localizzazione esatta di un segnale proveniente da un dispositivo attraverso la triangolazione, ossia

l'elaborazione del segnale da parte di tre satelliti geostazionari. Lo sviluppo dei *decision support systems* (DSS) è dovuto alle ricerche condotte in materia da Corry e Morton negli anni '70, i quali definirono i problemi decisionali di natura semi strutturata come campo d'azione di queste tecnologie con l'obiettivo di semplificare i processi decisionali di politici, manager e progettisti (Arentze, 1999). I DSS sono sistemi in grado di fornire un supporto ai soggetti decisori che migliori l'efficacia del processo di formulazione delle decisioni. Tecnicamente i DSS si basano sul fatto che ogni decisione e processo che conduce alla stessa può essere traslato e schematizzato sotto forma algoritmica, andando a simulare e valutare scenari alternativi e possibili soluzioni al fine di individuare e perseguire degli obiettivi strategici. Declinazioni più recenti dei DSS sono gli *Spatial Decision Support Systems* (SDSS), ossia strumenti informatici che mediante la conservazione e l'elaborazione dei dati i forniscono un flusso informativo in grado di modellare previsioni spazio-temporali attraverso contenuti grafici con lo scopo di supportare i decision-maker, e i *Planning Support Systems* (PSS), ossia l'evoluzione in campo urbanistico-territoriale dei DSS, i quali forniscono supporto ai decisori politici nei processi di pianificazione mostrando i possibili effetti, positivi e negativi, delle decisioni prese nell'ambito urbano.

Con l'affermarsi del paradigma delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione anche l'assetto politico e sociale subì dei cambiamenti strutturali. La corrente Keynesiana in voga dalla crisi degli anni '30, la quale individuava nell'intervento statale l'unica maniera per sopperire alle problematiche intrinseche del capitalismo, non fu più la prevalente, dato che, dopo le crisi petrolifere, la maggiore preoccupazione dei governi era diventata l'inflazione, la stabilità monetaria e l'aumento dei debiti sovrani. A questo problema trovarono una soluzione i neoliberalisti che credevano nella capacità del mercato di autoregolarsi e propendevano per una politica volta a favorire l'offerta, l'unica in grado di garantire la crescita economica, al contrario dei keynesiani che puntavano sulla domanda. I maggiori esponenti politici di questa filosofia furono il presidente americano Ronald Reagan e il primo ministro inglese Margaret Thatcher, al punto che vennero conati i termini *reganismo* e *thatcherismo*. Entrambi attuarono una serie di politiche volte a deregolamentare i mercati e introdurre forti sgravi fiscali attraverso la riduzione delle tasse e della spesa pubblica, tutto ciò nell'ottica di limitare il più possibile l'intervento dello Stato nell'economia. Avvennero in quel periodo la privatizzazione delle grandi imprese strategiche di proprietà statale, prima nei paesi anglosassoni e poi in tutta Europa. Tuttavia, ciò causò un incremento spaventoso delle disparità sociali all'interno delle stesse nazioni, con i ricchi che diventavano sempre più ricchi e i poveri che perdevano potere d'acquisto, una riduzione dei servizi pubblici essenziali di welfare e la liberalizzazione portò a pratiche azzardate o rischiose da parte delle imprese e delle istituzioni finanziarie, le quali cominciarono a ricoprire un ruolo predominante nell'economia dei principali

paesi occidentali<sup>12</sup>. Gli investitori istituzionali, ossia banche, compagnie assicurative, fondi pensione e d'investimento, intrapresero condotte di carattere fortemente speculativo attraverso la creazione di nuovi e più complessi strumenti finanziari non sempre regolamentati, come i derivati e la cartolarizzazione dei crediti, e alti livelli di indebitamento. La conseguenza principale della deregolamentazione finanziaria fu la crescita dei fenomeni delle bolle speculative, le quali scoppiavano dopo periodi di forte crescita spesso immotivata e terminavano con crack finanziari dovuti a fenomeni di *panic selling* (bolla immobiliare giapponese 1991 e bolla dot com 2000). Tali pratiche, e il prestigio dei neoliberalisti, terminarono dopo lo scoppio della recente bolla dei mutui subprime nel 2008, che vide il fallimento di banche storiche come Lehman Brothers, partita dagli Stati Uniti e diffusasi in breve tempo in tutto il mondo. Il progresso tecnologico ha permesso non solo la globalizzazione finanziaria ma anche dei mercati. Con questo fenomeno si intende la formazione del mercato mondiale dei fattori produttivi, dei beni e dei servizi, dei capitali e del lavoro. Le tecnologie dell'ICT hanno consentito scambi di informazioni e denaro in pochi secondi. Un ruolo importante lo hanno giocato anche le imprese multinazionali, le cui divisioni nei vari paesi avevano sempre maggiore autonomia operativa e decisionale, che portarono all'intensificazione degli scambi commerciali e degli investimenti internazionali. Come mostrano le crisi finanziarie però, la conseguenza di ciò è la grande interconnessione delle economie di tutto il mondo e le decisioni prese da chiunque possono avere effetti a catena che coinvolgono l'intero globo. Lo sviluppo di Internet e del Web ha avuto un significativo impatto anche sotto l'aspetto socioculturale per molte, se non tutte, le nazioni. Intanto, sempre più persone entrarono nei circuiti di mercato, sviluppando così una nuova classe media, i cui consumi e potere d'acquisto aumentarono la domanda e favorirono la crescita economica. La rete è entrata nella quotidianità di miliardi di persone, 4,66 miliardi secondo il Digital report del 2021 realizzato da WeAreSocial e Hootsuite, al punto che si è parlato dell'inizio della rivoluzione digitale. Cittadini di paesi diversi avevano accesso alle medesime informazioni, prodotti e servizi, per cui le loro preferenze, comportamenti e stili di vita si uniformarono pian piano, con le dovute differenze. Le nuove tecnologie e la prospettiva di vita più lunga hanno messo (e metteranno) pressione sulla classe politica per incrementare la spesa per istruzione, salute, pensioni e sostegno alle classi più povere. I benefici di questo periodo di grande crescita economica però non furono, e non sono tutt'ora, ripartiti equamente né tra i paesi e né tra la popolazione degli stessi, anzi, a partire dalla seconda metà del XX secolo il divario tra i paesi ricchi e quelli più poveri è incrementato.

---

<sup>12</sup> Si parla anche di finanziarizzazione dell'economia

Tab. 28.1. – *Livello del Pil pro capite delle diverse regioni del mondo raffrontato con quello degli Stati Uniti, per decenni, dal 1950 al 2010*

Regioni	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
<i>Stati Uniti</i>	100	100	100	100	100	100	100
Europa occidentale	47	60	67	71	69	67	69
Unione Sovietica	30	35	37	35	30	16	25
Europa orientale	22	27	29	31	23	21	28
Asia	7	9	10	11	12	13	21
America Latina	26	28	27	29	22	21	22
Africa	9	9	9	8	6	7	12

*Fonte:* Dati di A. Maddison, aggiornati al 2010, tratti dal sito web del Groningen Growth and Development Centre, all'indirizzo "www.ggdcc.net/Maddison" (nostri calcoli).

*Nota:* I dati del 2000 e del 2010 dell'Unione Sovietica sono riferiti all'insieme degli Stati che ne facevano parte; quelli della sola Federazione Russa sono 18 nel 2000 e 28 nel 2010.

13

Come si evince dalla tabella 28.1 fatta da Ennio De Simone, la disparità tra il livello del PIL tra Stati Uniti e Europa occidentale con il resto del mondo è aumentata tra gli anni 1980 e 2000, fatta eccezione per l'Asia, con un leggero recupero nel decennio 2000-2010. Molti dubitano che il PIL sia una misura esatta per misurare la ricchezza delle nazioni; perciò, nel tempo sono stati creati altri indici per valutare la qualità della vita e lo sviluppo dei paesi. Uno in particolare è lo *Human development index* (Hdi), elaborato nel 1990 dall'economista pakistano Mahbub ul Haq e utilizzato anche dall'ONU per pubblicare lo *Human Development Report* con cadenza annuale, utile per analizzare l'istruzione, il reddito, l'aspettativa di vita e lo sviluppo umano delle nazioni. Dal report delle Nazioni Unite si evince che attualmente, come in passato, le nazioni più ricche e benestanti sono quelle europee, in particolare del Nord e dell'Ovest, la regione del Nord America e singoli stati, come Australia e Giappone, mentre la maggior parte delle nazioni situate nell'emisfero australe vertono ancora in condizioni di povertà o sottosviluppo, con i casi peggiori localizzati nella parte centrale dell'Africa (Niger, Repubblica Centrafricana, Burundi, Chad occupano gli ultimi posti da quando è cominciata la reportistica). Queste grandi disparità sono dovute anche, se non soprattutto, al fenomeno di intensa delocalizzazione portato avanti dalle grandi multinazionali, le quali sfruttano da decenni le risorse naturali, il basso costo del lavoro e la legislazione favorevole di particolari regioni povere dell'Africa e dell'Asia.

<sup>13</sup> Tabella 28.1, E. De Simone, *Storia economica*, 2018,



L'analisi dei precedenti paradigmi tecnico-economici e dei principali cambiamenti avvenuti negli ultimi 70 anni sono funzionali a capire *in primis* quali sono le cause e le caratteristiche del sistema attuale e poi per definire i concetti di Industria 4.0 e di Quarta rivoluzione industriale.

## Capitolo 3: I cambiamenti dell'epoca contemporanea

### 3.1: La quarta rivoluzione industriale

Il termine “Quarta rivoluzione industriale” o in inglese “*Fourth industrial revolution*” (4IR) viene utilizzato ai giorni nostri per descrivere e incorniciare tutta una serie di cambiamenti dovuti all'emersione di un nuovo paradigma tecnologico che sta impattando sull'umanità intera dagli inizi del XXI secolo. Molto spesso il suddetto termine viene affiancato a quello di “Industria 4.0” (I4.0)<sup>14</sup>, anche se i due concetti indicano cose diverse: mentre l'I4.0 si concentra sostanzialmente sull'applicazione delle nuove tecnologie ai processi produttivi, la 4IR è un fenomeno più ampio che sta avvenendo su scala globale, il quale comprende al suo interno anche l'I4.0. Il concetto è stato ben sviluppato da Klaus Schwab, direttore del World Economic Forum, nel suo libro intitolato proprio “*The Fourth Industrial Revolution*” (2016), nel quale è evidenziato che una rivoluzione è in atto e sta cambiando completamente il modo in cui viviamo, come ci relazioniamo e comunichiamo con gli altri, come ci organizziamo, lavoriamo, viaggiamo ecc. Sostanzialmente, egli afferma che si stanno verificando tutta una serie di effetti a livello economico, sociale ed istituzionale per cui è possibile parlare di un “nuovo paradigma”, che non è per forza quello definito da Freeman e Perez (1988) anche se presenta alcuni punti in comune, che sta plasmando la realtà in cui viviamo oggi, ma soprattutto plasmerà quella di domani. Questi cambiamenti sono sicuramente figli delle innovazioni sviluppatesi a partire dagli anni '70 del secolo scorso, relativi alla diffusione delle tecnologie ICT e di Internet, ma, a detta dell'autore, presentano tre caratteristiche peculiari che impongono un ripensamento dei sistemi precedentemente vigenti e sono: la velocità, l'intensità e la portata, l'impatto sui sistemi. La velocità delle innovazioni non è più di tipo lineare, ma ha caratteristiche esponenziali ed è connessa all'elevata capacità cognitiva ormai sviluppata dall'umanità per cui ogni innovazione di qualsiasi tipo può dare vita ad un effetto a catena capace di generare un cluster di innovazioni successive. L'intensità e la portata concernono il fatto che gli effetti di queste innovazioni in campo tecnologico non riguardano solo “cosa facciamo” o “come agiamo”, ma anche “chi siamo” e in che modo “ci definiamo” in ambito economico e sociale. Infine, l'impatto sui sistemi riguarda tutte quelle trasformazioni che si verificano a livello macro: di azienda, di settore economico, di istituzioni e di società. Schwab si pone poi alcune domande sul modo in cui tutti questi cambiamenti trasformeranno la nostra organizzazione sociale, economica e politica individuando delle possibili criticità soprattutto per quanto riguarda l'infrastruttura istituzionale, incapace di creare una “*narrativa condivisa*,”

---

<sup>14</sup> di cui parlerò in maniera più approfondita nei prossimi paragrafi

*coerente e oggettiva*” che permetta di guidare la società attraverso le sfide che si porranno nel prossimo futuro.

All’interno del suo libro è presente una ricerca svolta dal WEF sui trend che si affermeranno nella 4IR e sono stati individuati tre ambiti tecnologici principali, denominati “sfere”:

- Sfera fisica: concerne principalmente lo sviluppo dei veicoli a guida autonoma, la produzione e il commercio di nuovi materiali, la stampa 3D e gli sviluppi della robotica.
- Sfera digitale: in cui la fanno da padrone l’Internet delle cose, ossia quel complesso di dispositivi che ricevono e inviano dati grazie ad un’infrastruttura di rete, e l’economia *on demand*<sup>15</sup>, ossia l’incontro immediato di domanda e offerta attraverso le piattaforme digitali.
- Sfera biologica: ambito che riguarda le scoperte dell’ingegneria genetica e la capacità di influenzare il genoma umano.<sup>16</sup>

Questi driver del cambiamento hanno la peculiarità di non essere innovazioni prodotte internamente alla 4IR, bensì sono miglioramenti o applicazioni delle invenzioni sviluppate durante la rivoluzione precedente. Tuttavia, le sopracitate sfere hanno determinato un cambiamento che nei decenni passati non era emerso e che Schwab chiama “*Empowerment*”<sup>17</sup>, ossia quel processo sociale attraverso il quale le persone, le comunità e le organizzazioni acquisiscono consapevolezza dei propri mezzi e del proprio ruolo all’interno della società per cui chi detiene il potere deve riconoscere che soggetti meno influenti possono prendere parte attivamente al processo decisionale ed influenzarne l’esito in un’ottica di maggiore partecipazione e collaborazione. Secondo Schwab (2016) le altre trasformazioni che la 4IR apporterà possono essere distinte nei seguenti campi:

- Economico: l’attenzione si sposterà sulla crescita realizzata attraverso l’utilizzo e lo sviluppo di nuove tecnologie sempre più efficienti che dovrà scontrarsi però con l’incremento della popolazione<sup>18</sup> e dell’aspettativa di vita media delle persone. Altro tema è quello dell’occupazione poiché il nuovo regime tecnologico cambierà drasticamente la natura dei lavori che saranno necessari in futuro, imponendo di ripensare completamente i sistemi scolastici e educativi, e anche perché l’automazione dei processi potrebbe portare ad una diminuzione del capitale umano necessario alla produzione di beni e servizi. Infine, lo sguardo è rivolto alle disparità tra paesi e a quelle presenti all’interno degli stessi che potrebbero

---

<sup>15</sup> <https://www.economyup.it/innovazione/sharing-economy-cosa-e-e-perche-e-difficile-dire-cosa-e/>

<sup>16</sup> Sequenziato per la prima volta al 100% il 31 marzo 2022 e pubblicata la scoperta sulla rivista Science <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abj6987>

<sup>17</sup> K. Schwab, La quarta rivoluzione industriale, 2016, p.44.

<sup>18</sup> Si stima che la popolazione mondiale raggiungerà i 9 miliardi nel 2050

accentuarsi, esacerbando i conflitti sociali, oppure potrebbero creare una società più consapevole dei propri difetti e delle ingiustizie esistenti, permettendo lo sviluppo di una maggiore coesione e solidarietà tra individui.

