

**POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**“Intelligenza Artificiale: analisi dei possibili effetti  
sulla crescita economica e sociale”**



Relatore  
Prof. Carlo Cambini

Candidato  
Emanuela Gaj

Aprile 2019

## Sommario

1	Introduzione.....	4
2	Intelligenza Artificiale: origine e definizioni .....	5
2.1	Storia dell'Intelligenza Artificiale.....	5
2.2	Intelligenza Artificiale: definizioni .....	10
2.3	Intelligenza Artificiale debole e forte.....	12
2.4	Machine Learning e Deep Learning .....	13
2.5	Intelligenza Artificiale: funzionamento.....	16
2.6	Intelligenza Artificiale e Agenda Digitale.....	17
2.7	Esempi di Intelligenza Artificiale, ambiti applicativi in Italia e nel mondo.....	17
3	Lavoro e Intelligenza Artificiale .....	20
3.1	Implicazioni dell'Intelligenza Artificiale sulla crescita economica .....	20
3.2	Il modello di Zeira sull'automazione e la crescita.....	22
3.3	Automazione e malattia dei costi di Baumol.....	23
3.3.1	Caso 1: crescita bilanciata con andamento asintotico .....	24
3.3.2	Caso 2: crescita con fattori a quote costanti .....	26
3.3.3	Caso 3: crescita con regimi alternati di automazione .....	28
3.4	L'Intelligenza Artificiale nella funzione di produzione delle idee.....	29
3.4.1	Automazione continua.....	30
3.5	Singolarità tecnologica .....	30
3.5.1	Esempi di singolarità tecnologica.....	32
3.5.2	Obiezioni sulle singolarità.....	33
3.5.3	Ulteriori osservazioni .....	35
4	L'Intelligenza Artificiale, le imprese e la crescita economica .....	37
4.1	Intelligenza Artificiale e potenziali effetti sul grado di competizione nei diversi settori.....	37
4.2	Intelligenza Artificiale ed esternalità tecnologiche .....	38
4.3	Intelligenza Artificiale, R&D, organizzazione dei ruoli e coordinamento .....	39
4.4	Andamento della quota di capitale e impiego dell'automazione nei diversi settori .....	43
5	Intelligenza Artificiale, occupazione e redistribuzione del reddito .....	47
5.1	Relazione tra progresso tecnologico e benessere sociale .....	48
5.1.1	Condizioni di mercato perfetto ex-ante .....	49
5.1.2	Mercato perfetto ex-post e nessun costo di redistribuzione .....	50
5.1.3	Mercato perfetto ex-post con redistribuzione onerosa .....	52
5.1.4	Mercato imperfetto .....	53
5.2	Progresso tecnologico endogeno e globalizzazione .....	54

5.3	Progresso tecnologico e canali di ineguaglianza .....	55
5.3.1	Il surplus di guadagno degli innovatori .....	55
5.4	Politiche per ripartire il surplus degli innovatori.....	56
5.5	Esternalità legate all'innovazione.....	56
5.5.1	Esternalità pecuniarie statiche e dinamiche nel processo di sostituzione del lavoratori	58
5.5.2	Redistribuzione del surplus degli innovatori attraverso il cambiamento nelle istituzioni	60
5.5.3	Fattori a favore del cambiamento tecnologico e il ruolo del settore dei servizi .....	60
5.6	Disoccupazione tecnologica .....	61
5.6.1	Teoria dei salari efficienti e del mancato adeguamento degli stessi.....	61
5.6.2	Disoccupazione tecnologica come fenomeno di transizione .....	62
5.7	Il significato del lavoro.....	63
5.8	Prospettive di lungo termine: ipotesi sull'Intelligenza Artificiale.....	63
6	Intelligenza Artificiale e timori sull'occupazione .....	67
6.1	Ricerche di mercato: segnali positivi .....	67
6.2	Intelligenza Artificiale e coscienza: i robot.....	71
6.3	I rischi dell'Intelligenza Artificiale .....	71
6.4	Intelligenza Artificiale decentralizzata: una possibile risposta ai problemi etici .....	72
7	Big Data, Intelligenza Artificiale e possibili conseguenze sulla democrazia.....	74
8	Privacy, algoritmi e Intelligenza Artificiale .....	82
9	Conclusioni.....	85
10	Riferimenti bibliografici.....	90

# 1 Introduzione

L'‘Intelligenza Artificiale’ (o ‘Artificial Intelligence’) viene definita come un insieme di studi e tecniche, proprie dell'informatica ma con significative implicazioni filosofiche e sociali, che ha come scopo la realizzazione di programmi e sistemi tecnologici in grado di risolvere problemi e svolgere compiti normalmente riconducibili alla mente ed alle capacità umane; stante i recenti progressi, è possibile identificare l'Intelligenza Artificiale (nel seguito ‘I.A.’) come la disciplina che si occupa di realizzare macchine (hardware e software) in grado di operare autonomamente.

La crescente attenzione creatasi su questa disciplina è motivata dai risultati conseguibili grazie alla maturità tecnologica raggiunta, sia nel calcolo computazionale (oggi esistono sistemi hardware molto potenti, di ridotte dimensioni e con bassi consumi energetici), sia nella capacità di analisi in real-time ed in tempi brevi di enormi quantità di dati in qualsiasi forma (‘Big Data Analytics’).

L'I.A. trova largo impiego nella vita quotidiana della maggior parte degli individui: i vari strumenti di riconoscimento vocale che vengono regolarmente utilizzati (dagli smartphone ai sistemi di sicurezza) si basano su algoritmi tipici dell'I.A., in particolare quelli relativi all'apprendimento automatico. Un significativo utilizzo di questa tecnologia si riscontra anche nel settore automobilistico: veicoli in grado di muoversi nel traffico anche senza pilota o sistemi di cambio di velocità in auto a guida semi-autonoma. Molti progetti di I.A. sono utilizzati soprattutto nell'ambito della programmazione di giochi, dagli scacchi al backgammon (fornendo un importante contributo allo sviluppo degli algoritmi di apprendimento). Altri settori in cui l'I.A. viene utilizzata in maniera regolare sono il mercato azionario, la medicina (uso delle reti neurali nelle analisi del battito cardiaco, nelle diagnosi di alcune forme tumorali e nella realizzazione di robot di accompagnamento) e la robotica; i sistemi intelligenti sono utilizzati anche per migliorare ulteriormente molti settori dell'informatica stessa.

Le potenzialità e le prospettive di impiego dell'I.A. sono in continua evoluzione: gli aspetti principalmente analizzati nel presente elaborato si riferiscono all'ambito del lavoro, alle possibili implicazioni sulla produzione e sulla crescita economica ed alle conseguenze sull'occupazione e distribuzione del reddito, con riferimento alle correlate problematiche riscontrabili sotto il profilo etico e sociale.

## 2 Intelligenza Artificiale: origine e definizioni

### 2.1 Storia dell'Intelligenza Artificiale

A partire dagli anni '40 del secolo scorso si assiste alla diffusione del termine “cibernetica”, inteso come lo studio sistematico dei processi riguardanti la comunicazione e il controllo negli esseri viventi e nelle macchine; l'idea di base consiste nello studio dei meccanismi di autoregolazione e comando presenti sia negli organismi naturali che in quelli ‘artificiali’ dotati di capacità di retroazione, ovvero in grado di rispondere in modo adattativo alle sollecitazioni dell'ambiente modificando il proprio comportamento.