- **Produttivo:** le aziende saranno costrette a ripensare le strutture gerarchiche, al momento ancora rigide e verticalizzate, con l'obiettivo di rendere la composizione interna più dinamica ed efficiente. I principi cardine saranno il continuo aggiornamento delle conoscenze e delle competenze interne e l'innovazione dei prodotti e dei processi attraverso le tecnologie digitali poiché, oltre all'offerta, muteranno anche le aspettative e i bisogni dei clienti. Le imprese, a tal fine, si stanno spostando verso la decentralizzazione dei processi decisionali e la riduzione delle dimensioni aziendali (esternalizzazione). Inoltre, i sistemi di produzione tenderanno verso la progressiva automazione volta a creare le *smart factories*, che per il loro funzionamento sfruttano dispositivi intelligenti e sempre connessi, IA e forme di apprendimento automatico.
- **Istituzionale:** grazie alla diffusione delle tecnologie del web e dei social media, chiunque può esprimere la propria opinione e diventare una potenziale cassa di risonanza per idee che influenzano l'opinione pubblica su scala nazionale o globale. Internet ha permesso ai cittadini di tutte le nazioni di esprimere la propria voce e incanalare il proprio dissenso creando sistemi politici sempre più difficili da governare anche perché le istituzioni non godono più della fiducia che avevano in passato. Citando Schwab (2016) "*i micropoteri possono bloccare i macropoteri*"<sup>19</sup>. La rivoluzione digitale comporta un ripensamento dei sistemi di governo e di comunicazione tra cittadini ed istituzioni. In questo contesto, il sistema legislativo assumerà un'importanza centrale nel governo e nella regolamentazione delle innovazioni.
- **Sociale:** sono considerati principalmente due aspetti: il primo è la riduzione dei redditi della classe media e, quindi, l'incertezza sulla possibilità di mantenere gli stessi stili di vita benestanti del passato poiché vengono messi in discussione l'accesso a servizi essenziali: istruzione, sanità, pensione e proprietà della casa; l'altro aspetto è la digitalizzazione dei mezzi di comunicazione che ha innescato nuovi processi di identificazione e appartenenza tra gruppi.
- **Individuale:** è in atto un cambiamento radicale dell'esistenza e degli stili di vita delle persone. Emergono nuove questioni etiche e morali (ad esempio l'impatto dell'IA e della genetica) che impongono una ridefinizione del concetto di essere umano e che saranno le sfide su cui dovremo concentrarci in futuro. Un tema che emerge fra tutti è quello relativo alle

---

<sup>19</sup> K. Schwab, La quarta rivoluzione industriale, 2016, p.89.

informazioni pubbliche e private che rientra all'interno del dibattito sui dati personali e sulla privacy.

Questi cambiamenti o sono già in atto oppure saranno temi con cui le istituzioni, le aziende e gli individui di tutto il mondo dovranno scontrarsi prima o poi, anche perché l'avanzamento tecnologico e digitale ha reso il globo una struttura interconnessa e interdipendente ed i concetti di autarchia e autosufficienza sembrano quasi anacronistici.

Le trasformazioni portate dal nuovo paradigma sono state analizzate in chiave simile anche da Philbeck e Davis (2018), i quali affermano che la Quarta rivoluzione industriale non ha fatto la sua comparsa dal nulla, bensì trova le sue radici nella Terza rivoluzione industriale, la quale ha costruito l'infrastruttura fisica e digitale permettendo la produzione, lo scambio e lo stoccaggio di grandi quantità di dati e informazioni. Allo stesso modo i sistemi dell'informazione e della comunicazione si basano sull'elettricità, punto focale della Seconda rivoluzione industriale. Per questo motivo la 4IR non è considerata completamente "post-digitale", ma "epi-digitale" perché scaturisce dal terreno fertile costruito attraverso l'adozione delle tecnologie digitali, le quali ancora adesso devono diffondersi in alcune parti del globo. Le tecnologie che fungono da driver del cambiamento della 4IR danno la struttura preesistente come assodata e mirano a sfruttarne appieno il potenziale combinando algoritmi di machine-learning, sensori di posizione, nanotecnologie, robot automatizzati attraverso una struttura di rete interconnessa che si scambia continuamente dati. Secondo Philbeck e Davis (2018), infatti, *“La 4IR rappresenta una serie di cambiamenti significativi nel modo in cui il valore economico, politico e sociale viene creato, scambiato e distribuito. Questi spostamenti di valori sono intimamente legati all'emergere di nuove tecnologie che abbracciano il mondo digitale, fisico e biologico, e sono più potenti quando si combinano e si rafforzano a vicenda”*<sup>20</sup>. Come le altre rivoluzioni, anche la quarta apre la strada a nuove minacce ed opportunità: le migliori capacità di calcolo dei computer quantistici renderebbero gli hardware e le comunicazioni ancora più veloci, le neurotecnologie potrebbero superare le capacità fisiche ed intellettuali umane, la blockchain sta mostrando le sue potenzialità, che vanno oltre le singole criptovalute, e potrebbe essere usata al fine di migliorare la sicurezza informatica ed evitare crimini o frodi, le auto a guida autonoma promettono di salvare migliaia di vite l'anno e di prevenire gli incidenti stradali, ma, allo stesso tempo, minacciano milioni di posti di lavoro e fanno sorgere nuove questioni etiche riguardo alla responsabilità in caso di sinistro<sup>21</sup>. Il lavoro di Philbeck e Davis (2018) è incentrato sull'analisi e la concettualizzazione della 4IR al fine di dare forma a questo fenomeno e cosicché gli individui e i

---

<sup>20</sup> Philbeck & Davis, THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION: SHAPING A NEW ERA, 2018, p.17

<sup>21</sup><https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/veicoli-autonomi-fra-privacy-ed-etica-vantaggi-e-svantaggi-della-nuova-mobilita/>

governi possano agire secondo una narrazione comune; l'obiettivo è quello di consentire alle imprese di capire e organizzare in maniera scientifica un "lavoro" che unisce sempre di più sfera fisica e digitale e per definire delle linee di azione che permettano di non essere sopraffatti dalla complessità delle tecnologie emergenti. Dato che questo paradigma tecnologico non è un fatto storico, ma un fenomeno ancora in atto, l'azione degli studiosi non dovrebbe concentrarsi su una sua ulteriore definizione quanto piuttosto dovrebbe dedicarsi alla comprensione e al tentativo di convogliare i suoi effetti verso una direzione positiva per l'umanità. A tal proposito gli autori hanno individuato 4 principi fondamentali che possono indirizzare la discussione sulle nuove tecnologie:

- Concentrarsi sui sistemi piuttosto che sulle singole tecnologie: l'avanzamento delle AI, degli algoritmi e dei robot rimangono argomenti di discussione giornaliera, ma ciò su cui si dovrebbe spostare l'attenzione è il modo in cui governare queste tecnologie come parti di un sistema più vasto. In questo senso si dovrebbe sviluppare una conoscenza minima di temi complessi e in rapida evoluzione ed anche la volontà di esaminare gli effetti sociali e politici che questi cambiamenti possono apportare ai sistemi vigenti.
- Assicurarci che le tecnologie emergenti migliorino e non indirizzino le vite degli individui: le innovazioni dovrebbero permettere ai cittadini di tutte le nazioni di migliorare la loro qualità della vita e non essere succubi o manipolati dalle novità che la tecnologia propone.
- Agire collettivamente in maniera proattiva e non per inerzia: proprio perché la 4IR è ai suoi albori, le norme, gli standard, le regolamentazioni, i business model e le infrastrutture dovranno essere stabiliti nel prossimo futuro. Queste decisioni andranno prese collettivamente, considerando gli interessi di tutti gli stakeholder in gioco (istituzioni, industrie, cittadini ecc.).
- Pensare all'etica e ai valori come una caratteristica importante dei sistemi tecnologici e non come un elemento di disturbo: non esistono sistemi "bias-free", ossia senza pregiudizi o fallacie, poiché le tecnologie sono sviluppate da esseri umani e presentano al loro interno gli stessi bias dei loro ideatori, dei designer e degli utilizzatori in maniera implicita ed esplicita. I valori etici che vogliamo instillare nelle nuove tecnologie e nelle loro possibili applicazioni dovrebbero essere tenuti in considerazione in tutte le fasi del loro sviluppo.

Sia Schwab (2016) sia Philbeck e Davis (2018) sono consapevoli che la 4IR, al di là del fatto che sia una vera e propria rivoluzione industriale o soltanto un cambio di paradigma tecnologico, è un fenomeno complesso che già presenta e sicuramente presenterà in futuro minacce e opportunità che metteranno in discussione il nostro attuale stile di vita. Tuttavia, siccome nulla è ancora scritto sulla pietra, essi invitano ad essere parte del cambiamento, superando quell'atteggiamento di "passiva

rassegnazione”<sup>22</sup> e di inerzia. La definizione del concetto di Quarta rivoluzione industriale non è un’azione meramente descrittiva, ma è uno strumento utile per riflettere sulle dinamiche a cui andremo incontro con l’obiettivo di governare il cambiamento verso una società più equa, solidale e prospera.

---

<sup>22</sup> K. Schwab, *La quarta rivoluzione industriale*, 2016, pp. 27-28.

### 3.2: L'Industria 4.0

Non si può parlare della 4IR senza approfondire uno dei suoi elementi costitutivi: l'Industria 4.0. Sempre Schwab (2016) riporta che il termine è stato utilizzato nel 2011 per la prima volta durante la Fiera di Hannover per definire quell'ambiente lavorativo dove i sistemi di produzione fisici e digitali interagiscono costantemente, consentendo una maggiore personalizzazione dei prodotti e la creazione di nuovi modelli operativi ed organizzativi. Il lavoro della Fiera di Hannover si concluse nel 2013 con la pubblicazione di un report finale che riportava le indicazioni generali per sfruttare le nuove opportunità che si sarebbero venute a creare negli anni successivi grazie all'avanzamento tecnologico. Il termine ha poi conosciuto un'ampia diffusione dopo che, su esempio della Germania, l'Unione Europea, in un'iniziativa denominata proprio "*Industry 4.0*"<sup>23</sup>, ha stanziato 50 miliardi di euro per coordinare gli sforzi degli stati membri verso la digitalizzazione e l'adozione di nuove tecnologie con il fine di ammodernare le industrie europee. Attualmente, l'I4.0 indica tutte quelle tecnologie e cambiamenti organizzativi che hanno come prefisso il termine "*smart*", nonché l'utilizzo dei sistemi cyber-fisici.

La *smart factory*<sup>24</sup> (o fabbrica intelligente) rappresenta la nuova idea di impresa che utilizza le nuove tecnologie in una logica di continuo miglioramento ed efficientamento della produzione. In particolare, nelle smart factories i macchinari saranno equipaggiati da sensori, antenne e rilevatori collegati a sistemi IoT che saranno in grado di rendere la produzione flessibile e auto-adattiva. I processi produttivi non saranno più concepiti come compartimenti stagni che lavorano separatamente, ma verranno coordinati centralmente attraverso lo scambio continuo di dati cosicché i piani di fornitura e distribuzione possano essere visibili in tempo reale, senza necessità di fare stime, e gli ordini e le spedizioni verranno eseguiti in maniera precisa ed automatica, dando vita alla cd. *smart supply-chain*. I vantaggi principali delle fabbriche connesse sono diversi, ma sono sempre ricollegabili alle logiche di ottimizzazione e riduzione delle risorse impiegate. La produzione sicuramente sarà la prima a subire un cambiamento e ad osservarne i vantaggi: attraverso sistemi integrati e connessi e l'applicazione di AI in grado di interpretare i dati prodotti, i processi produttivi non saranno soltanto più efficienti, ma si potrà intervenire più facilmente su eventuali falle, ridurre gli sprechi e i tempi del ciclo produttivo. Altro aspetto che sicuramente migliorerà sarà la qualità dei prodotti, a livello singolo o di linea, e l'analisi del loro stato di salute con la possibilità di individuare puntualmente quelli difettosi. La manutenzione non sarà più periodica, bensì basata su dati prodotti in tempo reale dagli stessi macchinari sul loro funzionamento, il livello di usura e l'eventuale

---

<sup>23</sup> <http://euroinnovazione.eu/un-piano-per-la-digitalizzazione-dellindustria-europea/>

<sup>24</sup> <https://www.internet4things.it/smart-manufacturing/smart-factory-cose-caratteristiche-e-vantaggi/>



necessità di intervenire cambiando specifici componenti. I consumi energetici a livello di fabbrica verranno ottimizzati poiché sarà possibile monitorare l'utilizzo di energia e la produzione sarà organizzata in maniera automatica per ridurre al minimo gli sprechi. I sistemi cyber-fisici sono gli ambienti in cui si sviluppano le smart factories e sono rappresentati proprio dalla convergenza tra aspetti fisici e digitali della produzione, dove l'uno o l'altro aspetto sono di difficile differenziazione.

Lasi (2014) ha individuato altri cambiamenti significativi portati dall'I4.0. Questi possono essere distinti in “*Application-Pull*”, che riguardano le modifiche necessarie da apportare al contesto organizzativo, e “*Technology-Push*” che interessano le pratiche industriali e i lavori che fanno uso di tecnologie digitali. Tra i primi annoveriamo:

- La riduzione dei tempi di sviluppo e innovazione che rappresentano un fattore chiave di successo per molte imprese, in particolare per quanto riguarda il *time to market*<sup>25</sup>.
- La necessità di rendere i processi produttivi flessibili e adattabili alle esigenze di mercato.
- L'individualizzazione sul lato della domanda e la personalizzazione dei prodotti, per cui i beni non possono più essere standardizzati ma si devono adattare alle esigenze dei diversi gruppi di consumatori.
- La decentralizzazione decisionale per rendere meno gerarchico e farraginoso il processo decisionale all'interno delle imprese, poiché le dinamiche del mercato sono sempre più rapide e imprevedibili.
- L'efficientamento delle risorse in un'ottica di risparmio di costi, legata alla sostenibilità del business a livello economico ed ecologico.

Tra i secondi riscontriamo:

- Incremento della meccanizzazione e dell'automazione dei processi produttivi per supportare il lavoro fisico o rimpiazzarlo attraverso dispositivi in grado di compiere scelte autonome e capaci di controllare ed ottimizzare le linee produttive.
- Digitalizzazione e networking dei componenti che già sono presenti all'interno di molte industrie ampliaranno i loro campi di utilizzo. La crescente digitalizzazione degli strumenti di produzione e di quelli a supporto della stessa si tradurranno in una maggiore mole di dati generati da dispositivi e sensori in grado di aiutare nelle funzioni di controllo e analisi.
- La miniaturizzazione, trend che si è affermato negli ultimi anni e ha permesso alle aziende moderne (in particolare quelle high-tech) di ridurre a livelli infinitesimali le dimensioni dei

---

<sup>25</sup> Il *Time To Market* è una espressione di derivazione anglosassone che indica il tempo che intercorre dall'ideazione di un prodotto alla sua effettiva commercializzazione.

componenti dei loro prodotti ottenendo performance migliori rispetto al passato, anche grazie all'uso delle nanotecnologie.

In conclusione, si può affermare che le tecnologie che rientrano sotto l'ombrello dell'I4.0 sono tutti quegli strumenti fisici e digitali, interconnessi tra di loro, che comunicano, interagiscono e collaborano al fine di sfruttare interamente le potenzialità delle innovazioni sviluppate nel corso della Terza rivoluzione industriale.

### 3.3: Le tecnologie abilitanti

La società di consulenza Boston Consulting ha rilasciato uno studio denominato “*Industry 4.0*”<sup>26</sup> nel quale individua alcune tecnologie, definite abilitanti, la cui adozione è la chiave per trasformare le vecchie fabbriche in smart factories nella logica dell’I4.0. La prima evidenziata è la Manifattura Additiva (o *Additive Manufacturing*), anche conosciuta come stampa 3D, che consiste nella realizzazione di oggetti tramite l’aggiunta di diversi strati di materiale a partire da un progetto digitale; al contrario delle tecniche precedentemente utilizzate, definite sottrattive, che dal materiale grezzo ottengono lo strumento finale attraverso la rimozione progressiva di parti superflue. La stampa 3D, oltre a ridurre gli sprechi di materiale, è utilizzata per le seguenti operazioni<sup>27</sup>: prototipazione e attività di R&S, produzione di prodotti su piccola scala, manutenzione di precisione, realizzazione di stampi e attrezzature strumentali. Questa tecnica, che si presta poco alla produzione di massa, è invece particolarmente utilizzata nella realizzazione di oggetti e prodotti su misura anche grazie alle infinite possibilità di personalizzazione introdotte dalle tecnologie digitali. Altre due tecnologie abilitanti che vanno spesso in parallelo sono la Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Virtuale (VR). La prima ha la funzione principale di aggiungere informazioni e dati sulla realtà attraverso dispositivi interconnessi come visori, tablet, smartphone e smart glasses (definiti *wearable technologies*) ed è utilizzata in funzioni aziendali come la manutenzione, la logistica, la funzione commerciale e di marketing. Nella manutenzione permette di individuare tramite visori di spazio e posizione componenti guaste e difettose e le istruzioni di riparazione sono disponibili a chiunque indossi tale tecnologia senza bisogno di conoscenze specifiche; nella logistica i dispositivi AR vengono utilizzati per localizzare la posizione dei prodotti e verificare lo stato degli ordini; nella funzione commerciale e di marketing questa tecnologia permette ai clienti di testare e visualizzare i prodotti in anteprima, permettendo una maggiore personalizzazione e un’esperienza d’acquisto più immersiva. La Realtà Virtuale viene utilizzata principalmente nel contesto della simulazione e valutazione ex ante di progetti di sviluppo mediante la creazione di modelli tridimensionali virtuali, modificabili in maniera molto più rapida e semplice rispetto alle loro controparti fisiche. Gli ambiti di applicazione sono diversi: panoramica spaziale degli impianti di produzione e dei singoli processi o operazioni che verranno eseguite, modellizzazione di prodotti o di componenti degli stessi, valutazione dell’efficacia dei processi produttivi, simulazione di scenari ipotetici per l’addestramento e la formazione del personale. Un’altra tecnologia abilitante che sempre di più si sta diffondendo è il cosiddetto “*Internet of Things*” (IoT) o “Internet delle cose”, termine che sta ad indicare quella struttura interconnessa tramite la rete

---

<sup>26</sup> <https://www.bcg.com/it-it/capabilities/manufacturing/industry-4.0>

<sup>27</sup> <https://www.digital4.biz/supply-chain/industria-40-politecnico-milano-sei-tecnologie-abilitanti/>

internet di strumenti e dispositivi, al cui interno sono presenti sensori, microchip e antenne, che operano secondo determinati parametri prestabiliti. Questi *device* vengono utilizzati nelle case delle persone comuni con l'obiettivo di rendere più semplice ed organizzabile la vita attraverso strumenti che si attivano con comandi vocali (Amazon Echo) o attraverso analisi dell'ambiente esterno (termostati intelligenti che si autoregolano), ma anche nelle aziende dove sempre più dispositivi sono in grado di comunicare e interagire sia tra di loro sia con sistemi di controllo più centralizzati. Inoltre, decentralizza l'analisi delle informazioni e il processo decisionale, relegando questi processi alle singole macchine, consentendo così risposte e adattamenti in tempo reale. Il fine ultimo delle IoT è creare una mappatura elettronica del mondo reale attraverso lo scambio e la messa a disposizione di informazioni cercando di ottimizzare l'utilizzo delle risorse e trovare una soluzione ai problemi in maniera più rapida. Gli ambiti applicativi sono innumerevoli poiché potenzialmente qualsiasi oggetto può essere costruito e programmato per scambiare e ricevere dati: dalle *Smart Road*<sup>28</sup> che sono in grado di comunicare con automobili, semafori e qualsiasi entità sul tratto stradale al fine di decongestionare il traffico e velocizzare il trasporto, all'ottimizzazione dell'energia elettrica attraverso sensori di luce che regolano la quantità di luce necessaria per una corretta illuminazione e poi ancora la robotica, la sorveglianza, la comunicazione e localizzazione in tempo reale di guasti e malfunzionamenti, la biomedicina, le *Smart Cities*<sup>29</sup> etc. Altra tecnologia abilitante, che va in parallelo alla precedente, sono i Big Data. Secondo la definizione data dalla società di consulenza McKinsey (2011): *“Un sistema di Big Data si riferisce a dataset la cui taglia/volume è talmente grande che eccede la capacità dei sistemi di database relazionali di catturare, immagazzinare, gestire ed analizzare”*. Si tratta quindi di enormi moli di dati con caratteristiche, sorgenti e finalità differenti, spesso sono prodotti proprio dalle tecnologie di IoT, dai social network, dai motori di ricerca, dai sensori, dai satelliti etc. La capacità della società moderna di produrre dati è cresciuta così tanto che nel corso degli ultimi anni si è raggiunta e superata la soglia degli Zettabyte, ossia 10 elevato alla 21 byte. In uno studio del 2001, l'analista Doug Laney aveva definito le caratteristiche dei Big Data individuando un modello definito delle 3V, a cui poi ne sono state aggiunte altre due, che sono:

- Volume: la quantità di dati strutturati e non strutturati prodotta ogni secondo da tutti i dispositivi;
- Varietà: la diversità dei formati, della tipologia e delle fonti dei dati;
- Velocità: la rapidità con cui vengono prodotti e resi disponibili i nuovi dati;
- Veridicità: l'affidabilità dei dati prodotti;

---

<sup>28</sup><https://www.economyup.it/automotive/smart-road-nel-tratto-milanese-della4-primi-test-per-lauto-connessa/>

<sup>29</sup>[https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities\\_en](https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en)

- Valore: la capacità di trasformare i dati prodotti in qualcosa di valore.

I Big Data sono entrati nella routine dei processi aziendali con due funzioni particolari: *Big Data Management*, ossia quei processi che hanno l'obiettivo di acquisire, immagazzinare e preparare i dati per un loro eventuale utilizzo, e *Big Data Analytics*, ovvero le tecniche (dette di *data mining*) con cui vengono estrapolate ed interpretate informazioni utili a partire dai dati disponibili. Per memorizzare e condividere così tante informazioni, individui e aziende faranno sempre più ricorso alla sesta tecnologia abilitante che sono i sistemi di *Cloud Computing*. I servizi di cloud sono sempre più richiesti perché permettono di archiviare, elaborare e trasmettere i dati su richiesta di un qualsiasi utente anche da remoto. Inoltre, hanno costi di investimento ridotti e permettono di condividere risorse in maniera istantanea tra più persone semplicemente connettendosi a internet da qualsiasi dispositivo e in qualsiasi luogo, garantendo un continuo aggiornamento delle persone e dei gruppi di lavoro. Altre tecnologie che si basano sui dati per funzionare sono l'intelligenza artificiale (AI) e i robot autonomi. Questi, già sviluppati nel corso della precedente rivoluzione industriale, stanno cominciando a sfruttare il loro vero potenziale grazie alle migliorate capacità di calcolo e analisi dei Big Data, che sono alla base dei processi di *Machine learning*. L'AI viene distinta in due tipologie: quella forte, con capacità cognitive simili a quelle umane che funziona mediante algoritmi strutturati in modo da replicare il funzionamento del cervello umano, e quella debole, che per analizzare e risolvere problemi ha bisogno di essere istruita con una grande mole di dati per confrontarli e poter dare una risposta. La prima viene solitamente utilizzata per l'analisi del linguaggio e la comprensione dei significati, mentre la seconda per questioni di *problem solving*. Le capacità analitiche e di risposta delle AI sono aumentate a dismisura negli ultimi anni grazie alla quantità esponenziale di dati disponibili. Questi hanno reso più semplice istruire le macchine e gli algoritmi, che adesso sono in grado di investigare e analizzare eventi, capire i nessi di cause e conseguenze, realizzare modelli predittivi di auto-apprendimento, ricercare, elaborare e produrre specifiche informazioni e tante altre capacità che vengono applicate su macchinari e robot in modo da renderli autonomi, in grado cioè di recepire ordini e informazioni ed elaborare risposte opportune senza l'intervento umano. L'ottava tecnologia abilitante è rappresentata dalla *Cyber-security* poiché in un mondo dove i dati "rappresentano il nuovo petrolio"<sup>30</sup> gli individui e le organizzazioni cercano ovviamente di tenersi strette le proprie le informazioni personali o le fonti di guadagno. Poiché sempre più informazioni sensibili e fondamentali per la vita delle persone, ma anche di aziende e Stati, sono sulla rete e sui sistemi informatici, proteggerle sarà una delle sfide più ardue dei prossimi anni e la *cyber-security* ha proprio questo scopo. Oltre a garantire la sicurezza dei dati raccolti, scambiati e condivisi, gli altri

---

<sup>30</sup> Clive Humby (2006)

ambiti di applicazione della sicurezza informatica sono relativi alla confidenzialità dei dati, alla loro riservatezza, ma anche all'autenticità, alla disponibilità e all'integrità degli stessi che possono essere bersagliati da qualsiasi tipo di minaccia e intrusione. La sicurezza a livello informatico può essere conseguita agendo su due livelli: la sicurezza fisica e la sicurezza attiva. La prima è relativa all'accesso fisico dei luoghi che si intendono proteggere e utilizza strumenti come porte con codici, sistemi di identificazione personale, scanner dei materiali; mentre la seconda riguarda la protezione di dati e informazioni riservate a cui possono accedere solo specifiche persone ed utilizza strumenti hardware e software come cambi periodici di password, crittografia, firewall e software antivirus. Lo studio della Boston Consulting individua come tecnologia abilitante l'integrazione orizzontale e verticale dei sistemi informativi, anche se quest'ultima è la direzione perseguita da tutte le innovazioni che ricadono nell'I4.0. In particolare, questa integrazione riguarda sia le fasi del processo produttivo svolte all'interno dell'impresa stessa (integrazione verticale), a partire da quella di ricerca e sviluppo sino alla commercializzazione al cliente finale, sia la catena di fornitura e distribuzione rappresentata dalle altre imprese (integrazione orizzontale). La condivisione e la messa a disposizione di informazioni in tempo reale a tutte le funzioni aziendali, come anche a coloro che collaborano affinché i prodotti vengano realizzati e distribuiti, avrebbe l'effetto di aumentare l'efficienza e la cooperazione andando a ridurre gli sprechi di risorse e i tempi di produzione.

Dall'analisi delle innovazioni e delle tecnologie cardine dell'I4.0 si può notare come tutte quante operino grazie o attraverso gli strumenti digitali e la rete. Il maggiore scambio di dati e informazioni da macchinari e dispositivi rende possibile un più ampio coordinamento e controllo della produzione, in tutte le sue fasi e in tempo reale, con l'obiettivo di renderla più efficiente e minimizzare lo spreco di risorse, siano queste materiali o umane.

## Capitolo 4: Conseguenze occupazionali e considerazioni finali

### 4.1: Gli effetti delle nuove tecnologie sull'occupazione

Una volta definito il contesto in cui viviamo, i cambiamenti in atto, quelli che probabilmente affronteremo nel prossimo futuro e le principali tecnologie che rappresentano i driver di queste trasformazioni sistemiche, possiamo analizzare gli effetti delle stesse sull'occupazione e sul mercato del lavoro. Nel primo capitolo abbiamo visto come storicamente le diverse scuole del pensiero economico abbiano trovato delle possibili cause al cambiamento della composizione del fattore lavoro all'interno delle aziende dovuto all'introduzione di tecnologie più o meno rivoluzionarie. Il tema della disoccupazione tecnologica è in voga ancora oggi e le opinioni sono contrastanti tra chi pensa che per ogni posto di lavoro che oggi si perde in futuro ne verrà creato un altro e chi, invece, reputa che la progressiva automazione delle linee produttive provocherà una disoccupazione di massa. Anche in questo campo ci sono, quindi, diverse teorie che spiegano come e perché si modifica la composizione a livello aziendale e di settore a seguito dei fenomeni di digitalizzazione e automazione dei processi e anche modelli alternativi che spiegano l'impatto che le tecnologie abilitanti della 4IR stanno avendo e avranno a livello occupazionale. Per effettuare questa analisi bisogna partire dal presupposto che gli effetti delle innovazioni tecnologiche, in particolare quelle relative all'I4.0, sono di difficile concettualizzazione e misurazione poiché dipendono da numerosi fattori come quelli organizzativi, istituzionali, la struttura del mercato del lavoro, le condizioni macroeconomiche, la legislazione del paese, ma anche la sua cultura, la tipologia di industrie che si sono sviluppate e le politiche in favore delle stesse (Guerrieri e Bentivegna, 2012; Evangelista et al., 2014). Tuttavia, in tempi recenti la preoccupazione relativa alla disoccupazione tecnologica è tornata in auge perché le macchine moderne sono ritenute più "intelligenti" di quelle del passato e, come abbiamo visto dai tratti caratteristici delle tecnologie abilitanti, hanno capacità cognitive e di elaborazione delle informazioni anche superiori agli esseri umani, che le rendono in grado di svolgere sempre più mansioni e ruoli prima riservati alle loro controparti organiche. Da qui la paura che accanto alle opportunità date dal progresso tecnologico vi sia anche il rischio di una maggiore sostituzione uomo-macchina. La concezione del lavoro come "serie di task da svolgere" ha permesso l'individuazione di questi singoli compiti e la programmazione di macchine in grado di aiutare o sostituire direttamente il lavoratore nelle sue mansioni. Questa concettualizzazione del lavoro ha permesso di sviluppare una serie di teorie sull'impatto delle nuove tecnologie sul lavoro a seconda della tipologia di compiti che ogni lavoratore va a svolgere.

Nel loro articolo, Cirillo et al. (2021) ripercorrono la storia dell'impatto delle tecnologie digitali a livello occupazionale, proponendo i risultati di alcuni studi svolti sia in Europa sia in USA da cui risulta che l'avanzamento tecnologico delle ICT e delle apparecchiature digitali non comprometta l'occupazione e anzi in alcuni casi, come quello dei paesi che offrono una connessione veloce e stabile, possa anche favorirla (Biagi and Falk, 2017; Kolko, 2012 and Atasoy, 2013). Tuttavia, gli autori sottolineano che anche se a livello aggregato i risultati empirici possono sembrare a favore dell'ipotesi di un cambiamento tecnologico "*labour-friendly*", queste stesse analisi possono essere influenzate da un effetto di competitività tecnologica, ampiamente omissso e poco indagato (Vivarelli, 2014). Con questo si intende che le imprese e le industrie che passano al digitale potrebbero aumentare l'occupazione come risultato di una "*technological competitive strategy*" caratterizzata da un uso intensivo ed efficace delle tecnologie digitali associato all'introduzione di nuovi prodotti e modelli di business. Si può scendere maggiormente nei dettagli e valutare l'impatto occupazionale della digitalizzazione ponendo le mansioni al centro dell'analisi e tenendo in conto l'eterogeneità dalla struttura occupazionale (Autor, 2015). La prima ipotesi fatta è quella denominata *Skill Biased Technical Change* (SBTC), secondo la quale la tecnologia compete direttamente con gli esseri umani come fattore della produzione e si ritiene che la digitalizzazione abbia avuto e avrà effetti diversi sulla produttività marginale del lavoro a seconda delle qualifiche richieste ai lavoratori. In particolare, le tecnologie ICT e digitali sono ritenute complementari ai lavori considerati *high-skill*, in quanto sono attività con mansioni più cognitive ed intellettive, che sfruttano computer e *digital devices*, diversamente ai lavori cd. *low-skill* per i quali si prevede una penalizzazione. Ciò avviene perché la produttività degli impieghi che richiedono una maggiore istruzione e specializzazione è aumentata dalle nuove tecnologie dato che le parti più ripetitive possono essere velocizzate o sostituite, lasciando più spazio a quelle creative e astratte; al contrario i lavori *low-skilled* presentano un rischio maggiore di essere rimpiazzati in parte o in toto. La letteratura (Autor e Dorn, 2009) in questo modo spiega i cambiamenti della composizione della forza lavoro osservati a partire dagli anni '80 del secolo scorso in poi, nonché la maggiore richiesta di lavoratori *high-skill*. Poiché il modello SBTC non riusciva a spiegare interamente gli effetti delle nuove tecnologie sul lavoro, soprattutto per quanto riguarda la polarizzazione dei ruoli e dei salari, a partire dagli anni '90 è emerso un nuovo approccio denominato *Routine Biased Technical Change* (RBTC) che prende in analisi le singole mansioni a cui sono assegnati i lavoratori e il rischio di questi di essere sostituiti da tecnologie *labour-saving*. Il concetto è stato messo in evidenza da Autor et al. (2003), i quali avevano notato come la direzione presa dalle ICT era quella di rimpiazzare i lavori routinari, dato che i task (cognitivi e manuali) con caratteristiche di ripetitività e standardizzazione sono codificabili e non difficili da insegnare ad una macchina. Nel loro articolo gli autori avevano suddiviso i possibili compiti svolti da un lavoratore in astratti,



routinari e manuali, mentre in lavori seguenti (Goos et al., 2009) sono state aggiunte le mansioni che coinvolgono un'interazione sociale e con i clienti, per caratterizzare meglio il grado di routinizzazione. Particolare enfasi poi è stata posta sul fatto che la computerizzazione possa mettere particolarmente a rischio i compiti routinari poiché sono più semplici da parcellizzare in micro-azioni e da trasformare in codici di programmazione per le macchine. Al contrario, ciò non dovrebbe accadere per tutti quei lavori che coinvolgono un certo grado di esperienza empirica, conoscenze tacite e che si devono adattare ad un contesto interno ed esterno in continuo cambiamento. Tuttavia, l'ipotesi RBTC, nel corso degli anni, ha prodotto non poche critiche relative alla mancata considerazione dei fattori sociali e istituzionali, anche perché supportata da pochi riscontri empirici. Un punto critico dell'approccio è sicuramente l'assenza di riferimenti a quella che Autor (2003) chiama *human agency*, ossia tutte quelle caratteristiche tipiche degli esseri umani di adattabilità, flessibilità ed esperienza a livello individuale che rendono alcuni lavori, sebbene codificabili e ripetitivi, non sostituibili dalle macchine.