Fra i primi risultati della comunità scientifica in questo ambito si annovera il progetto condotto dai ricercatori Warren McCulloch e Walter Pitt del 1943, i quali proposero un modello di rete neurale ispirato al funzionamento del cervello umano; il modello in esame, costituito da neuroni interconnessi attraverso sinapsi, era in grado di implementare tutti i blocchi della logica booleana (Figura 1).

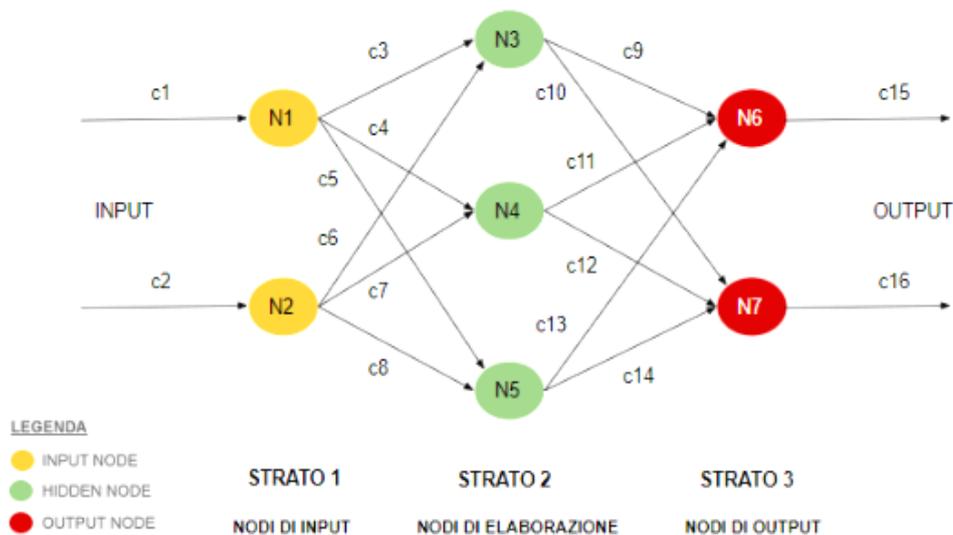


Figura 1 - Esempio di rete neurale semplice

Nel 1949 lo psicologo canadese Donald Olding Hebb propose uno studio combinato di dati provenienti dalla fisiologia del sistema nervoso e dall'analisi sul comportamento umano, grazie al quale vennero analizzati nel dettaglio i collegamenti tra i neuroni artificiali ed i modelli complessi del cervello umano, dimostrando che una modifica delle forze di connessione fra i neuroni poteva dar luogo a processi di apprendimento.

Nel 1951 il matematico e scienziato statunitense Marvin Lee Minsky realizzò il primo computer basato su reti neurali, denominato “SNARC” (“*Stochastic Neural Analog*

*Reinforcement Computer*”), in grado di simulare una rete di 40 neuroni. I primi prototipi funzionanti di reti neurali, ovvero modelli matematici/informatici sviluppati per riprodurre il funzionamento dei neuroni biologici al fine di risolvere problemi di I.A. (intesa come la capacità di una macchina di compiere funzioni e fare ragionamenti come una mente umana), sopraggiunsero verso la fine degli anni '50.

Il concetto di ‘macchina ideale’ si riscontra già nel 1936 grazie all’ideazione, da parte del matematico e crittografo inglese Alan Mathison Turing, della cosiddetta ‘macchina di Turing’, ovvero un modello astratto di macchina in grado di eseguire algoritmi e dotata di un nastro potenzialmente infinito su cui poter leggere e scrivere simboli; il modello in esame rappresenta uno strumento teorico ampiamente utilizzato nella teoria della calcolabilità e nello studio della complessità degli algoritmi per comprendere i limiti del calcolo meccanico. Un altro significativo contributo, riconducibile al medesimo studioso, è il cosiddetto ‘Test di Turing’, criterio proposto nel 1950 nell’articolo “*Computing machinery and intelligence*” per determinare se una macchina possa essere in grado di pensare.

Tale teoria prende spunto da un gioco, l’‘Imitation Game’, a tre partecipanti: un uomo A, una donna B e una terza persona C. Quest’ultima è tenuta separata dagli altri due e, tramite una serie di domande, deve stabilire chi è l’uomo e chi la donna. Dal canto loro anche A e B hanno dei compiti: A deve ingannare C e portarlo a fare un’identificazione errata, mentre B deve aiutarlo. Il test di Turing si basa sul presupposto che una macchina si sostituisca ad A (le risposte ai quesiti vengono dattiloscritte). Se la percentuale di volte in cui C indovina chi sia l’uomo e chi la donna è simile prima e dopo la sostituzione di A con la macchina, allora la macchina stessa dovrebbe essere considerata intelligente (ovvero in grado di pensare e capace di concatenare idee ed esprimerle) in quanto, in questa situazione, indistinguibile da un essere umano (Figura 2).

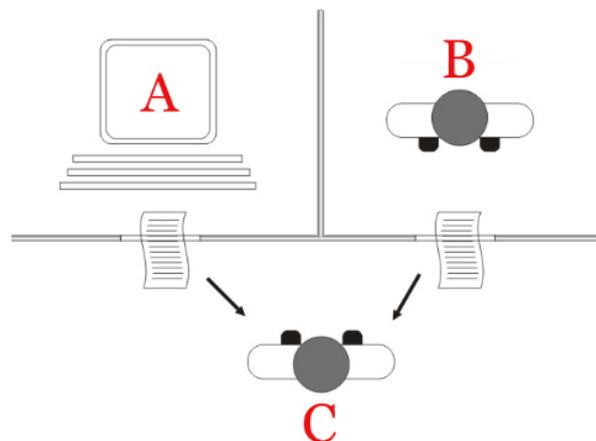


Figura 2 – Esempio di 'Test di Turing'

L’evento ufficiale che segna la nascita dell’I.A. è il “*Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*”, svoltosi nel 1956 presso il Dartmouth College, al quale parteciparono nomi noti nell’area dello studio dei sistemi intelligenti quali il matematico John McCarthy del Dartmouth College (inventore del termine “Intelligenza Artificiale”), lo scienziato Marvin Lee Minsky della Harvard University, l’informatico Nathaniel Rochester di IBM Corporation,

l'ingegnere Claude Elwood Shannon dei Bell Telephone Laboratories, con l'obiettivo di definire la disciplina dell'I.A. e sviluppare alcuni progetti di ricerca per simulare l'intelligenza umana e con esso il lancio dei primi linguaggi di programmazione (Lisp nel 1958 e Prolog nel 1973) specifici per l'I.A..

Negli anni successivi l'attenzione si concentra sul computer, variandone la percezione da elaboratore aritmetico a macchina di alto livello capace di risolvere problemi ed elaborare simboli; nel contempo, la ricerca mira allo sviluppo di programmi generali per la soluzione di problemi e giochi dove, a livello architetturale, è prevista una netta separazione fra la formalizzazione dei problemi (base di conoscenza) e le tecniche (euristiche) di risoluzione (motore di inferenza o controllo).

Nel 1958 lo psicologo americano Frank Rosenblatt propone il 'perceptrone', un dispositivo elettronico dotato di uno strato in ingresso ed uno in uscita e di una regola di apprendimento basata sulla minimizzazione dell'errore, la cosiddetta funzione di 'error back-propagation' (retro propagazione dell'errore) che, in base alla valutazione sull'uscita effettiva della rete rispetto ad un dato ingresso, altera i pesi delle connessioni (sinapsi) come differenza tra l'uscita effettiva e quella desiderata; negli anni seguenti, alcuni studiosi ne dimostrarono i limiti (la capacità di riconoscere, dopo un opportuno addestramento, soltanto funzioni linearmente separabili: una rete a più livelli di 'perceptroni' avrebbe potuto risolvere problemi più complessi, ma la crescente complessità computazionale dell'addestramento rese lo sviluppo troppo oneroso per l'epoca).