Consci di queste ipotesi e dei loro limiti, Cirillo et al. (2021) hanno voluto analizzare l'impatto della digitalizzazione sull'occupazione in Italia, con particolare attenzione al grado di routinizzazione dei compiti svolti dai lavoratori, ponendosi due domande di ricerca: se i lavori più complementari alle tecnologie digitali crescessero più velocemente di quelli meno digitalizzati e se, a causa dell'introduzione delle nuove tecnologie, i ruoli che coinvolgono mansioni più routinarie avessero dinamiche differenti dagli altri gruppi professionali. Per quanto riguarda la prima domanda, i ricercatori hanno trovato un riscontro positivo notando come le occupazioni che presentano maggiori task digitali crescono più velocemente delle altre di una percentuale pari circa al 5-7% a seconda del settore e del ruolo ricoperto<sup>31</sup>. I risultati relativi alla seconda domanda di ricerca mostrano come le caratteristiche dei singoli compiti svolti in una professione, e in particolare il grado di ripetitività e standardizzazione, possono indicare quanto quest'ultima sia resistente al cambiamento tecnologico o quanto sia conveniente per le imprese risparmiare in costi ed efficienza attraverso la sostituzione delle persone con le macchine. L'ipotesi RBTC sembra essere confermata: tanto più alto è il grado di routinizzazione e di codificabilità di un lavoro tanto maggiore è la possibilità che questo venga sostituito, causando disoccupazione ovvero una crescita meno consistente dei posti di lavoro. Cirillo et al. (2021) sottolineano come i risultati potrebbero derivare dalle caratteristiche peculiari del mercato italiano, molto competitivo nei settori della manifattura e dei servizi e perciò più incline a adottare tecnologie *labour-saving*. Inoltre, come osservato dai risultati della prima domanda di ricerca, le aziende che adottano delle strategie tecnologicamente competitive possono avere l'effetto

---

<sup>31</sup> Questo risultato è in linea con altri studi precedenti (Van Roy et al., 2018) che rilevano una crescita dell'occupazione del 5% associata alle attività innovative.

opposto e incrementare i posti di lavoro (*high-skill e high-digitalized*) nel tempo, rigettando quindi l'ipotesi che il cambiamento tecnologico di per sé causi disoccupazione di massa.

Oltre alla digitalizzazione, un'altra tecnologia abilitante che infiamma il dibattito occupazionale è l'AI. Dosi e Virgillito (2019) hanno fatto notare come l'automazione dei processi produttivi grazie ad AI e robot non sta mettendo a rischio soltanto i lavori cd. *blue collar*, ma anche quelli *white collar*. Era il 1996 quando il Deep Blue di IBM ha sconfitto Gary Kasparov, il campione mondiale di scacchi, un gioco nel quale le limitate capacità cognitive umane sono semplicemente sorpassabili da un computer (ci si aspetta che le macchine siano più brave degli esseri umani in attività che richiedono potenza di calcolo e ipotesi di scenari). Tuttavia, nel 2004, IBM ha sviluppato un software (Watson) che è stato in grado di battere il campione mondiale di Jeopardy (e nel 2011 ben due campioni mondiali), gioco nel quale sono fondamentali abilità concernenti la linguistica, la semantica, l'apprendimento e le capacità di associazione mentale. In questo modo è stato mostrato al mondo che le macchine non erano solo in grado di calcolare e rispondere a dati, ma anche di comprendere situazioni, imparare e adattare le proprie risposte alle mutate condizioni di contesto; le macchine erano intelligenti quanto, se non più, degli esseri umani. Al giorno d'oggi i robot sono in grado di comporre musica, giocare ai videogiochi, risolvere problemi matematici complessi, scrivere articoli, rispondere a messaggi e richieste dei clienti e tanto altro ancora. L'automazione del lavoro attraverso le AI e i robot può rappresentare una grande minaccia all'occupazione umana, ma anche portare a meccanismi di compensazione che creano nuovi posti di lavoro. Acemoglu e Restrepo (2019, 2020) hanno analizzato entrambi gli aspetti. Il loro focus è stato quello di tentare di creare un *framework* per superare la classica dicotomia che si instaura sul dibattito robot contro persone. Le posizioni in merito sono che l'automazione porterà alla distruzione di tutti i lavori performati da esseri umani oppure che il miglioramento tecnologico in questo campo aumenterà la produttività nonché le possibilità lavorative. L'idea centrale dell'analisi di Acemoglu e Restrepo (2020) è che l'automazione, nelle forme dell'AI e della robotica, crei il cosiddetto "*displacement effect*", ossia sostituisca i compiti delle persone facendo loro perdere il lavoro. Questo processo ha avuto inizio con la Rivoluzione Industriale inglese quando il lavoro degli artigiani specializzati venne rimpiazzato dalle macchine nelle fabbriche, ma la storia fornisce altri esempi come la meccanizzazione dell'agricoltura americana (Rasmussen 1982). Una grande spinta all'automazione industriale è avvenuta a fine anni '80, quando vennero introdotti robot che sostituirono molti ruoli all'interno delle aziende prima appannaggio dei lavoratori quali: lavorazione, saldatura, verniciatura, assemblaggio, gestione dei materiali e controllo qualità (Acemoglu and Restrepo, 2016). La sostituzione dell'uomo con le macchine non è un problema relativo solamente ai lavori manuali, ma ha riguardato anche una serie di compiti prima riservati ai lavoratori *white collar* come: recuperare, elaborare e trasmettere informazioni, coordinare

la logistica, gestire gli inventari, compilare i moduli per la tassazione, fornire servizi finanziari, tradurre documenti complessi, scrivere relazioni commerciali, preparare relazioni legali e diagnosticare malattie. Nonostante in alcune mansioni gli esseri umani abbiano attualmente un “vantaggio comparativo”, ossia la loro produttività è maggiore di quella delle macchine (il che li rende preferibili), secondo alcuni autori (Brynjolfsson e McAfee, 2014; Ford, 2016) queste innovazioni, in un prossimo futuro, diventeranno anche più brave delle controparti che hanno sostituito. In questo senso, il *displacement effect* apportato dalle macchine potrebbe ridurre la domanda di lavoro e, di conseguenza, il salario di equilibrio, oltre che aumentare la disoccupazione. Tuttavia, a questo problema Acemoglu e Restrepo (2020) contrappongono una serie di effetti che si muovono in direzione opposta, incrementando la domanda di lavoro (come i meccanismi di compensazione individuati dagli economisti classici), che sono:

- *Productivity Effect*: l’automazione, riducendo i costi di produzione, aumenta la domanda di lavoro per i ruoli non automatizzati (Acemoglu e Restrepo, 2016). Il risparmio nei costi si traduce in nuovi posti di lavoro in due modi principali: con la riduzione dei prezzi che porta i consumatori ad essere più ricchi in termini reali e perciò domandare più beni e servizi, aumentando l’occupazione in altri settori. Le stesse aziende che hanno automatizzato i processi produttivi possono utilizzare le maggiori risorse a disposizione per assumere nuovo personale per svolgere i compiti non automatizzati. Questo effetto sposta la discussione dall’introduzione di tecnologie che sono più efficienti degli esseri umani (e quindi aumentano la domanda di lavoro) a quelle che, invece, li sostituiscono solamente, lasciando la produttività inalterata, le quali rappresentano la vera minaccia per i lavoratori (Brynjolfsson e McAfee, 2014; Ford, 2016).
- *Capital Accumulation*: l’automazione attraverso AI e robot costituisce un aumento del fattore del capitale, che a sua volta incrementa il costo dello stesso<sup>32</sup>. Per questo motivo, seguendo le logiche neoclassiche, all’aumentare del costo di un fattore l’altro a parità di condizioni diventa più conveniente. Da ciò ne deriva che una maggiore automazione porta ad un aumento della domanda di lavoro e, nel lungo periodo, ad un possibile aumento dei salari (Acemoglu e Restrepo, 2016).
- *Deepening of Automation*: con questo effetto si intende che il *displacement effect* prodotto dai nuovi robot non opera soltanto a livello estensivo, sostituendo i lavori prima svolti dalle persone, ma anche a livello intensivo, rimpiazzando le macchine che

---

<sup>32</sup> Secondo la teoria microeconomica, la crescita della domanda di un bene determina un aumento del prezzo dello stesso.

precedentemente avevano svolto la stessa funzione. Ciò genererebbe aumenti di produttività che incrementerebbe la domanda di lavoro per gli stessi motivi visti sopra.

I sopracitati effetti dell'automazione andrebbero a controbilanciare (almeno in parte) la perdita di posti di lavoro dovuti all'introduzione di macchine che sostituiscono i compiti dell'uomo, evidenziando i lati positivi per i lavoratori che vedono tolte dalle loro responsabilità i lavori più ripetitivi, standardizzati, ma anche quelli pesanti e/o rischiosi. Una questione che rimane aperta è quella relativa al fenomeno in base al quale se sempre più mansioni vengono svolte dai robot, di conseguenza, diminuiscono quelle svolte dagli esseri umani, riducendo la percentuale del fattore lavoro nel calcolo del PIL e rendendo ogni produzione ad alta intensità di capitale. Il fatto che però la meccanizzazione del lavoro vada avanti da secoli e ciò non sia ancora completamente avvenuto, significa che esistono altri fattori che controbilanciano gli effetti negativi dell'automazione.

Oltre ai 3 effetti sopra descritti, storicamente è stato notato che durante periodi di intensa automazione, e perdita di posti di lavoro, allo stesso tempo nascevano nuove occupazioni, attività e settori che hanno sempre permesso il riassorbimento della forza lavoro persa a causa delle macchine. Ad esempio, nell'Inghilterra in via di industrializzazione del XIX secolo ci fu una rapida espansione di nuove industrie e lavori come ingegneri, macchinisti, riparatori, lavoratori del back-office e manager che accompagnarono l'ingresso delle nuove tecnologie nelle fabbriche. Come riportato da Acemoglu e Restrepo (2016), dal 1980 al 2010 l'introduzione e l'espansione di nuovi compiti e titoli di lavoro spiega circa la metà della crescita dell'occupazione statunitense. Ciò che è accaduto nel passato e continua ad accadere oggi è che accanto alla sostituzione di lavori da parte delle macchine per efficientare la produzione, l'umanità ha sviluppato nuove competenze e mansioni per cui i lavoratori hanno un vantaggio comparativo rispetto al capitale al fine di bilanciare il processo di automazione e garantire una crescita costante. I milioni di lavoratori espulsi dall'agricoltura durante la seconda metà dell'800 sono stati accolti nelle fabbriche che domandavano manodopera e lavori d'ufficio. Accanto al *displacement effect* che porta alla distruzione di posti di lavoro, quindi, l'automazione porta con sé un altro effetto, denominato "*reinstatement*" (di reintegro o reinserimento), che agisce in direzione opposta aumentando la domanda di lavoro e la quota di questo nel reddito nazionale. Un aspetto importante sottolineato dagli autori è che la creazione di nuovi impieghi non dovrebbe essere esogena e frutto di un processo autonomo distaccato dalla robotica e dalle AI per due principali motivi: a) l'automazione può generare endogenamente incentivi per le imprese al fine di introdurre nuovi compiti ad alta intensità di lavoro. Inizialmente, infatti, la sostituzione dei lavoratori con le macchine riduce la quota del fattore lavoro e possibilmente i salari, rendendo l'ulteriore automazione meno redditizia e per i nuovi compiti che si svilupperanno sarà

impiegata la manodopera, poiché più profittevole del capitale per le imprese (Acemoglu e Restrepo, 2016). b) la tecnologia delle AI può facilitare la creazione di nuove posizioni relative alla programmazione, insegnamento, monitoraggio e riparazione delle stesse. Gli allarmisti dell'automazione ritengono che questa rivoluzione tecnologica sia diversa dalle precedenti, tuttavia, ci sono ancora molti aspetti umani che le AI non riescono a copiare o automatizzare come il ragionamento complesso, la capacità di giudizio, l'apprendimento basato sull'analogia, la risoluzione di problemi astratti e compiti che richiedono un misto di attività fisica, empatia e comunicazione. Secondo Acemoglu e Restrepo (2020) certamente l'automazione produce un effetto negativo sull'occupazione (*displacement effect*), ma contiene al suo interno i presupposti per riparare allo stesso attraverso una serie di effetti che si muovono in direzione opposta (creazione di nuovi posti di lavoro, *productivity effect*, *capital accumulation* e *deepening of automation*). Bisogna, quindi, lasciar perdere la falsa dicotomia per cui l'automazione può avere effetti solamente positivi o negativi e concentrarsi su altri aspetti che hanno un maggiore impatto delle macchine nel determinare la perdita di posti di lavoro e anche nel minare l'efficacia degli effetti di compensazione. Gli autori ne individuano alcuni:

- L'automazione modifica la natura dei posti di lavoro esistenti e il riallocaimento della forza lavoro è un processo complesso che può richiedere tempi più o meno lunghi. Inoltre, i periodi in cui i lavoratori vengono licenziati dai loro posti di lavoro esistenti possono creare un mercato del lavoro locale o nazionale depresso. Questi effetti sono visibili in studi recenti che si sono concentrati sull'aggiustamento dei mercati del lavoro locali degli Stati Uniti a shock negativi della domanda (Autor, Dorn, and Hanson, 2013). La storia inglese è un esempio di quanto l'aggiustamento possa essere un processo lungo e sofferto: la rapida introduzione di nuove tecnologie durante la rivoluzione industriale britannica ha portato ad un aumento della domanda di lavoro e dei salari, ma questo avvenne solo dopo un lungo periodo di salari stagnanti, povertà in espansione, e condizioni di vita dure. Tale periodo viene chiamato la "Pausa di Engel" (Allen, 2009).
- I nuovi posti di lavoro tendono a richiedere nuove competenze, tuttavia, se la forza lavoro non possiede quelle abilità, il processo di adattamento potrebbe risultare più lungo. Un altro aspetto da considerare, e forse più preoccupante, è il sistema educativo, il quale potrebbe non essere in grado di fornire queste competenze per cui il processo di inserimento di nuovi lavoratori verrebbe notevolmente ostacolato. In questo caso ad essere minata non è solo l'occupazione ma anche la produttività delle nuove tecnologie che necessitano di conoscenze specifiche per poter essere sfruttate al meglio. Il *mismatch* tra conoscenze richieste e innovazioni tecnologiche, quindi, non solo rallenta il reinserimento

dei lavoratori licenziati e la crescita dei salari, ma produce anche perdite di produttività. Secondo un'indagine svolta nel 2020 dalla società Boston Consulting lo *skill mismatch* è una grande problematica a livello globale che ha causato perdite di produttività e mancati guadagni per 8 mila miliardi di dollari, ossia il 6% del PIL globale nel 2018, e ci si aspetta che questa stima cresca raggiungendo l'11% nel 2025, pari a 18 mila miliardi di dollari.<sup>33</sup>