Nel seguito emergono i primi tentativi di sviluppare un dialogo uomo-macchina in grado di imitare il dialogo uomo-uomo: uno dei più noti è il chatbot "Eliza", software progettato dall'informatico tedesco Joseph Weizenbaum nel 1966 e finalizzato a simulare una conversazione con un essere umano. Il chatbot, che impersona una psicoterapeuta, rivela ben presto tutti i limiti e le incoerenze di un approccio puramente sintattico: le domande e le risposte sono formulate seguendo schemi predefiniti e utilizzando manipolazioni sintattiche basate sulle affermazioni del paziente stesso.

Ancora oggi esistono varie sfide e competizioni per cercare di 'superare' il test di Turing, anche solo parzialmente; numerosi assistenti digitali a controllo vocale sono entrati a far parte dell'esperienza comune, e hanno raggiunto buoni livelli nell'interazione e nel dialogo (Siri di Apple, CleverBot, Cortana di Microsoft, Echo e Alexa di Amazon, Home di Google etc.).

Nel corso degli anni, inoltre, sono stati proposti altri test volti ad enfatizzare anche altre capacità ritenute essenziali quali, ad esempio, le senso-motorie, creative, emotive e il ragionamento di buon senso: fra i principali, i test basati sugli schemi di "Winograd", che richiedono all'agente intelligente non solo una mera capacità di analisi sintattica, ma anche spiccate capacità di interpretazione e di ragionamento di buon senso comune.

Nei decenni successivi, la disciplina dell'I.A. affronta risultati entusiasmanti e grosse delusioni; gli strumenti computazionali a disposizione dei primi programmatori di I.A. risultano poveri se confrontati con quelli odierni, ma alcuni programmi assumono comportamenti interessanti nella risoluzione di problemi; emerge, in modo chiaro, che gli obiettivi dell'I.A., nella loro generalità, sono difficili se non impossibili da raggiungere a breve termine a causa delle elevatissime capacità di calcolo richieste e della difficoltà di

trattare i problemi e la conoscenza non solo a livello di forma (visione sintattica) ma anche di sostanza e contenuto (visione semantica).

Negli anni '70 compaiono i primi 'Sistemi Esperti': sistemi di I.A. progettati per risolvere un particolare compito emulando un essere umano, esperto del settore in un dominio limitato e specializzato, offrendo spesso anche spiegazioni sul meccanismo di ragionamento impiegato. I meccanismi di ragionamento adottati per risolvere il problema sfruttano la base di conoscenza derivata dalla conoscenza dell'esperto di dominio e sono realizzati mediante un motore di inferenza che implementa opportuni algoritmi di ragionamento (Figura 3).

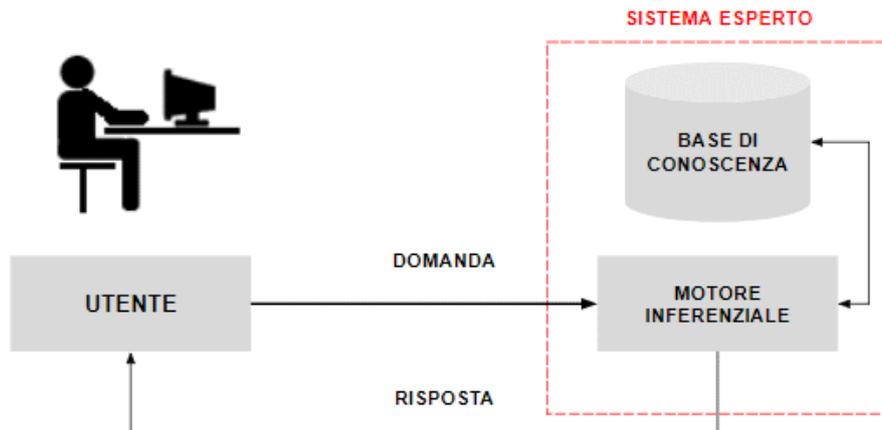


Figura 3 - Esempio di sistema esperto

I primi successi dei Sistemi Esperti si raggiungono negli anni '80 con l'applicazione in vari campi quali la diagnosi, la progettazione, il monitoraggio, l'interpretazione di dati e la pianificazione: negli stessi anni, l'interesse per l'I.A. si indirizza verso l'ambito industriale. Negli Stati Uniti, in Europa e in Giappone, cospicui fondi per la ricerca vengono impiegati per finanziare progetti di I.A.; anche le reti neurali sono oggetto di rinnovato interesse in ambito applicativo.

In seguito si giunge alla consapevolezza che i Sistemi Esperti presentano evidenti limiti di generalità nel risolvere problemi e colli di bottiglia nella loro realizzazione, questi ultimi soprattutto derivanti dalla difficoltà di costruire ed aggiornare manualmente le basi di conoscenza.

Negli anni '90 si assiste alla nascita del World Wide Web (WWW) e all'ingresso sul mercato dei processori grafici, le 'Graphics Processing Unit' (o 'GPU', chip di elaborazione dati molto più veloci delle 'CPU' ('Central Processing Unit'), provenienti dal mondo del gaming ed in grado di supportare processi complessi molto più rapidamente, per altro operando a frequenze più basse e consumando meno energia rispetto alle vecchie CPU), con conseguente ampia e rapida diffusione di Internet, consentendo l'accesso a grandi quantità di informazioni e conoscenze, e aprendo nuove prospettive per l'I.A. attraverso uno sviluppo di algoritmi e di applicazioni facilitato dalla disponibilità di enormi quantità di dati non strutturati e da una sempre maggiore disponibilità di potenza di calcolo a basso costo.

Nell'ultimo decennio si è inoltre assistito allo sviluppo dei cosiddetti 'chip neuromorfici', ossia microchip che integrano l'elaborazione dati e lo storage in un unico micro componente (grazie ai progressi della ricerca nel campo delle nanotecnologie) per emulare le funzioni sensoriali e cognitive del cervello umano.

Sistemi e algoritmi di apprendimento sono diventati sempre più efficaci ed efficienti, con un grande perfezionamento di tecniche legate ad architetture neurali (anche a più strati) con apprendimento incrementale e non necessariamente supervisionato; l'apprendimento automatico è stato applicato con successo, ad esempio, nella classificazione e nell'elaborazione di documenti, nella comprensione del linguaggio naturale, nella bioinformatica e nell'elaborazione delle immagini. Sono stati sviluppati metodi sempre più efficaci per il riconoscimento del parlato e la classificazione delle immagini, applicati con successo alla robotica e alla visione artificiale; molti algoritmi di ricerca su web, traduttori, riconoscitori vocali, classificatori di immagini e foto che usiamo quotidianamente traggono vantaggio da queste tecniche in continua evoluzione.

I quattro principali trend dell'I.A. risultano ad oggi:

- l'interesse nello sfruttare la grande quantità di dati offerta dal web;
- il rinnovato interesse per l'intelligenza nella sua interezza;
- la nuova opportunità di contribuire alla comprensione della connessione tra mente e cervello;
- il consolidamento della dimensione dell'intelligenza, della pianificazione e dell'azione sociale.

L'I.A. è in grado di assistere le nuove tecnologie, in rapida evoluzione, sia per quanto riguarda la progettazione degli strumenti più adatti, sia in termini di apporto metodologico (ad esempio, sensori sofisticati che richiedono lo sviluppo di sistemi avanzati in grado di processare, in modo intelligente e in tempo reale, le informazioni che essi producono, per comprendere automaticamente le situazioni di interesse e pianificare azioni in contesti dinamici).

L'utilizzo di tecniche di I.A. consente un'ampia gamma di applicazioni quali sistemi integrati per la sorveglianza, il monitoraggio e la diagnosi, sistemi di teleassistenza e di pianificazione dei trasporti logistici, veicoli a guida autonoma etc.; la disponibilità di strumenti tecnologici per la domotica apre la possibilità di applicazioni nelle problematiche relative all'invecchiamento della popolazione.

Un altro campo applicativo molto interessante è il cosiddetto 'Internet del futuro', caratterizzato come una rete aperta composta da entità auto-organizzate e intelligenti, quali software (agenti, servizi web, softbot, avatar), hardware (oggetti, sensori, robot) o esseri umani.

Le tematiche suindicate rivestono un ruolo centrale nell'ambito del Programma Quadro per la Ricerca e l'Innovazione della Commissione Europea, "Horizon 2020", e nell'ambito del Programma "Industria 4.0"; l'I.A. rappresenta una disciplina consolidata, fondamentale per lo sviluppo di applicazioni anche in ambito sociale quali sistemi che supportino le attività urbane, la mobilità, le comunicazioni, i consumi energetici, i servizi, il clima, la sicurezza e la salute.

## 2.2 Intelligenza Artificiale: definizioni

Secondo un'accezione strettamente informatica, l'I.A. potrebbe essere classificata come la disciplina che racchiude le teorie e le tecniche pratiche per lo sviluppo di algoritmi che consentano alle macchine (in particolare i 'calcolatori') di mostrare attività intelligente, per lo più in specifici domini e ambiti applicativi.

Tale definizione richiede una classificazione formale delle funzioni sintetiche/astratte di ragionamento, meta-ragionamento e apprendimento dell'uomo; in relazione a questa osservazione emerge la tematica del 'Cognitive Computing', intesa come l'insieme delle piattaforme tecnologiche basate sulle discipline scientifiche dell'I.A. (tra cui il 'Machine Learning' e 'Deep Learning') e il 'Signal Processing' (ovvero la capacità di elaborare i segnali).

Una seconda definizione, strettamente legata al citato 'Test di Turing', descrive l'I.A. come «... l'impresa di costruire sistemi di simboli fisici che possono passare in maniera affidabile il Test di Turing» (M. L. Ginsberg)

L'"Enciclopedia Britannica" definisce l'I.A. come segue:

*«Artificial Intelligence (AI) is the ability of a digital computer or computer-controlled robot to perform tasks commonly associated with intelligent beings. The term is frequently applied to the project of developing systems endowed with the intellectual processes characteristic of humans, such as the ability to reason, discover meaning, generalize, or learn from past experience».*

Nel seguito quanto indicato per la voce in esame nell'"Enciclopedia della Scienza e della Tecnica" Treccani:

*«L'Intelligenza Artificiale studia i fondamenti teorici, le metodologie e le tecniche che consentono di progettare sistemi hardware e sistemi di programmi software atti a fornire all'elaboratore elettronico prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana».*

Altre definizioni di I.A. tendono a non legare necessariamente l'intelligenza (artificiale) agli umani e sottolineano maggiormente l'interazione con il mondo esterno e le capacità di adattarsi ad esso; in accordo con questa visione anche gli animali, i vegetali, gli oggetti e le macchine possono essere definiti 'intelligenti' se in grado di interagire in modo utile con l'ambiente che li circonda. Tali definizioni si attengono alla cosiddetta 'Intelligenza Artificiale Debole', legata a macchine che assumono comportamenti intelligente, in contrapposizione con l'"Intelligenza Artificiale Forte", riferita a macchine in grado di pensare autonomamente, ovvero dotate di 'mente' ed 'autocoscienza' proprie.

Le definizioni di I.A. sono altresì classificabili mediante due categorizzazioni: quelle legate a processi di ragionamento riconducibili ad attività peculiari dell'uomo e quelle che ne descrivono il comportamento, distinguendo fra un'impostazione 'funzionale' e un'impostazione 'strutturale'. L'impostazione funzionale, detta anche 'comportamentista', concepisce l'intelligenza in modo indipendente dalla struttura fisica dell'elaboratore che implementa il sistema intelligente, mirando unicamente all'emulazione (anche in modo selettivo). Al contrario, secondo l'impostazione 'strutturale', detta anche 'costruttivista' o

‘connessionista’, l’intelligenza si ottiene simulando il cervello umano e riproducendone la stessa struttura e caratteristiche (architetture connessioniste e reti neurali).

Dal punto di vista operativo, è possibile identificare due differenti approcci all’I.A.: uno ‘top down’ e uno ‘bottom up’. L’approccio top-down è sostanzialmente indipendente dal livello sottostante (quale esso sia, computer o cervello) e adotta tipicamente un approccio simbolico: gli stati mentali vengono identificati con rappresentazioni di tipo simbolico all’interno di un sistema simbolico-fisico. L’approccio bottom-up o connessionista, invece, parte dalle architetture, ovvero da reti di neuroni artificiali che simulano i neuroni cerebrali, per costruire strutture e modalità di ragionamento più complesse. Gli approcci simbolici concepiscono il ragionamento in modo formale, come il risultato di una manipolazione di simboli, mentre negli approcci neurali o connessionisti il ragionamento si determina in modo implicito, quale risultato dell’interconnessione ed elaborazione distribuita di molte e semplici unità computazionali. Ne segue che gli approcci simbolici sono più trasparenti e di più facile interpretabilità da parte degli individui, mentre gli approcci connessionisti gestiscono con più facilità realtà mutabili, incerte, non complete e dinamiche a discapito della trasparenza. I recenti sviluppi e i grandi risultati raggiunti negli ultimi tempi dagli approcci di tipo bottom-up relativi alle reti neurali mostrano sempre più l’efficacia di tali metodologie, soprattutto per quello che riguarda l’ambito percettivo.

Verso la fine degli anni 80 è iniziata un’ampia discussione che ha portato, da parte di alcuni ricercatori, ad una critica sull’eccessiva preponderanza della parte intellettuale e razionale tipica dell’uomo nella concezione dell’I.A., a favore dell’importanza degli aspetti percettivi e ambientali, per una corretta interpretazione dei sistemi intelligenti.

Questa visione porta ad identificare l’I.A. con la definizione e realizzazione di agenti autonomi e, in particolare, di agenti intelligenti: tali agenti sono situati in un ambiente, ricevono da esso percezioni (mediante sensori) e agiscono sull’ambiente mediante azioni (attuatori). Gli agenti possono essere puramente reattivi, ma anche razionali e deliberativi, capaci di porsi autonomamente obiettivi da realizzare, avere credenze e intenzioni, e comunicare con altri agenti in base alle esigenze dell’ambiente e dell’applicazione per cui sono costruiti.