Questi due problemi potrebbero rappresentare il motivo per cui anche se l'innovazione tecnologica portata dall'I4.0 è stata esponenziale, nel mondo la produttività non sia cresciuta di pari passo. Ciò ha portato Acemoglu e Restrepo (2016, 2018a) a definire questo periodo come di “eccessiva automazione”, vale a dire che la robotizzazione dei lavori è più veloce ed intensa di quanto sia socialmente desiderabile, il che non solo porta ad inefficienze del mercato lavorativo, ma rallenta la produttività, sprecando risorse che potrebbero essere reindirizzate a vantaggio dei lavoratori e della società. Gli autori forniscono anche alcune possibili cause dell'automazione eccessiva come: la presenza di una tassazione (sussidi e sgravi fiscali) che favorisce il capitale e le macchine rispetto ai lavoratori, i quali, oltre al salario, hanno una serie di costi accessori sempre più ingenti nei paesi europei e negli USA; le imperfezioni del mercato del lavoro; il fenomeno per cui l'accelerazione delle innovazioni tecnologiche permette l'automazione di un maggiore quantitativo di mansioni e compiti superiore alla velocità con cui vengono creati nuovi posti di lavoro. Tutti questi problemi potrebbero rappresentare una grave minaccia non solo per i lavoratori ma per la società in generale. A tal fine, Acemoglu e Restrepo (2020) concludono il loro articolo con una serie di raccomandazioni che dovrebbero indirizzare l'operato dei *policy-maker* nel governare i cambiamenti del prossimo futuro:

- L'aumento della produttività derivante dall'automazione ha come effetto quello di generare domanda di nuovi prodotti e in maggior numero e, di conseguenza, aumentare l'occupazione. Tuttavia, se la distribuzione dei benefici derivanti dall'applicazione delle nuove tecnologie avverrà in maniera iniqua e i redditi saranno concentrati nelle mani di un gruppo ristretto di individui con una bassa propensione al consumo allora l'effetto di compensazione sarà ostacolato, creando una maggiore disoccupazione e acuendo le disparità sociali.
- Il *mismatching* tra competenze richieste ai lavoratori e quelle che essi apprendono ha come conseguenze negative il rallentamento del processo di inserimento o di reinserimento dei lavoratori, nonché la riduzione della produttività e dei proventi derivanti dall'introduzione di nuove tecnologie. Il problema, quindi, non è solo una mancanza generale di conoscenze, ma l'insegnamento di conoscenze superflue o non necessarie al mercato del lavoro odierno. Oltre

---

<sup>33</sup><https://www.bcg.com/it-it/publications/2020/alleviating-the-heavy-toll-of-the-global-skills-ismatch#close-modal>

che aumentare le risorse per formare il capitale umano, bisognerebbe riformare il sistema educativo insegnando alle future generazioni un set di conoscenze e competenze di base per poter lavorare con le tecnologie digitali, le AI e i robot.

- Alcune tipologie di AI sono complementari al lavoro umano e permettono la generazione di nuovi posti di lavoro specializzati, mentre altri si concentrano sulla sostituzione di mansioni ad oggi svolte dagli esseri umani. Le autorità governative e quelle del mercato del lavoro hanno un impatto non solo sul livello di velocità con cui le nuove tecnologie vengono sviluppate, ma anche su quali di esse verranno convogliati i maggiori investimenti.
- In futuro bisognerà studiare l'impatto delle AI e dei robot sulla distribuzione della ricchezza per trovare un modo in cui questa sia condivisa il più possibile. Se, infatti, i salari rimarranno stagnanti oppure saranno più le persone che perdono il lavoro di quelle che lo acquisiscono vi è la possibilità che reazioni politiche conservatrici rallentino o fermino lo sviluppo e l'adozione di queste tecnologie.

Un altro autore che si è occupato del tema dell'impatto delle nuove tecnologie sull'occupazione è Autor (2015) che ha studiato come sono cambiati negli ultimi anni la struttura del mercato del lavoro, dei salari e delle mansioni svolte. Nel suo lavoro, Autor si chiede perché esistono ancora così tanti lavori se l'automazione ha come obiettivo quello di sostituire i lavoratori. Nel 1900, il 41% della forza lavoro statunitense era impiegata nell'agricoltura; nel 2000, quella quota era scesa al 2% (Autor 2015), soprattutto a causa di una vasta gamma di tecnologie, compresi i macchinari automatizzati. Durante i secoli passati le innovazioni tecnologiche hanno avuto la funzione principale di rimpiazzare le loro controparti umane: i trattori hanno sostituito il lento lavoro dei braccianti, i robot sono entrati nelle fabbriche per svolgere i lavori pesanti e di precisione, il calcolo digitale ha perfezionato e velocizzato quello umano etc. Un altro punto sottolineato dall'autore è che i compiti che non possono essere automatizzati traggono beneficio dalle tecnologie emergenti a seconda del grado di complementarità. Un esempio di ciò è documentato da Bessen (2015): gli ATM sono stati introdotti negli anni '70 negli USA e il loro numero è quadruplicato da circa 100.000 a 400.000 nel periodo tra il 1995 e il 2010 e, anziché ridursi, l'occupazione degli sportellisti bancari statunitensi in realtà è aumentata del 10% da 500.000 addetti a circa 550.000 negli anni dal 1980 al 2010. Bessen vede in questo esempio due forze che lavorano in direzioni diverse (simili ai meccanismi di compensazione): una riguarda la diminuzione dei costi per le banche derivanti dall'utilizzo degli ATM, che ha incrementato se pur modestamente la domanda di sportellisti, e l'altra relativa al fatto che gli operatori delle banche, non dovendosi più occupare della gestione del contante, hanno avuto maggiore tempo per dedicarsi ad altre mansioni (per lo più di relazione con la clientela) rese possibili

da una più ampia adozione delle tecnologie digitali. Questi effetti positivi, tuttavia, possono essere condizionati da tre fattori:

- i lavoratori ottengono benefici dall'automazione solo se questa sostituisce compiti secondari e non le mansioni principali, di modo che questa sia strumentale al lavoro e non lo rimpiazzhi;
- se l'elasticità dell'offerta di lavoro è elevata allora i risvolti positivi in termini di salario vengono attenuati o eliminati;
- l'elasticità della domanda al consumo combinata con l'elasticità del reddito della domanda può smorzare o amplificare i benefici apportati dall'automazione. Autor (2015) riporta l'esempio del cibo, la cui riduzione del prezzo ha nel lungo periodo l'effetto di aumentare la domanda di altri beni, mentre l'opposto vale per le cure mediche che hanno visto un aumento della spesa delle famiglie a seguito di una riduzione dei loro costi.

Autor (2015) giunge alla stessa conclusione di Acemoglu e Restrepo (2020), ossia che nel tempo l'automazione ha rimpiazzato molti lavori, ma al contempo, attraverso meccanismi compensativi, ha permesso la crescita della domanda di lavoro. Di conseguenza, l'autore sposta il focus della sua analisi su altri effetti che l'introduzione delle nuove tecnologie potrebbe apportare al mercato del lavoro. In un articolo del 2013, Autor e Dorn hanno dimostrato attraverso ricerche empiriche e modelli statistici come in 25 anni, dal 1980 al 2005, i salari e i posti di lavoro si siano polarizzati negli Stati Uniti, ma le conclusioni sono applicabili potenzialmente a tutti i paesi industrializzati. Tra il 1980 e il 2005, la quota di ore lavorate nelle occupazioni di servizio tra i lavoratori non laureati è aumentata di oltre il 50 per cento. Allo stesso tempo, i salari orari reali dei lavoratori non laureati nelle occupazioni di servizio sono aumentati, superando considerevolmente la crescita dei salari in altre occupazioni poco qualificate. In particolare, i dati mostrano come nel periodo in questione l'adozione delle tecnologie ICT abbia sostituito i lavoratori con medie e basse qualifiche (*middle e low-skilled*) nello svolgimento di compiti routinari e ripetitivi, mentre rappresenta uno strumento di complementarità con le mansioni definite astratte, ossia quelle che richiedono un certo grado di esperienza, di creatività, di problem solving, di ragionamento induttivo e di coordinamento tipiche dei lavoratori più qualificati (*high-skilled*). Con il ridursi dei costi delle tecnologie informatiche, dei pc e dei robot le imprese avrebbero aumentato l'acquisto di queste tecnologie facendo scendere anche il costo orario per il quale sarebbero state disposte a pagare per le mansioni routinarie. A ciò è seguito il riallocaimento dei lavoratori in occupazioni relativi ai servizi, più difficili da automatizzare perché basate sul contatto umano, capacità di ragionamento analitico, comunicazione interpersonale e un certo grado empatico. Basandosi sul modello di progresso tecnologico non bilanciato (Baumol, 1967), gli autori hanno



dimostrato che se la domanda per i servizi non ha perfetti sostituti, allora l'utilizzo delle macchine per svolgere compiti ripetitivi nella produzione di beni può indurre un aumento dei salari e incrementare la domanda di lavoratori con basse qualifiche. Questa analisi è stata poi confrontata con i dati sull'occupazione forniti dal Census su 722 "commuting zones" degli USA e si è mostrata in larga parte predittiva degli effetti, che secondo Autor e Dorn (2013) dovevano essere:

- Una maggiore adozione delle tecnologie ICT;
- La riallocazione dei lavoratori con basse qualifiche da compiti routinari ai servizi (polarizzazione dell'occupazione);
- Un maggiore incremento dell'occupazione e dei salari dei lavoratori sia *high-skilled* che *low-skilled* (polarizzazione dei salari);
- Benefici netti positivi per entrambe le classi di lavoratori derivanti da questi cambiamenti.

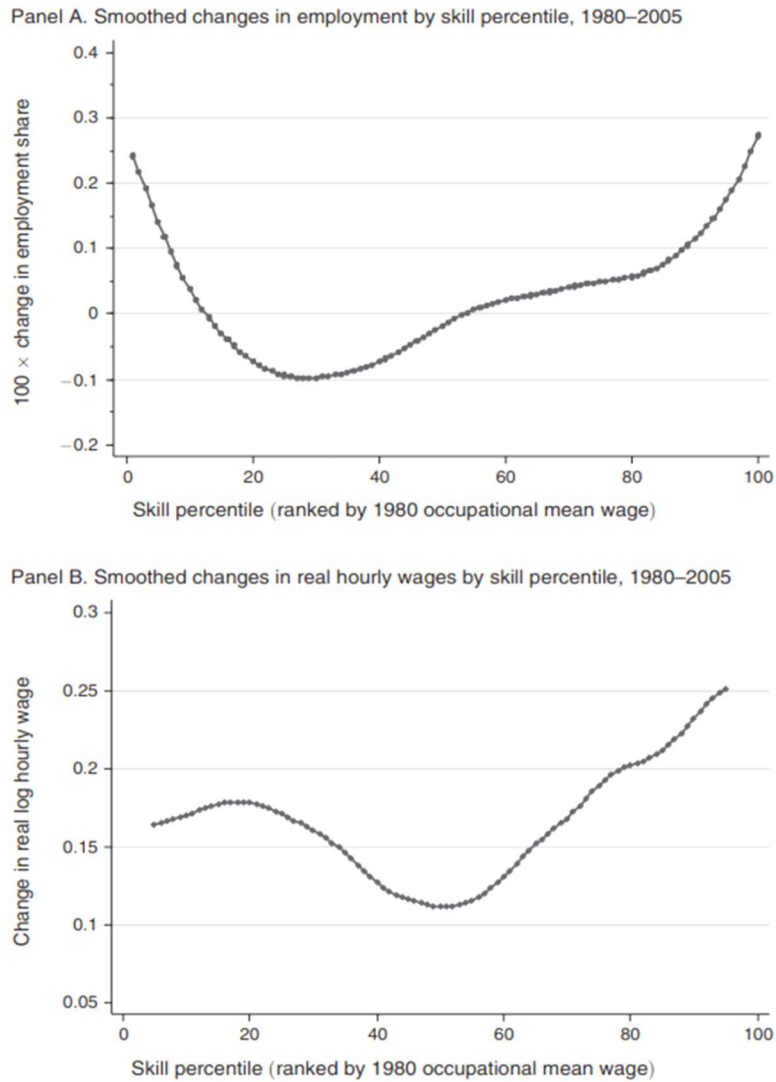


FIGURE 1. SMOOTHED CHANGES IN EMPLOYMENT AND HOURLY WAGES, 1980–2005

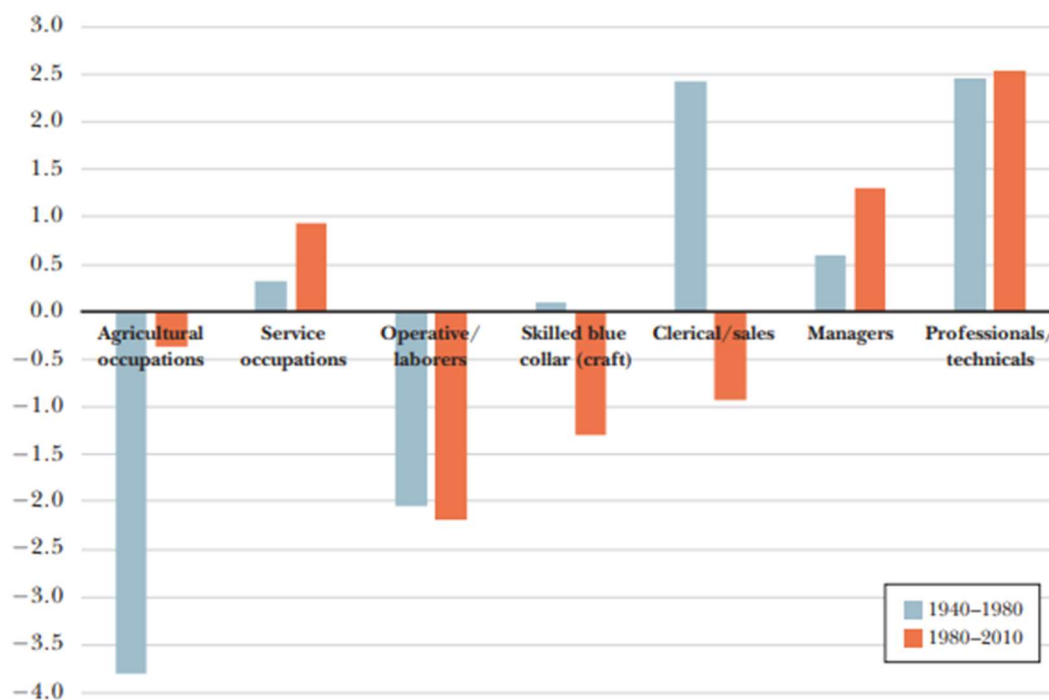
34

I benefici del cambiamento tecnologico sembrano, quindi, essere concentrati nelle occupazioni che richiedono un'elevata istruzione e delle competenze di tipo specialistico (di tipo tecnico, scientifico, medico, manageriale), un'altra parte, anche se minore, è appannaggio dei lavoratori con basse qualifiche che svolgono compiti non routinari e degli impiegati nel settore dei servizi. Questi sono coloro che svolgono i cosiddetti lavori manuali (preparazione e servizio del cibo, lavori di pulizia, assistenza sanitaria di persona e a domicilio e numerosi servizi di sicurezza e protezione), i quali necessitano di una presenza in loco oltre che capacità comunicative, interpersonali, di adattamento situazionale. Mentre le classi che soffrono maggiormente il peso del cambiamento tecnologico sono quelle dei lavoratori che svolgono compiti automatizzabili, semplicemente codificabili e quelli rientranti nella fascia media (venditori, lavori di ufficio, contabili, operai). Un ruolo critico è

<sup>34</sup> Panel A e B: Autor e Dorn, *The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market*, 2013, p.2

sicuramente svolto dalla specializzazione del lavoro (che in futuro andrà acuendosi), stimolata dall'automazione delle attività di routine, che funzionerà come motore dell'aumento dell'occupazione e della polarizzazione salariale negli Stati Uniti e potenzialmente in altri paesi. A supporto della tesi che negli ultimi decenni i posti di lavoro hanno subito un processo di polarizzazione Autor (2015) riporta i dati del Census estrapolati da Katz e Margo (2014) sul cambiamento percentuale delle occupazioni della popolazione americana in due periodi, 1940-1980 e 1980-2010.