Il comportamento intelligente degli agenti non necessariamente richiede un approccio simbolico e di tipo deliberativo; in alcuni casi può anche essere di tipo reattivo ed emergere sotto forma di ‘pattern’, in modo non prevedibile, dall’interazione di comportamenti funzionalmente semplici, senza la necessità di un coordinamento globale o centralizzato. L’osservazione della natura costituisce una sorgente di ispirazione e mostra la realizzazione di comportamenti intelligenti in un’ottica collettiva: a titolo di esempio, la coordinazione che si instaura tra insetti sociali che vivono in colonie e che sono in grado, lavorando assieme, di costruire sorprendenti opere di alta ingegneria senza una visione globale a priori. Altro esempio affascinante è quello del formarsi di sciami di api o di uccelli configurati in modo perfetto grazie al coordinamento di comportamenti collettivi (“Swarm Intelligence”).

Un altro esempio di ‘swarm intelligence’ è costituito dagli algoritmi a ‘formiche artificiali’, cioè algoritmi sviluppati a partire da un modello semplificato del comportamento delle formiche, che riescono a trovare il percorso più breve tra il formicaio e un punto in cui vi sia del cibo senza utilizzare informazioni visive, ma solo segnali odorosi. Lo studio

(interdisciplinare) di questi fenomeni ha permesso di sviluppare sistemi intelligenti basati su modelli e processi naturali robusti ed adattativi, ed utilizzati per risolvere problemi di ricerca, pianificazione ottimizzazione, analisi di dati e coordinamento di robot. Nel prossimo futuro, generici oggetti 'smart' (come smartphone, automobili, droni) nell'ambito dell'Internet of Things (IoT) potrebbero essere gli agenti elementari da cui partire per la composizione di sciami coordinati per raggiungere obiettivi globali. Possibili obiettivi per la moderna società potrebbero essere l'ottenimento di comportamenti virtuosi e ottimizzati nel traffico, nel consumo energetico e nell'ambiente. Sempre partendo dall'osservazione della natura e, in particolare, dalla selezione della specie per adattarsi all'ambiente, sono stati definiti gli 'algoritmi genetici' (e la computazione evolutiva in generale), che traggono ispirazione dalla teoria dell'evoluzione naturale, sviluppati da John Holland a partire dagli anni '70. In questi algoritmi, la ricerca di una soluzione è basata sull'individuazione di una particolare generazione 'vincente'. In modo semplificato, partendo da una configurazione iniziale, ed evolvendo sulla base di leggi naturali, è possibile creare una nuova generazione (che potrebbe essere interpretata come soluzione). La 'funzione di fitness', in grado di valutare le caratteristiche di una generazione o soluzione, assicura la selezione delle soluzioni migliori nell'ambito della riproduzione; la mutazione assicura l'introduzione di elementi di novità in modo casuale all'interno delle generazioni, mentre la riproduzione garantisce la combinazione di buone soluzioni in una nuova. Il sistema evolve di generazione in generazione fino ad arrivare ad una generazione (ovvero soluzione) considerata soddisfacente. Molte sono le applicazioni della 'computazione evolutiva', ad esempio nella robotica, nella progettazione, nell'ottimizzazione, nell'analisi di dati e nella previsione.

Il termine Intelligenza Artificiale viene quindi sostituito dal termine 'Intelligenza Aumentata', per enfatizzare maggiormente la capacità dei sistemi di I.A. di collaborare e interagire con gli umani, non con lo scopo di sostituirli, bensì di aiutarli nelle loro decisioni e accrescere la loro esperienza e capacità nella soluzione di problemi.

L'I.A. può essere vista sotto molte interpretazioni diverse; poiché riserva infinite sfaccettature, sia dal punto di vista teorico-fondazionale che dal punto di vista realizzativo, appare evidente che a tutt'oggi ogni tentativo di classificazione o definizione univoca risulti semplicistico.

### *2.3 Intelligenza Artificiale debole e forte*

Prendendo come base di partenza il funzionamento del cervello umano, un'I.A. è in grado di compierne alcune funzioni:

- agire umanamente (cioè in modo indistinto rispetto ad un essere umano);
- pensare umanamente (risolvendo un problema con funzioni cognitive);
- pensare razionalmente (sfruttando cioè la logica, come fa un essere umano);
- agire razionalmente (avviando un processo per ottenere il miglior risultato atteso in base alle informazioni a disposizione).

Queste considerazioni permettono di classificare l'I.A. in due principali tipologie, debole e forte.

Intelligenza Artificiale debole: essa identifica sistemi tecnologici in grado di simulare alcune funzionalità cognitive dell'uomo senza però raggiungere le reali capacità intellettuali tipiche di quest'ultimo (programmi matematici di problem-solving attraverso i quali si sviluppano funzionalità per la risoluzione dei problemi o per consentire alle macchine di prendere decisioni);

Intelligenza Artificiale forte: in questo caso si parla di 'sistemi sapienti', ovvero in grado di sviluppare una propria intelligenza senza emulare processi di pensiero o capacità cognitive simili all'uomo.

## 2.4 Machine Learning e Deep Learning

La distinzione tra Intelligenza Artificiale debole e forte costituisce la base per la definizione di 'Machine Learning' e 'Deep Learning', due ambiti di studio che rientrano nella più ampia disciplina dell'I.A..

Ciò che caratterizza l'I.A. da un punto di vista tecnologico e metodologico è il metodo di apprendimento con cui l'intelligenza diventa abile in un compito o azione. Questi modelli di apprendimento caratterizzano e contraddistinguono il Machine Learning dal Deep Learning.

Il seguente diagramma illustra le differenze tra Intelligenza Artificiale, Machine Learning e Deep Learning (Figura 4).

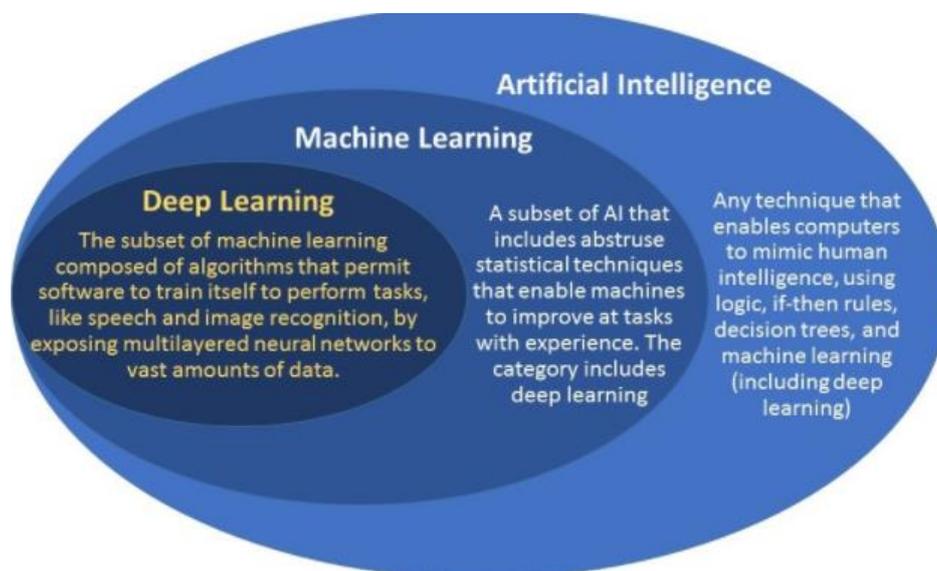
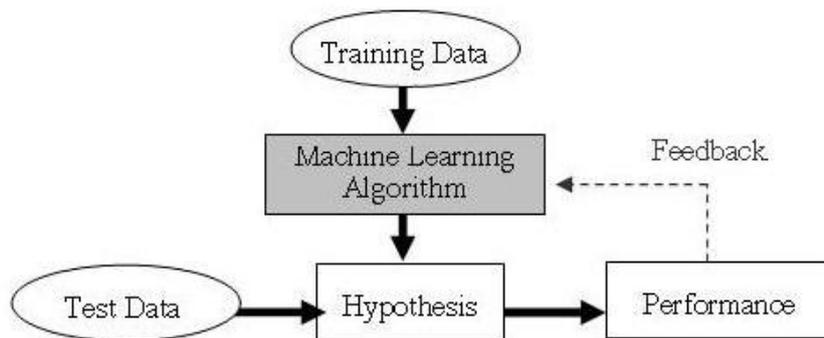


Figura 4 - Relazione tra Intelligenza Artificiale, Machine Learning e Deep Learning

### Machine Learning

Il 'Machine Learning' (o 'Apprendimento Automatico') è una forma di statistica applicata, mirata ad utilizzare i computer per stimare statisticamente una funzione complessa. Si tratta di un insieme di tecniche (quali la statistica computazionale, il riconoscimento di pattern, le reti

neurali artificiali, il filtraggio adattivo, la teoria dei sistemi dinamici, l'elaborazione delle immagini, il data mining, gli algoritmi adattivi, etc.) che permettono alle macchine di 'imparare' dai dati e, in seguito, prendere decisioni o fare una predizione su di essi (Figura 5). Un sistema di Machine Learning può essere applicato ad una base di conoscenza proveniente da sorgenti multiple per risolvere diversi compiti: classificazione facciale, riconoscimento del parlato, riconoscimento di oggetti, etc.. A differenza degli algoritmi euristici, ossia quegli algoritmi che seguono un insieme specifico di istruzioni per risolvere un dato problema, il Machine Learning abilita un computer ad apprendere come riconoscere 'configurazioni percettive' da solo e fare predizioni su di esse.



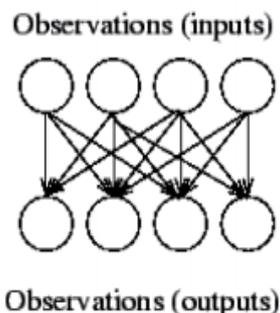
**Figura 5 - Schema di funzionamento del Machine Learning**

Il Machine Learning può essere adattato a tre differenti tipi di compiti:

- Classificazione
- Clustering
- Predizione

Ciò che caratterizza il Machine Learning è il modello di apprendimento; sulla base di questi modelli è possibile fare una classificazione degli algoritmi:

- con supervisione didattica (Figura 6): apprendimento mediante esempi di input e di output per permettere all'A.I. di comprendere come comportarsi (le 'etichette' sono create dall'addestratore per rendere la macchina capace di scoprire relazioni tra input ed etichette);



**Figura 6 - Machine Learning con supervisione**

- senza supervisione didattica (Figura 7): apprendimento mediante analisi dei risultati; in questo caso, il software capisce come agire e il modello di apprendimento si adatta sulla base di output che permettono di mappare i risultati di determinate azioni e compiti che i software saranno chiamati a svolgere (le etichette non sono disponibili; in questa situazione si richiede alla macchina di trovare dei gruppi o cluster all'interno dei dati);

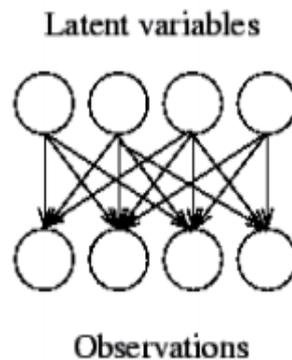


Figura 7 - Machine Learning senza supervisione

- reinforcement learning (apprendimento 'meritocratico': l'I.A. viene premiata quando raggiunge gli obiettivi, i risultati, esegue un'azione, etc.. In questo modo è in grado di riconoscere le azioni corrette da quelle errate).

## Deep Learning

Il 'Deep Learning' (o 'Apprendimento Profondo') è rappresentato da modelli di apprendimento ispirati alla struttura ed al funzionamento del cervello biologico e, quindi, della mente umana. Se il Machine Learning può essere definito come il metodo che 'allena' l'I.A., il Deep Learning è quello che permette di emulare la mente umana.

Il Deep Learning costituisce una sotto-area del Machine Learning che fa uso di 'Reti Neurali Profonde' ('Deep Neural Network'), ossia dotate di molti strati e di nuovi algoritmi per il pre-processamento dei dati per la regolarizzazione del modello. Il Deep Learning trae ispirazione dalle Neuroscienze (le reti neurali sono un modello dell'attività neuronale del cervello); a differenza del cervello biologico, dove qualsiasi neurone può connettersi a qualsiasi altro neurone sotto alcuni vincoli fisici, le 'Reti Neurali Artificiali' ('Artificial Neural Networks-ANN') hanno un numero finito di strati e connessioni e una direzione prestabilita della propagazione dell'informazione.

Per molti anni le ANN sono state ignorate sia dalla comunità della ricerca che dall'industria a causa del loro costo computazionale; tra il 2006 e il 2012, il gruppo di ricerca guidato da Geoffrey Hinton dell'Università di Toronto è stato in grado di parallelizzare gli algoritmi per le ANN su architetture parallele. Il principale risultato è stato un notevole incremento del numero di strati, neuroni e parametri del modello in generale (anche oltre i 10 milioni di parametri) permettendo alle macchine di computare una quantità massiccia di dati addestrandosi su di essi.

Il primo requisito per l'addestramento di un modello di Deep Learning è avere a disposizione training set molto grandi; questo rende il Deep Learning estremamente adatto ad affrontare l'era dei 'Big Data'.

Le ragioni sottostanti la popolarità del Deep Learning, infatti, sono legate all'avvento dei Big Data e delle GPU; facendo riferimento ad una quantità massiccia di dati la rete 'apprende', attraverso l'algoritmo di addestramento, come raggiungere obiettivi (un algoritmo di Deep Learning potrebbe essere, ad esempio, un classificatore in grado di apprendere e riconoscere un dato animale: tale algoritmo dovrebbe pertanto essere sottoposto ad un massiccio quantitativo di dati sulle immagini di tale animale per comprenderne le caratteristiche che lo identificano e distinguono da altri simili).

Il Deep Learning è molto sensibile ai cosiddetti 'bias': in un modello supervisionato, se le etichette sono create erroneamente, il modello apprenderà dai dati errati (in fase di avvio, il sistema di riconoscimento facciale di Google etichettò alcune facce di individui africani come gorilla).

## **Deep Learning e applicazioni industriali**

Il Deep Learning ha influenzato notevolmente le applicazioni industriali: esso è in grado di trattare un'enorme quantità di dati e riconoscerne alcune caratteristiche discriminative. Le ricerche basate su testo, l'individuazione di frodi o spam, il riconoscimento delle scritte, la ricerca delle immagini, il riconoscimento del parlato, i sistemi di 'NLP' ('Natural Language Processing'), i 'Recommendation System', la 'Street View Change Detection' e la traduzione di lingue, sono solo alcuni dei compiti che il Deep Learning è in grado di affrontare; in Google, le Reti Deep hanno già rimpiazzato decine di 'sistemi a regole'.

Oggi il Deep Learning per la Computer Vision mostra di possedere capacità già superiori a quelle umane, che variano dal riconoscimento di figure comuni all'individuazione di noduli cancerosi in immagini tomografiche polmonari.