*Figure 1*  
**Average Change per Decade in US Occupational Employment Shares for Two Periods: 1940–1980 and 1980–2010**



Source: Based on Katz and Margo (2014), table 1.6, panel A, which is based upon the 1920 through 2000 Census of population IPUMS and 2010 American Community Survey.

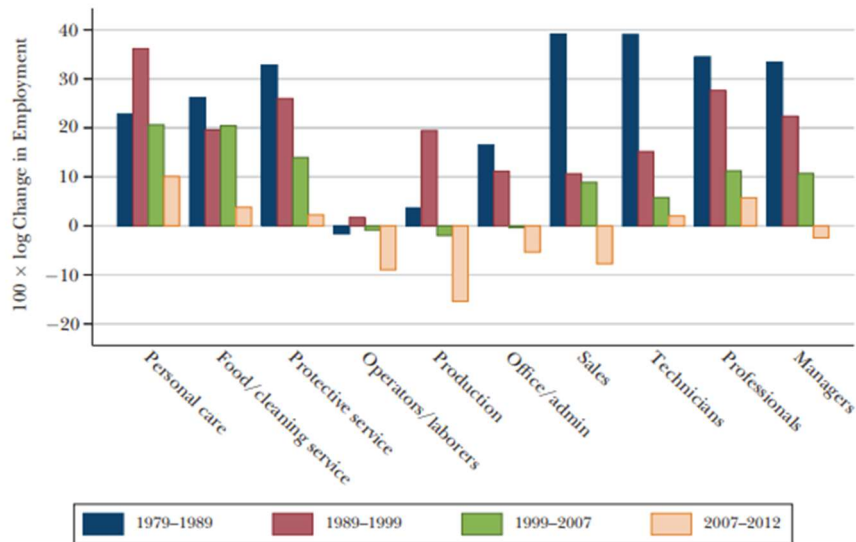
35

Dalla tabella risulta che sia nei decenni del dopoguerra sia a partire dagli anni '80 le percentuali di lavori operativi e agricoli sono diminuiti consistentemente, mentre i lavori maggiormente qualificati (come tecnici specialistici e manager) ma anche quelli relativi ai servizi sono cresciuti. Gli addetti alle vendite sono aumentati consistentemente nel dopoguerra, grazie anche al boom economico, ma in anni più recenti il loro numero è sostanzialmente diminuito a causa anche della maggiore adozione delle tecnologie informatiche e digitali. Altri dati confermano la teoria secondo la quale, da decenni,

<sup>35</sup> Figura 1: Autor, *Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation*, 2015, p.7. Cambiamento medio per decennio nell'occupazione per sette categorie occupazionali, classificate dal più basso livello di stipendio al più alto.

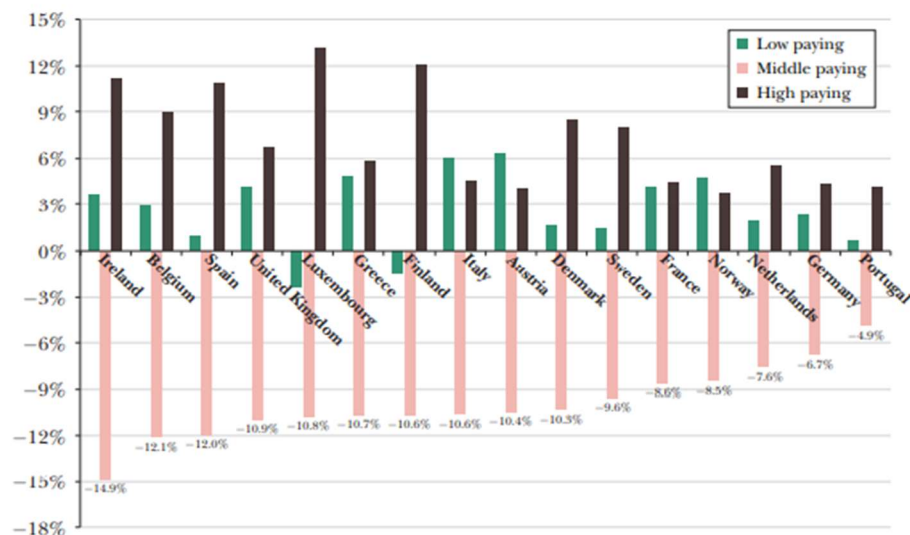
è in atto un cambiamento di concentrazione nell'occupazione che tende verso l'assunzione di lavoratori *low-skilled* e *high-skilled* a scapito dei ruoli *middle-skilled*.

**Figure 2**  
**Change in Employment by Major Occupational Category, 1979–2012**  
*(the y-axis plots 100 times log changes in employment, which is nearly equivalent to percentage points for small changes)*



Sources: Author using data from the 1980, 1990, and 2000 Census IPUMS files, American Community Survey combined file 2006–2008, and American Community Survey 2012. The sample includes the working-age (16–64) civilian noninstitutionalized population. Employment is measured as full-time equivalent workers. 36

**Figure 3**  
**Change in Occupational Employment Shares in Low, Middle, and High-Wage Occupations in 16 EU Countries, 1993–2010**



Source: Goos, Manning, and Salomons (2014, table 2). 37

<sup>36</sup> Figura 2: Autor, *Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation*, 2015, p.11

<sup>37</sup> Figura 3: Autor, *Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation*, 2015, p.13

La figura 2 mostra i cambiamenti percentuali negli Stati Uniti per gli anni 1979-2012 per dieci principali gruppi lavorativi che comprendono tutta l'occupazione ad eccezione di quella del comparto agricolo, omessa poiché rappresenta il 2,2% della popolazione. I dieci gruppi possono essere suddivisi in 3 sottogruppi: le prime 3 colonne sulla destra rappresentano i lavoratori con alte qualifiche e ad alta retribuzione, le 3 colonne sulla sinistra sono i lavoratori nel settore dei servizi e con basse qualifiche, le 4 colonne centrali sono i gruppi lavorativi definiti middle-skill. Dalla tabella è possibile notare come la crescita maggiore in termini percentuali riguardi principalmente le 3 occupazioni a destra e a sinistra del grafico, mentre si può osservare una riduzione della percentuale di lavoratori che svolgono mansioni più facilmente codificabili e automatizzabili (venditori, lavori di ufficio e amministrativi, addetti alla produzione e operai). Quest'ultime, che nel 1979 rappresentavano il 60% degli occupati, nel 2007 avevano raggiunto il 49% e nel 2012 il 46%. Per dimostrare che la polarizzazione delle occupazioni non è un fenomeno riguardante solo gli Stati Uniti, Autor (2015) fornisce i dati presentati da Goos, Manning, e Salomons (2014) relativi ai cambiamenti percentuali dei lavoratori in 16 paesi europei tra il 1993 e il 2010. Nella Figura 3 gli occupati sono divisi in 3 gruppi principali in relazione al reddito, che può essere basso, medio o alto<sup>38</sup>. Nel periodo considerato, in tutti i paesi dell'UE (il Regno Unito era ancora nell'Unione Europea) si può osservare un declino sostanziale delle occupazioni di fascia media, mentre i lavoratori di fascia alta e bassa sono aumentati percentualmente. Anche se non direttamente comparabili, i dati americani ed europei mostrano che, con le dovute differenze tra singole nazioni, il fenomeno della polarizzazione del lavoro è in atto in molti paesi industrializzati.

Un'altra domanda che Autor (2015) si pone è se la polarizzazione dell'occupazione porti ad una conseguente polarizzazione dei salari, cioè l'aumento dei salari relativi sia nelle professioni ad alta istruzione e ad alta intensità di lavoro sia nei lavori manuali ad alta intensità di lavoro a bassa istruzione. Per verificare l'effetto delle nuove tecnologie sui salari, bisogna tener conto di tre fattori discussi prima che possono mitigare o incrementare l'aumento dei redditi: la complementarità, l'elasticità della domanda e dell'offerta di lavoro. La computerizzazione e la digitalizzazione si sono dimostrate per lo più complementari alle posizioni lavorative che svolgono principalmente compiti

---

<sup>38</sup> Le occupazioni ad alta retribuzione sono i manager aziendali; i professionisti di fisica, matematica e ingegneria; i professionisti delle scienze mediche e sanitarie; altri professionisti; i manager di piccole imprese; i professionisti associati di fisica, matematica e ingegneria; altri professionisti associati; i professionisti associati delle scienze mediche e sanitarie. Le occupazioni di media retribuzione sono operatori di impianti fissi e affini; lavoratori del metallo, dei macchinari e del commercio connessi; autisti e operatori di impianti mobili; impiegati d'ufficio; lavoratori di precisione, artigiani, stampatori artigianali e lavoratori affini; lavoratori dell'estrazione e dell'edilizia; impiegati del servizio clienti addetti al customer care; operatori e assemblatori di macchine; e altri lavoratori dell'artigianato e del commercio connessi. Le occupazioni a bassa retribuzione sono operai nel settore minerario, edile, manifatturiero e dei trasporti; lavoratori dei servizi personali e protettivi; modelli, venditori e dimostratori; e occupazioni elementari di vendita e servizio.

astratti. Queste, infatti, attingono ad una serie di competenze in costante evoluzione, come ad esempio: conoscenze mediche, precedenti legali, capacità di analisi di dati economici, di vendita e finanziari, linguaggi di programmazione e conoscenze statistiche. Riducendo drasticamente il costo delle informazioni e dell'analisi delle stesse, l'adozione delle nuove tecnologie permette ai lavoratori che svolgono compiti astratti di specializzarsi ulteriormente nelle mansioni dove detengono un vantaggio comparativo, con meno tempo dedicato per acquisire le informazioni e più tempo speso nell'interpretazione e applicazione delle stesse. Allo stesso modo le tecnologie ICT e le AI hanno sostituito molti compiti di supporto a queste professioni, come ad esempio segretari e consulenti legali. Aumentando l'output per lavoratore e la produttività, parte della maggiore domanda di lavoro e dei profitti dovrebbe andare a beneficio dei lavoratori stessi, aumentandone i salari. Tuttavia, se la domanda di lavoro per queste tipologie di compiti fosse anelastica, gli effetti positivi sui salari potrebbero essere ridotti; anche se le evidenze empiriche mostrano che negli ultimi anni la domanda di professioni come ingegneri, avvocati, designer, medici e simili non si è affatto ridotta. Per quanto riguarda l'offerta di lavoro, se i lavoratori potessero passare rapidamente alle professioni più qualificate e con più alti guadagni, un tale spostamento diminuirebbe la crescita dei salari. Ciò non avviene perché molte di queste occupazioni richiedono sia la laurea triennale sia una o più specialistiche, quindi, coloro che vogliono entrare in questo mercato devono studiare da cinque a dieci anni. Proprio a causa di queste difficoltà i giovani adulti statunitensi, in particolare gli uomini, hanno risposto con notevole lentezza all'aumento del premio educativo negli ultimi 30 anni, mentre la percentuale di donne che hanno scelto le carriere ad elevata specializzazione è cresciuta di 11 punti percentuali tra il 1982 e il 2012 (Autor 2014). Si può concludere che i lavoratori che svolgono per la maggior parte del tempo compiti astratti hanno visto aumentare consistentemente i loro guadagni grazie ad un'elevata complementarità con le nuove tecnologie, una domanda non inelastica dei loro servizi e un'offerta di lavoro che è cresciuta, anche se di poco. Lo stesso non si può dire per i lavori manuali (servizi e lavori non automatizzabili) che non hanno molte affinità con le ICT e le nuove tecnologie. Infatti, la domanda dei loro servizi è piuttosto inelastica e l'offerta di lavoro, date le basse qualifiche richieste, è intrinsecamente elastica. Ciò significa che gli aumenti in produttività non si traducono automaticamente in maggiore domanda di lavoro e più alti salari. Tuttavia, si è notato che i guadagni di questi gruppi lavorativi tendono ad essere relativamente elastici al reddito, nel senso che l'aumento dei redditi aggregati tende ad aumentare la domanda di queste attività (Mazzorali e Ragusa 2013). In tal senso, l'introduzione e la maggiore adozione delle ICT e delle AI, e la conseguente crescita della produttività in altri settori, possono indirettamente aumentare la domanda di occupazioni ad alta intensità di lavoro manuale, determinando una crescita del loro salario. Autor (2015) presenta una serie di dati da cui si osserva che, se pur in maniera contenuta, i redditi dei

lavoratori che svolgono mansioni astratte e manuali sono cresciuti percentualmente in misura maggiore di quelli cosiddetti *middle-skill* tra gli anni 1979 e 2012. L'autore ci tiene comunque a precisare che *“mentre la tecnologia dell'informazione ha fortemente contribuito alla polarizzazione dell'occupazione misurata in quantità di posti di lavoro, in generale non ci aspetteremmo che questi cambiamenti nell'occupazione culminino in una corrispondente polarizzazione salariale, tranne forse in certi momenti o in certi lavori”*, chiarendo che le modifiche nei redditi possono essere solo parzialmente imputate all'introduzione delle nuove tecnologie, ma dipendono sostanzialmente da innumerevoli altri fattori che cambiano a seconda del paese e del contesto istituzionale, sociale, legislativo ed economico.