### *2.5 Intelligenza Artificiale: funzionamento*

Dal punto di vista delle abilità intellettuali, il funzionamento di un'I.A. si sostanzia principalmente attraverso quattro differenti livelli funzionali:

- *comprensione*: attraverso la simulazione di capacità cognitive di correlazione dati ed eventi, l'I.A. è in grado di riconoscere testi, immagini, tabelle, video, voce ed estrapolarne informazioni;
- *ragionamento*: mediante la logica, i sistemi riescono a collegare le molteplici informazioni raccolte (attraverso precisi algoritmi matematici e in modo automatizzato);
- *apprendimento*: in questo caso si parla di sistemi con funzionalità specifiche per l'analisi degli input di dati e per la loro corretta restituzione in output (è il classico esempio dei sistemi di Machine Learning che con tecniche di apprendimento automatico portano le I.A. ad imparare e a svolgere varie funzioni);

- *interazione (Human Machine Interaction)*: in questo caso ci si riferisce alle modalità di funzionamento dell’I.A. in relazione alla sua interazione con l’uomo. In questo campo hanno raggiunto un notevole avanzamento i sistemi di Natural Language Processing, tecnologie che consentono all’uomo di interagire con le macchine (e viceversa) sfruttando il linguaggio naturale.

## 2.6 *Intelligenza Artificiale e Agenda Digitale*

L’I.A. è da tempo discussa nell’ambito dell’“AgID” (“Agenzia per l’Italia Digitale”) ed è uno dei temi ampiamente dibattuti e studiati per comprendere come la diffusione di nuovi strumenti e tecnologie di I.A. possa incidere nella costruzione di un nuovo rapporto tra Stato e cittadini e analizzare le conseguenti implicazioni sociali relative alla creazione di ulteriori possibilità di semplificazione, informazione e interazione.

Proprio seguendo questo filone è stata creata in Italia una Task Force, all’interno dell’AgID, i cui componenti hanno il compito di:

- studiare e analizzare le principali applicazioni relative alla creazione di nuovi servizi al cittadino, definendo le strategie di gestione delle opportunità per la Pubblica Amministrazione;
- mappare, a livello italiano, i principali centri – universitari e non – che operano nel settore dell’I.A. con riferimento all’applicazione operativa nei servizi al cittadino;
- mappare il lavoro già avviato da alcune amministrazioni centrali e locali, proponendo azioni da intraprendere per l’elaborazione di policy strategiche;
- evidenziare e studiare le implicazioni sociali legate all’introduzione delle tecnologie di I.A. nei servizi pubblici.

## 2.7 *Esempi di Intelligenza Artificiale, ambiti applicativi in Italia e nel mondo*

Recenti ricerche evidenziano che grandi società multinazionali, quali Facebook, Google, Amazon, Apple e Microsoft, stanno concorrendo non solo per portare al proprio interno startup innovative nel campo dell’I.A., ma anche per avviare ed alimentare progetti di ricerca già in essere (come il riconoscimento delle immagini, dei volti, le applicazioni vocali, le traduzioni linguistiche, etc.).

Nel mondo del business la maturità (e la disponibilità) delle soluzioni tecnologiche ha portato le potenzialità dell’I.A. in molti segmenti; di seguito alcuni dei più significativi:

### A) Marketing e Intelligenza Artificiale

Diffusione di assistenti vocali/virtuali (chatbot, Siri di Apple, Cortana di Microsoft, Alexa di Amazon) che sfruttano l’I.A. sia per il riconoscimento del linguaggio naturale sia per l’apprendimento e l’analisi delle abitudini e dei comportamenti degli utenti; analisi in real-time di grandi moli di dati per la comprensione del ‘sentiment’ e delle

esigenze delle persone, per migliorare customer care, user experience, servizi di assistenza e supporto, ma anche per creare e perfezionare sofisticati meccanismi di ingaggio con attività che si spingono fino alla previsione dei comportamenti di acquisto, da cui derivare strategie di comunicazione e proposta di nuovi servizi. L'applicazione dell'I.A. nel Marketing raggiunge notevoli risultati: l'area di impiego maggiore è quella della gestione della relazione con gli utenti. Si è recentemente diffusa, infatti, una vera e propria disciplina, l' 'Artificial Intelligence Marketing', branca del Marketing, che sfrutta le più moderne tecnologie che rientrano nell'ambito dell'I.A., come il Machine Learning e il Natural Language Processing, integrate con tecniche matematiche e statistiche (come quelle delle reti bayesiane) e di Marketing comportamentale ('Behavioral Targeting'). Si tratta, in concreto, dell'utilizzo degli algoritmi di I.A. e Machine Learning con l'obiettivo di persuadere le persone a compiere un'azione, acquistare un prodotto o accedere ad un servizio; aggregazione e analisi dei dati (anche quelli destrutturati e basati su linguaggio naturale) in un processo continuo di apprendimento e miglioramento per identificare, di volta in volta, le azioni, le strategie e le tecniche di comunicazione e vendita più efficaci (quelle che hanno il potenziale più elevato di efficacia/successo per singoli target di utenti).

B) L'Intelligenza Artificiale applicata al mondo della Sanità e dell'HealthCare

L'I.A. ha avuto il pregio di migliorare molti sistemi tecnologici già in uso da persone con disabilità (per esempio, i sistemi vocali sono migliorati al punto da permettere una comunicazione del tutto naturale anche a chi non è in grado di parlare) ma è sul fronte della diagnosi e cura di tumori e malattie rare che si potranno vedere le potenzialità dell'I.A.. Attualmente sono disponibili sul mercato sistemi cognitivi in grado di attingere, analizzare e apprendere da un bacino infinito di dati (pubblicazioni scientifiche, ricerca, cartelle cliniche, dati sui farmaci, etc.), ad una velocità inimmaginabile per l'uomo, accelerando processi di diagnosi spesso molto critici per le malattie rare o suggerendo percorsi di cura ottimali in caso di tumori o malattie particolari. Non solo, gli assistenti virtuali basati su I.A. iniziano a vedersi con maggiore frequenza nelle sale operatorie, a supporto del personale di accoglienza o di chi offre servizi di primo soccorso.

C) Cybercrime e gestione dei rischi

La prevenzione delle frodi è una delle applicazioni più mature dove l'I.A. si concretizza con quelli che tecnicamente vengono chiamati "advanced analytics", analisi molto sofisticate in grado di correlare dati, eventi, comportamenti ed abitudini per capire in anticipo eventuali attività fraudolente (come la clonazione di una carta di credito o l'esecuzione di una transazione non autorizzata); questi sistemi possono in realtà trovare applicazione anche all'interno di altri contesti aziendali, per esempio per la mitigazione dei rischi, la protezione delle informazioni e dei dati, la lotta al cybercrime.

D) Artificial Intelligence e Supply Chain Management

L'ottimizzazione e la gestione della catena di approvvigionamento e di distribuzione richiede ormai analisi sofisticate e, in questo caso, l'I.A. rappresenta un sistema efficace per connettere e monitorare tutta la filiera e tutti gli attori coinvolti; un caso molto significativo di applicazione dell'I.A. al settore del Supply Chain Management è relativo alla gestione degli ordini (in questo caso le tecnologie che sfruttano l'I.A. non solo mirano alla semplificazione dei processi ma anche alla totale integrazione di essi, dagli acquisti fino all'inventario, dal magazzino alle vendite, fino ad arrivare addirittura all'integrazione con il Marketing per la gestione preventiva delle forniture in funzione delle attività promozionali o della campagne di comunicazione).