## 4.2: Conclusioni

Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, l'umanità, sin dai suoi albori, ha sperimentato e innovato, cercando di migliorare sé stessa, il proprio stile di vita, le condizioni economiche, i metodi di produzione, le possibilità di sopravvivenza ecc. Il cambiamento tecnologico che deriva dalle innovazioni siano queste l'invenzione della ruota o lo sviluppo di macchine automatizzate, porta da sempre con sé minacce e opportunità, che diversi autori (Schwab, 2016; Philbeck e Davis, 2018) hanno saputo analizzare e presentare con tanto di consigli su come affrontare le sfide del prossimo futuro. Il dibattito sulla quarta rivoluzione industriale, ossia se la stiamo affrontando o meno, rimane per lo più argomento di discussione degli esperti e, solitamente, le epoche e i fatti storici riescono ad essere descritti a pieno soltanto una volta che si sono conclusi. Hegel diceva *“La nottola di Minerva si leva al crepuscolo”*, intendendo che la spiegazione dei fenomeni da parte della filosofia avviene quando questi sono prossimi alla loro conclusione. Tuttavia, i mutamenti che stiamo affrontando nelle nostre società dovuti all'affermarsi del quinto paradigma tecnico-economico individuato da Freeman e Perez (1988), legati in larga parte alla diffusione delle nuove tecnologie dell'industria 4.0 e alla loro sempre maggiore pervasività nelle nostre vite e nel nostro modo di fare impresa, sono attuali. Per questo motivo, piuttosto che una concettualizzazione dettagliata e preventiva del fenomeno (che rimane utile), studiosi e governi dovrebbero concentrarsi sulla gestione dei cambiamenti in atto e tentare di arginare le conseguenze negative. Nei capitoli precedenti abbiamo visto come il processo di automazione e sostituzione del lavoro umano con le macchine sia in atto da secoli e, tuttavia, la specie umana ha saputo di volta in volta reinventarsi e creare nuove occupazioni. Secondo il rapporto *“The Future of Jobs”*<sup>39</sup> del World Economic Forum la maggior parte delle professioni oggi più richieste dalle imprese 10 anni fa non esisteva e, secondo una stima, il 65% dei bambini che attualmente frequentano le scuole elementari saranno impiegati in nuove e attualmente non note occupazioni. La demonizzazione delle nuove tecnologie, delle AI e dei robot in particolare, non solo è inutile, poiché come dicevano Freeman e Perez (1988) una volta che ha preso piede e ha mostrato le sue potenzialità il cambiamento apportato dal nuovo paradigma è irreversibile, ma anche controproducente perché distoglie l'attenzione dai veri problemi. Sia Acemoglu e Restrepo (2016, 2020) sia Autor (2015) hanno riscontrato degli effetti positivi sull'occupazione da parte delle tecnologie abilitanti dell'I4.0: gli aumenti di produttività, riduzione dei costi e dei prezzi, la maggiore domanda di lavoratori *high-skilled*, la complementarità delle nuove tecnologie con alcune tipologie di mansioni che rendono il lavoro più efficiente e meno ripetitivo, la crescita dei salari per le

---

<sup>39</sup> <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/>



professioni *high-skilled* che porta ad una maggiore domanda di lavoratori manuali ecc. Tutti questi effetti positivi, che compensano la perdita dei posti di lavoro automatizzati, possono essere compromessi o addirittura annullati dalle difficoltà relative alla ricollocazione dei lavoratori sostituiti, dalla formazione degli studenti che non risponde alle competenze richieste dal mercato del lavoro, dagli incentivi statali che favoriscono l'adozione di nuove tecnologie e l'automazione a cui però non si affiancano piani di salvaguardia o incentivi per assumere nuovi lavoratori. Questi fenomeni possono rendere il periodo di transizione che stiamo affrontando lungo e sofferto per milioni di individui, causando disoccupazione tecnologica, stagnazione dei salari, riduzione della produttività e aumento della povertà, come è successo in Inghilterra durante la rivoluzione industriale. Come abbiamo visto in precedenza, il *mismatching* tra competenze richieste dal mercato e quelle insegnate agli studenti provoca perdite o mancati guadagni per miliardi di dollari l'anno. Lo Stato assieme al sistema scolastico dovrebbe prendere in esame la questione per ridefinire i programmi di insegnamento e attuare politiche che incentivino la formazione e l'aggiornamento direttamente sul posto di lavoro. Le innovazioni degli ultimi anni si presentano ad un ritmo sempre più incalzante e le conoscenze dei lavoratori devono essere costantemente al passo, al fine di non perdere occupati o per diminuire il tempo di ricollocazione. L'adeguata formazione del capitale umano rappresenterà un'opportunità che genererà benessere diffuso se opportunamente governata poiché, come abbiamo visto, sono i lavoratori più qualificati quelli che beneficiano maggiormente delle innovazioni tecnologiche e il premio per lo studio andrà aumentando negli anni a venire. Le macchine da sole non possono fare nulla (probabilmente questa affermazione potrebbe essere contestata in futuro) e spesso non rimpiazzano professioni, ma soltanto compiti e tasks. Sono gli uomini che inventano le macchine e le programmano, le costruiscono e affidano loro compiti e sono sempre gli uomini a cui ci si deve rivolgere per impedire che i cambiamenti derivanti dall'introduzione delle nuove tecnologie vadano a beneficio della società e non a danno della stessa.

Nei prossimi anni andremo sicuramente incontro a fenomeni di portata globale che metteranno in crisi la società come la conosciamo. Alcuni di questi sembrano inevitabili: fenomeni atmosferici estremi dovuti al riscaldamento globale, invecchiamento della popolazione, desertificazione, sovrappopolazione ecc. Altri dipendono per la maggior parte da come i vari governi nazionali e le persone li affronteranno e sono relativi alle disuguaglianze sociali: differenze abissali delle condizioni di vita tra paesi ricchi e paesi poveri, ma anche tra i cittadini all'interno di una stessa nazione. Secondo i dati forniti da Credit Suisse<sup>40</sup>, nel 2020 l'1% delle famiglie statunitensi deteneva il 31,7% della ricchezza familiare del paese e in Italia la quota di ricchezza in possesso dell'1% più ricco

---

<sup>40</sup> <https://www.creditnews.it/distribuita-ricchezza-mondo/>

superava quanto detenuto dal 70% più povero, sotto il profilo patrimoniale. Per alcuni di questi problemi le AI e i nuovi dispositivi tecnologici possono essere d'aiuto solo in parte: riducendo lo spreco di risorse e di energia ed ottimizzando quelle già utilizzate, aiutando i lavoratori nelle loro mansioni per essere più produttivi e supportando i leader mondiali a prendere decisioni attraverso le analisi di scenari possibili, trasmettendo informazioni e stoccando dati in quantità sempre maggiori. Al contrario, le tematiche sociali possono essere affrontate solo attraverso un'azione congiunta di diversi stati e solo se una larga parte dell'opinione pubblica mondiale è conscia del problema, si interessa e mette pressione sui governanti affinché provvedano a risolvere la situazione e distribuire le risorse in maniera più equa.

Il problema della distribuzione della ricchezza è presente da quando esiste l'uomo: i padroni e gli schiavi, i latifondisti e i braccianti, i re e i sudditi, i proprietari delle fabbriche e gli operai. Grazie all'analisi svolta da Autor (2015), non sembra esserci una diretta correlazione tra automazione del lavoro e polarizzazione dei salari. Tuttavia, le nuove tecnologie stanno apportando un cambiamento sostanziale del mercato del lavoro e ciò ha un impatto diretto su come la ricchezza viene prodotta e, successivamente, distribuita. Negli ultimi anni, nonostante l'aumento esponenziale delle merci prodotte e del PIL globale, la ricchezza si è concentrata sempre di più in un gruppo ristretto di individui: secondo Oxfam nel 2020 2.153 miliardari detenevano più ricchezza di 4,6 miliardi di persone, circa il 60% della popolazione globale<sup>41</sup>; e la pandemia ha acuito ancora più queste differenze. A ciò si aggiunge il fatto che le condizioni lavorative e la retribuzione per il lavoro svolto non è più in mano ai legislatori, ma ai grandi player internazionali. Il problema della precarietà del lavoro è stato affrontato da Casilli (2020), il quale ha preso come archetipo il modello di business delle piattaforme che sfruttano i dati e le informazioni per ricavarne un profitto. I dati infatti sono la materia prima, l'input principale di un nuovo tipo di lavoro, chiamato appunto "*digital labor*". Questa tipologia di lavoro non concerne tanto lo sfruttamento dei dati per ricavarne un profitto come fanno i social network, Google, le piattaforme di streaming ecc. bensì riguarda la produzione di questi dati. Secondo Casilli (2020) i produttori di dati possono essere divisi in tre principali categorie: i lavoratori *on demand*, i micro-lavoratori e gli utenti. Nella prima categoria rientrano tutte quelle mansioni svolte per la maggior parte a livello locale, in contesti urbani, relativi ai servizi alla persona, al trasporto, alla logistica e alla manutenzione. Tipici esempi di ciò sono i rider dei servizi di *delivery* (Deliveroo, JustEat, Glovo), i conducenti di Uber o gli *host* di AirBnB. Peculiarità di questa categoria di lavoratori è il fatto che essi percepiscono un compenso solo per la parte ostensiva del loro lavoro, ossia quella visibile, mentre non vengono retribuiti per la parte non-ostensiva, vale a dire il tempo speso

---

<sup>41</sup> <https://www.oxfamitalia.org/davos-2020/>

sull'applicazione o sul software quando producono grandi quantità di dati. La seconda categoria di lavoratori, la cd. del micro-lavoro, sono quelli che svolgono compiti di *back-office* estremamente semplici e parcellizzati, che durano soltanto qualche minuto e per i quali vengono retribuiti a cottimo con compensi del tutto irrisori. Le micro-task possono consistere in riconoscimento di foto, analisi del testo, filtraggio di contenuti o commenti. Queste vengono utilizzate dalle grandi piattaforme per la produzione di dati a basso costo per il *machine learning* al fine di insegnare alle AI e agli algoritmi come svolgere le proprie funzioni. Per svolgere questi compiti i micro-lavoratori vengono pagati anche 0,01\$ a task in Europa e Stati Uniti, ma in regioni meno sviluppate del Sud-Est asiatico le cifre scendono a 0,0001\$ per compito (Casilli 2020). Esempi di ciò sono i *Mechanical Turk* di Amazon. L'ultima categoria di lavoratori sono quelli che svolgono il "*free labor*" (lavoro gratuito), che molti ormai definiscono semplicemente "non pagato". Questo è il caso degli utenti dei social network che producono ogni giorno milioni di contenuti, senza i quali le piattaforme non potrebbero esistere e generare introiti grazie alla vendita di spazi pubblicitari. Alcune realtà, come Twitch, YouTube e TikTok, prevedono una qualche forma di remunerazione per i produttori di contenuti, anche se non è prevista per tutti e rappresenta un'entrata costante ed adeguata solo per pochi. Le piattaforme sono i principali utilizzatori dei dati prodotti e sono caratterizzate dalla combinazione di costi marginali di accesso e di riproduzione prossimi allo zero e, inoltre, beneficiano di economie di scala ed effetti di rete. I numeri generati dalle piattaforme, i social in particolare, rientrano nella scala di miliardi di dollari: la spesa per advertising nel 2021 è stata di 150 miliardi di dollari<sup>42</sup>.

Piattaforma	Utenti attivi al mese	Ricavi
Facebook	2500	70,7
Instagram	1000	20
Pinterest	335	1,03
Twitter	330	1,01
Snapchat	360	1,72
YouTube	2000	151,1
LinkedIn	675	6,8

43

Non considerando il *digital labor* come lavoro dipendente, le aziende possono modificare i contratti, le retribuzioni e i diritti riconosciuti alle controparti. Dosi e Virgillito (2019) riportano il caso di un'intervista ad un rider di Ubereats che racconta come l'app possa cambiare la retribuzione percepita e anche le modalità per conseguirla senza alcuna implicazione legale: all'inizio l'app pagava 20 £ all'ora, poi è passata a 3,30 £ a consegna più 1 £ ogni miglio, a cui viene sottratto un 25% di "tassa

<sup>42</sup> <https://wearesocial.com/it/blog/2022/01/digital-2022-i-dati-globali/>

<sup>43</sup> Elaborazione personale dei dati degli utenti attivi ogni mese nel 2019 per piattaforma (dati in milioni) e ricavi (dati in miliardi di dollari) sulla base dei dati forniti da <https://www.news.srl/statistiche-social-network-2020/>

di servizio di Uber”, più un premio di viaggio di 5 £. Successivamente la ricompensa per il viaggio è stata ridotta a 4 £ per i pranzi infrasettimanali e le cene del weekend, e a 3 £ per le cene infrasettimanali e i pranzi del fine settimana.

Queste piattaforme, che fatturano miliardi, sono le stesse che hanno dato vita alla *gig-economy* nella quale sono gli algoritmi a governare il lavoro, rimuovendo ogni sorta di gerarchia e trasferendo il rischio imprenditoriale dalle imprese ai lavoratori, la cui retribuzione (bassa) può variare anche da un giorno all’altro senza preavviso. Quindi, questo nuovo modello di business che si sta affermando, definito *taylorismo digitale* (Tubaro e Casilli 2020), fa leva sul lavoro *on demand*, come quello dei rider per Uber, sul micro-lavoro, relativo ai fenomeni di *machine learning*, oppure sul lavoro gratuito, come quello degli utenti a favore delle piattaforme di social network. La ricchezza generata dal diffondersi delle tecnologie digitali, delle AI e dei robot sembra concentrarsi nelle aziende *high-tech* e nei proprietari delle piattaforme (che ad oggi sono le aziende con più alta capitalizzazione di mercato), piuttosto che essere diffusa tra coloro che permettono a queste realtà di esistere e funzionare. Dosi e Virgillito (2019) hanno preso in esame il problema dell’iniquità nella distribuzione della ricchezza dell’epoca moderna e propongono delle politiche volte a risolvere la disparità abissale che si è creata tra chi detiene la proprietà delle informazioni (piattaforme e *corporation*) e i lavoratori comuni. Esse sono:

- Equilibrio relativo delle aliquote fiscali concentrate più sulle rendite e sulla ricchezza che sui profitti e, in secondo luogo, più sui profitti che sui salari.
- Adottare politiche che contrastino l’evasione fiscale o pratiche affini volte ad eludere il pagamento delle imposte.
- Cambiare gli oggetti della tassazione sperimentando nuove forme di imposizione fiscale come ad esempio la robot tax, la bit tax e la web tax.
- Una maggiore presenza dello Stato nell’economia nel ruolo di consumatore, produttore e innovatore.
- Sviluppare programmi politici di incentivi volti a dare una direzione chiara allo sviluppo di nuove tecnologie che migliorino la vita dell’uomo e non lo sostituiscano.

In questo senso è richiesta al legislatore una forte presa di coscienza e di posizione sui temi del nuovo millennio. L’immobilismo politico ha fatto sì che fossero le aziende a plasmare il mercato e a dettare le regole dello stesso. La sfera pubblica non può più limitarsi a regolare l’iniziativa economica privata, ma deve fare anche in modo di indirizzarla verso la creazione di un benessere diffuso e non la mera persecuzione del profitto.

## Bibliografia

- Abernathy, W.J. & Clark, K.B. 1985, "Innovation: Mapping the winds of creative destruction", *Research policy*, vol. 14, no. 1, pp. 3-22.
- Acemoglu, D. & Restrepo, P., 2016. "The Race between Machine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment." *American Economic Review* 108 (6): 1488– 542.
- Acemoglu, D. & Restrepo, P., 2018a. "Excessive Automation: Technology Adoption and Worker Displacement in a Frictional World." Unpublished manuscript
- Acemoglu, D. & Restrepo, P., 2018b. "Low- Skill and High- Skill Automation." *Journal of Human Capital* 12 (2): 204– 32.
- Acemoglu, D. & Restrepo, P., 2020. Robots and jobs: Evidence from US Labor Markets. *Journal of Political Economy*, 128(6), pp.2188–2244.
- Acemoglu, D. 2002, "Technical Change, Inequality, and the Labor Market", *Journal of economic literature*, vol. 40, no. 1, pp. 7-72.
- Acemoglu, D., Autor, D., 2011. Skills, tasks and technologies: implications for employment and earnings. In: *Handbook of Labor Economics*, 4. Elsevier, pp. 1043–1171.
- Agrawal, A., Gans, J. & Goldfarb, A., 2019. *The Economics of Artificial Intelligence: An agenda*, Chicago: The University of Chicago Press, pp.197-236
- Alan L. O. and Rhode P. W., 2001. "Reshaping the Landscape: The Impact and Diff usion of the Tractor in American Agriculture, 1910– 1960." *Journal of Economic History* 61 (3): 663– 98.
- Allen, C., 2009. "Engels' Pause: Technical Change, Capital Accumulation, and Inequality in the British Industrial Revolution." *Explorations in Economic History* 46 (4): 418– 35.
- Appelbaum, E., Schettkat, R., 1995. *Employment and productivity in industrialized economies*. *International Labour Review*, 134, 605-623.
- Arentze, TA 1999, '*A spatial decision support system for the planning of retail and service facilities*', Doctor of Philosophy, Built Environment, Eindhoven.
- Arrow, K.J. 1962, "The Economic Implications of Learning by Doing", *The Review of economic studies*, vol. 29, no. 3, pp. 155-173.
- Arthur B. 1988, *Competing Technologies: an overview*, in (Eds.) G. Dosi et al., *Technical Change and Economic Theory*, London: Pinter.

- Atasoy, H., 2013. Effects of broadband internet expansion on labor market outcomes. *Ind. Labor. Relat. Rev.* 66 (2), 315–345.
- Autor, D., 2015. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *J. Econ. Perspect.* 29 (3), 3–30.
- Autor, D., Dorn, D., 2009. The skill content of jobs and the evolution of the wage structure—this job is “getting old”: measuring changes in job opportunities using occupational age structure. *Am. Econ. Rev.* 99 (2), 45–51.
- Autor, D., Dorn, D., 2013. The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *American Economic Review* 103(5): 1553–159
- Autor, D., Dorn, D., and Hanson. G., 2013. “The China Syndrome: Local Labor Market Effects of Import Competition in the United States.” *American Economic Review* 103 (6): 2121– 68.
- Autor, D., Levy, F., Murnane, R.J., 2003. The skill content of recent technological change: an empirical exploration. *TheQ. J. Econ.* 118 (4), 1279–1333.
- Barro, R.J. & Grossman, H.I. 1971, "A General Disequilibrium Model of Income and Employment", *The American economic review*, vol. 61, no. 1, pp. 82-93.
- Bessen, J., 2015. “Toil and Technology.” *Finance and Development*, 52(1).
- Biagi, F., Falk, M., 2017. The impact of ICT and e-commerce on employment in Europe. *J. Policy Model.* 39 (1), 1–18.
- Casilli, A. 2020, *Preparare, verificare, imitare: perché il lavoro umano è necessario alla produzione di intelligenze artificiali. L'enigma del valore. Il digital labor e la rivoluzione tecnologica*, Effimera, pp.25-41.
- Casilli, A.A. 2020, "Preparare, verificare, imitare: perché il lavoro umano è necessario alla produzione di intelligenze artificiali" in *L'enigma del valore. Il digital labor e la rivoluzione tecnologica* (Atti del convegno organizzato da Effimera, 1° giugno 2019, Milano, Casa della Cultura) Effimera, pp. 25-41.
- Cetrulo A., Nuvolari A. (2019), *Industry 4.0: Revolution or Hype? Reassessing Recent Technological Trends and their Impact on Labour*, “*Journal of Industrial and Business Economics*”, 46, 3, pp. 391-402.
- Christensen C.M., Lundvall, B.-A. (eds) (2004), *Product innovation, interactive learning and economic performance*, Elsevier, Amsterdam.
- Cirillo, V. et al., 2021. Digitalization, routineness and employment: An exploration on Italian task-based data. *Research Policy*, 50(7), p.104079.

- David P. A. 1985, *Clio and the economics of QWERTY*, American Economic Review, vol. 76, no. 2, pp. 332-337.
- De Simone, E. & Simone, E.d. 2014, *Storia economica: dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Quinta aggiornata. edn, FrancoAngeli, Milano.
- Di Taranto, G., Taranto, G.d. & Di Taranto, G. 2013, *La globalizzazione diacronica*, G. Giappichelli, Torino.
- Dixit A. Stiglitz J. 1977. *Monopolistic competition and optimal product diversity*. American Economic Review, June pp297-308
- Dobb M., *Problemi di storia del capitalismo*, Editori Riuniti, Roma, 1972.
- Dosi G., Freeman C., Nelson R., Silverberg G. and Sonm L. 1988, (Eds.) *Technical Change and Economic Theory*, London: Pinter.
- DOSI, G. & VIRGILLITO, M.E., 2019. Whither the evolution of the contemporary social fabric? New Technologies and Old Socio-Economic trends. *International Labour Review*, 158(4), pp.593–625.
- Dosi, G., 1982. *Technological paradigms and technological trajectories*, Research Policy, 11, 147-163.
- Erik, B. and McAfee, A., 2014. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W. W. Norton & Company.
- Evangelista, R., Guerrieri, P., Meliciani, V., 2014. The economic impact of digital technologies in Europe. *Econ. Innov. New Technol.* 23 (8), 802–824.
- Fagerberg, J. 1991, "Technology and regulation in a classical model of economic growth", *European Journal of Political Economy*, vol. 7, no. 3, pp. 299-312.
- Ford, M., 2016. *The Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future*. New York: Basic Books
- Freeman, C., Clark, J., Soete, L., 1982. *Unemployment and Technical Innovation*. London: Pinter.
- Freeman, C., Soete, L. (eds), 1987. *Technical Change and Full Employment*. Oxford: Basil Blackwell.
- Goos, M., Alan, M., and Salomons, A., 2014. "Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring." *American Economic Review* 104(8): 2509–26.
- Goos, M., Manning, A., Salomons, A., 2009. Job polarisation in Europe. *Am. Econ. Rev.* 99 (2), 58–63.
- Guerrieri, P., Bentivegna, S. (Eds.), 2012. *The Economic Impact of Digital Technologies*. Edward Elgar, Cheltenham, UK.

- Hall, R.E. 1988, "The Relation between Price and Marginal Cost in U.S. Industry", *The Journal of political economy*, vol. 96, no. 5, pp. 921-947.
- Hall, R.E. 1989, *Invariance properties of Solow's productivity residual*, Cambridge, MA.
- Henderson, R.M. & Clark, K.B. 1990, "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms", *Administrative science quarterly*, vol. 35, no. 1, pp. 9-30.
- Hicks, J.R. 1969, *A Theory of Economic History*, Oxford University Press.
- Hicks, J.R. 1973, *Capital and Time: A Neo-Austrian Theory*, Oxford University Press, Incorporated, Oxford.
- Hollander, S.G. 1965, *The sources of increased efficiency: a study of DuPont rayon plants*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- Kaldor, N. 1957, "'A model of economic growth", "Economic Journal", vol. LXVII, no 268, diciembre de 1957", *Boletín mensual (Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos)*, vol. 4, no. 5, pp. 102.
- Kaldor, N. 1981, "The role of increasing returns, technical progress and cumulative causation in the theory of international trade and economic growth Le rôle des revenus croissants, du progrès technique et des effets cumulatifs dans la théorie du commerce international et de la croissance économique", *Economie Appliquée: Archives de l'ISMEA*, vol. 34, no. 4, pp. 593-617.
- Katz, L. F., and Margo R. A., 2014. "Technical Change and the Relative Demand for Skilled Labor: The United States in Historical Perspective." In *Human Capital in History*, edited by Leah Platt Bouston, Carola Frydman, and Robert A. Margo, 15–57. University of Chicago Press.
- Keirstead, B.S. 1948, *The theory of economic change*, Toronto, Macmillan.
- Keynes, J.M., 1973. *The General Theory of Employment, Interest and Money, in The Collected Writings of John Maynard Keynes*. London: Macmillan, first edn 1936.
- Kolko, J., 2012. Broadband and local growth. *J. Urban Econ.* 71 (1), 100–113.
- Krugman, P.R. 1979, "Increasing returns, monopolistic competition, and international trade", *Journal of international economics*, vol. 9, no. 4, pp. 469-479.
- Lasi, H. et al., 2014. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), pp.239–242.
- Lucas, R.E. 1988, "On the mechanics of economic development", *Journal of monetary economics*, vol. 22, no. 1, pp. 3-42.
- Manyika J. et al., 2011. Big Data: The next frontier for innovation, competition and productivity. McKinsey Global Institute.
- Marshall, A., 1961. *Principles of Economics*. Cambridge: Macmillan, first edn 1890.



- Martinelli A., Mina A., Moggi M. (2019), *The Enabling Technologies of Industry 4.0: Examining the Seeds of the Fourth Industrial Revolution*, Laboratory of Economics and Management
- Marx, K., 1818-1883 1894, *Il capitale*, Remo Sandron, 1894, Italy.
- Marx, K., 1961. *Capital*. Moscow: Foreign Languages Publishing House, first edn 1867.
- Marx, K., 1969. *Theories of Surplus Value*. London: Lawrence & Wishart, first edn. 1905-10.
- Mazzolari, F., and Ragusa, G., 2013. "Spillovers from High-Skill Consumption to Low-Skill Labor Markets." *Review of Economics and Statistics* 95(1): 74–86
- Neary, J.P. 1981, "On the short-run effects of technological progress", *Oxford economic papers*, vol. 33, no. 2, pp. 224-233.
- Nelson, R.R. & Winter, S.G. 1974, "Neoclassical vs. Evolutionary Theories of Economic Growth: Critique and Prospectus", *The Economic journal (London)*, vol. 84, no. 336, pp. 886-905.
- Nelson, R.R. & Winter, S.G. 1982, *An evolutionary theory of economic change*, Belknap Press of Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. [u.a.].
- OECD, *Employment Outlook*, vari anni.
- Perez C. 1983, *Structural change and the assimilation of new technologies in the economic and social system*, *Futures*, vol. 15, no. 5, pp. 357-37.
- Perez C. 1985, *Micro-electronics, Long Waves and World Structural Change*, *World Development*, vol. 13, no. 3, pp. 441-463.
- Perez C. and Soete L. 1988, "Catching up in Technology ", in (Eds.) G. Dosi et al., *Technical Change and Economic Theory*, London: Pinter
- Petit, P. & Boyer, R. 1981, "Progrès technique, croissance et emploi: Un modèle d'inspiration kaldorienne pour six industries européennes", *Revue économique*, vol. 32, no. 6, pp. 1113-1153.
- Petit, P., 1995. *Employment and technological change*. In P. Stoneman (ed), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*. Amsterdam: North Holland, 366-408
- Philbeck, T. & Davis, N. 2018, "THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION: SHAPING A NEW ERA", *Journal of international affairs (New York)*, vol. 72, no. 1, pp. 17.
- Pianta, M., 2000. *The employment impact of product and process innovations*. In M. Vivarelli and M. Pianta (eds), *The Employment Impact of Innovation: Evidence and Policy*. London: Routledge, 77-95.
- Pianta, M., 2005. *Innovation and employment*. In J. Fagerberg, D. Mowery and R.R. Nelson (eds), *Handbook of Innovation*. Oxford: Oxford University Press, 568-598.
- Pierre-yves, H. 1991, *Développements de la théorie des cycles réels*.

- Piva, M. and Vivarelli, M. 2017, *Technological Change and Employment: Is Europe Ready for the Challenge?*, Eurasian Business Review, 2018, 8, 13-32
- Rasmussen, W. D. 1982. "The Mechanization of Agriculture." *Scientific American* 247 (3): 76– 89.
- Ricardo, D., 1772-1823 1821, *On the principles of political economy, and taxation*, J. Murray.
- Ricardo, D., 1951. *Principles of Political Economy*. In P. Sraffa (ed), *The Works and Correspondence of David Ricardo*. Cambridge: Cambridge University Press, vol. 1, third edn 1821.
- Rogers, E.M. 1978, "[Besprechung von:] Stoneman, Paul: Technological diffusion and the computer revolution. The UK experience. New York 1976", *Technology and culture*, vol. 19, no. 1, pp. 140-142.
- Romer, P. 1990, "Endogenous Technological Change", *The Journal of political economy*, vol. 98, no. 5, pp. S71-S102.
- Say, J.B., 1964. *A Treatise on Political Economy or the Production, Distribution and Consumption of Wealth*. New York: M. Kelley, first edn 1803.
- Schumpeter, J. A. 2012, *Business cycles. A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*, voll. 2, McGraw Hill, New York-London, 1939.
- Schumpeter, J. A. 2012, *Capitalism, Socialism, and Democracy*, Start Publishing LLC.
- Schumpeter, J. A. et al. 2017, *The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. 1st ed. London, [England];: Routledge.
- Schwab, K. & Davis, N., 2018. *Shaping the fourth industrial revolution*, World Economic Forum.
- Schwab, K., 2016. *The Fourth Industrial Revolution*, Currency.
- Scognamiglio, C., Pasini, C.S., Scognamiglio Pasini, C., Martoccia, M., Paniccia, I. & Formica, G. 2016, *Economia industriale: economia dei mercati imperfetti*, [Terza rivista e aggiornata: settembre 2016]. edn, LUISS University Press, Roma.
- Scott, M. 1992, "Policy Implications of 'A New View of Economic Growth'", *The Economic journal (London)*, vol. 102, no. 412, pp. 622-632.
- Scott, M.F. 1991, *A new view of economic growth: four lectures*, World Bank, Washington, D.C.
- Sinclair, P.J.N. 1981, "When will technical progress destroy jobs?", *Oxford economic papers*, vol. 33, no. 1, pp. 1-18.
- Smil, V. 2017, *Energy and civilization: A history*,
- Sneessens, H.R. 1987, "Investment and the inflation - unemployment tradeoff in a macroeconomic rationing model with monopolistic competition".
- Sneessens, H.R. 1990, "Structural problems and quantity constraints in macroeconomic models", *Structural change and economic dynamics*, vol. 1, no. 1, pp. 27-40.

- Solow R. 1956. *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. Quarterly Journal of Economics, 70, February, pp65-94
- Solow R. 1957. *Technical Change and the Aggregate Production Function*. Review of Economics and Statistics, 39, August, 312-320
- Sylos Labini, P., 1969. *Oligopoly and Technical Progress*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press, first edn 1956.
- Teece, D.J. 2008, "Dosi's technological paradigms and trajectories: insights for economics and management", *Industrial and corporate change*, vol. 17, no. 3, pp. 507-512.
- *The employment effect of technical change: a theoretical study of new technology and the labour market / Y.S. Katsoulacos*, 1986, Wheatsheaf Books, Brighton, Sussex, England.
- Townsend, J. 1976, *Innovations in coal-mining machinery: the Anderton Shearer-Loader and the role of the NCB and supply industry in its development*, SPRU Occasional Paper No.3.
- Tubaro, P., Casilli, A.A. & Coville, M. 2020, "The trainer, the verifier, the imitator: Three ways in which human platform workers support artificial intelligence", *Big data & society*, vol. 7, no. 1, pp. 205395172091977.
- Van der Meer, A. & Van Winden, W. 2003, "E-governance in Cities: A Comparison of Urban Information and Communication Technology Policies", *Regional studies*, vol. 37, no. 4, pp. 407-419.
- Van Roy, V., V'erteszy, D., Vivarelli, M., 2018. Technology and employment: Mass unemployment or job creation? Empirical evidence from European patenting firms. *Res. Policy* 47 (9), 1762–1776.
- Vivarelli, M. 1995, *The economics of technology and employment: theory and empirical evidence*.
- Vivarelli, M. 2012, *Innovation, employment and skills in advanced and developing countries: A survey of the literature*, Bonn: Institute for the Study of Labor (IZA).
- Whitley J.D. Wilson R.A. 1987, *Estimation of employment effects of IT in the UK. within a macro-economic model*, in Kimball SD. Stoneman P. eds *Information Technology and Economic Perspectives*, ICCP 12, OECD, Paris
- Whitley, J.D. & Wilson, R.A. 1982, "*Quantifying the employment effects of micro-electronics*", *Futures: the journal of policy, planning and futures studies*, vol. 14, no. 6, pp. 486-495.

## Sitografia

- <http://euroinnovazione.eu/un-piano-per-la-digitalizzazione-dellindustria-europea/>
- [https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities\\_en](https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en)
- <https://wearesocial.com/it/blog/2022/01/digital-2022-i-dati-globali/>
- <https://wearesocial.com/it/blog/2022/01/digital-2022-i-dati-globali/>
- <https://web.archive.org/web/20100516214758/http://www.pism.uniroma3.it/9-introduzione-alla-information-communication-technology-ict/>
- <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/veicoli-autonomi-fra-privacy-ed-etica-vantaggi-e-svantaggi-della-nuova-mobilita/>
- <https://www.bcg.com/it-it/capabilities/manufacturing/industry-4.0>
- <https://www.bcg.com/it-it/publications/2020/alleviating-the-heavy-toll-of-the-global-skills-mismatch#close-modal>
- <https://www.creditnews.it/distribuita-ricchezza-mondo/>
- <https://www.digital4.biz/supply-chain/industria-40-politecnico-milano-sei-tecnologie-abilitanti/>
- <https://www.digital4.biz/supply-chain/industria-40-politecnico-milano-sei-tecnologie-abilitanti/>
- <https://www.economyup.it/automotive/smart-road-nel-tratto-milane-se-della-4-primi-test-per-lauto-connessa/>
- <https://www.economyup.it/innovazione/sharing-economy-cosa-e-e-perche-e-difficile-dire-cosa-e/>
- <https://www.industria40.it/>
- <https://www.news.srl/statistiche-social-network-2020/>
- <https://www.oxfamitalia.org/davos-2020/>
- <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abj6987>
- [https://www.treccani.it/enciclopedia/ict\\_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/#:~:text=%E2%80%93%20Sigla%20dell'ingl.,il%20software%20e%20i%20servizi%20connessi.](https://www.treccani.it/enciclopedia/ict_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/#:~:text=%E2%80%93%20Sigla%20dell'ingl.,il%20software%20e%20i%20servizi%20connessi.)
- <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/>
- <https://www.zerounoweb.it/analytics/cognitive-computing/cosa-intelligenza-artificiale/>