E) L'Intelligenza Artificiale a beneficio della Pubblica Sicurezza

La capacità di analizzare grandissime quantità di dati in tempo reale e di dedurre, attraverso correlazioni di eventi, abitudini, comportamenti, attitudini, sistemi e dati di geo-localizzazione e monitoraggio degli spostamenti di cose e persone, offre un potenziale enorme per il miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia della sicurezza pubblica, per esempio per la sicurezza e la prevenzione dei crimini in aeroporti, stazioni ferroviarie e città metropolitane oppure per la prevenzione e la gestione della crisi in casi di calamità naturali come terremoti e tsunami.

### 3 Lavoro e Intelligenza Artificiale

#### 3.1 Implicazioni dell'Intelligenza Artificiale sulla crescita economica

La sempre più ampia diffusione dell'I.A. porta a riflettere su questioni economiche fondamentali legate a quest'ultima, prima fra tutte su cosa accadrebbe se l'I.A. permettesse di automatizzare un crescente numero di attività precedentemente svolte attraverso l'impiego di lavoro umano.

L'I.A. potrebbe impattare nella produzione ordinaria di beni e servizi aumentando la crescita economica e i profitti; allo stesso tempo potrebbe cambiare il processo secondo cui vengono create nuove idee e tecnologie, aiutando gli innovatori nella risoluzione di problemi complessi e permettendo, in questo modo, di ridurre lo sforzo creativo.

Estremizzando, alcuni studiosi sostengono che l'I.A. sia in grado di innescare un processo di auto-miglioramento ricorsivo sino al raggiungimento di una "singolarità", ovvero una situazione in cui il progresso tecnologico risulti superiore alla capacità umana di comprendere e prevedere generando così una Super Intelligenza (Good (1965), Vinge (1993), Kurzweil (2005)).

Fra i principali interrogativi che emergono in relazione a come l'I.A. possa condizionare il processo di crescita economica vi sono:

- L'impatto dell'aumento del tasso di automazione nella produzione di beni e servizi generato dall'I.A. sulla crescita economica;
- La correlazione tra la diffusione dell'I.A. e la crescita costante osservata nei tassi e nelle quote di capitale nel corso del XX secolo, nonché aspettative future;
- La possibilità di applicare l'I.A. nella produzione di nuove idee;
- La capacità dell'I.A. di guidare un aumento massivo, o singolare, nei tassi di crescita e in quali condizioni;
- Il legame fra l'I.A., la crescita economica, la struttura di mercato, gli incentivi economici e l'organizzazione internazionale delle imprese.

L'I.A. può essere considerata come l'ultima fase di un lungo processo di automazione, in corso ormai da più di 200 anni; a partire dal 1760 con l'utilizzo della macchina filatrice "Jenny" e del motore a vapore, che hanno caratterizzato la prima rivoluzione industriale, cui segue nel 1870 l'introduzione dell'elettricità e l'avvento della seconda rivoluzione industriale, per arrivare poi al 1970, con l'introduzione massiva dell'elettronica, dell'informatica e delle telecomunicazioni nell'industria che hanno determinato la terza rivoluzione industriale e portato all'introduzione di Internet (1991).

L'automazione di fasi della produzione si è rivelato un aspetto chiave nella crescita economica; in questo senso, l'I.A. rappresenta una nuova forma di automazione, potenzialmente in grado di cancellare processi non raggiungibili dall'automazione stessa; il

progresso tecnologico ha poi supportato l'inserimento dell'I.A. non solo nelle attività di routine, ma anche in attività cognitive svolte da personale altamente qualificato.

In seconda analisi, le conseguenze della crescita dell'automazione e dell'I.A. potrebbero essere condizionate dalla cosiddetta "malattia dei costi" o "effetto" di Baumol (1967).

Secondo tale teoria (nota anche come "legge della crescita sbilanciata") la produttività risulterebbe assegnata a due diversi settori, quello manifatturiero e quello dei servizi: i settori in esame vengono definiti rispettivamente come 'progressivo' e 'stagnante', in relazione alla diversa opportunità fornita da ciascuno di incorporare il progresso tecnologico nella propria funzione di produzione.

Il settore 'progressivo', definito tale in ragione della produzione di beni standardizzati e che ben si presta ad incorporare il progresso tecnologico, usufruendo dell'automazione sarà in grado di registrare un incremento della produttività, che si riflette in un progressivo aumento del livello salariale degli addetti operanti in tale settore.

Stante l'evolversi parallelo dei salari nei due settori in esame (in ragione della dinamica di mobilità del lavoro), tale aumento salariale sarà registrato anche nel settore 'stagnante' (ovvero quello dei servizi e dei beni culturali) senza che però si sia verificato un corrispondente aumento della produttività; i costi unitari di prodotto rimarranno pertanto costanti nel settore manifatturiero mentre subiranno un progressivo aumento nel settore dei servizi.

Tale situazione apre la strada a diversi scenari: in primo luogo, considerando una situazione di domanda elastica al prezzo, ciò porterebbe a determinare una contrazione della domanda (e, di conseguenza, della produzione) nel settore dei servizi, con conseguente trasferimento di risorse nel settore manifatturiero, determinando l'estinzione del settore dei beni culturali a meno di un finanziamento esterno a copertura del crescente divario fra costi e ricavi.

Nel caso invece in cui si verificassero condizioni di domanda rigida al prezzo (ad esempio in presenza di beni e servizi essenziali), tale aumento non comporterebbe variazioni nella domanda; qualora infine l'output generato dai due settori fosse mantenuto costante, si assisterebbe ad un progressivo trasferimento della forza lavoro dal settore manifatturiero a quello dei servizi, contrariamente alla prima ipotesi.

In ogni caso, la situazione descritta porterebbe ad una riduzione del tasso di crescita dell'economia quale media ponderata della crescita della produttività nei due settori pesata per la quota di occupati.

In ultima analisi, secondo l'economista statunitense, i settori caratterizzati da una rapida crescita della produttività vedono la loro quota sul PIL diminuire mentre i settori con una crescita di produttività relativamente lenta rilevano un aumento di tale quota; la crescita economica risulterebbe quindi condizionata non tanto da ciò che si è in grado di fare bene ma piuttosto da ciò che risulta essenziale ma difficile da migliorare.

La combinazione di tali aspetti con il processo di automazione può fornire una dettagliata descrizione della crescita economica, attuale e futura; in un modello che considera l'impiego dell'I.A. nell'automazione della produzione di beni e servizi, tale teoria genera condizioni sufficienti per ottenere una crescita globale equilibrata con una quota di capitale costante e inferiore al 100%, anche in presenza di un'automazione quasi completa; applicata ad un

modello di produzione di idee, queste stesse considerazioni possono impedire una crescita esplosiva.

### 3.2 *Il modello di Zeira sull'automazione e la crescita*

Un modello relativo agli effetti dell'automazione sulla crescita economica è fornito dall'economista israeliano Joseph Zeira (1998), il quale considera la funzione di produzione come il risultato del prodotto tra il fattore di produzione della tecnologia adottata ed i beni intermedi o task (secondo l'interpretazione degli economisti americani Daron Acemoglu e David Autor (2011)). I beni o task che non sono ancora stati automatizzati possono essere realizzati uno ad uno con il lavoro umano; una volta automatizzati, il lavoro umano viene sostituito da un'unità di capitale.

$$Y = A X_i^{\alpha}$$

$$X_i = \begin{cases} L_i & (\text{se non automatizzato}) \\ K_i & (\text{se automatizzato}) \end{cases}$$

Se l'aggregato capitale (K) e lavoro (L) viene assegnato ai task in maniera ottimale, la funzione di produzione può essere espressa come

$$Y_t = A_t K_t^{\alpha} L_t^{1-\alpha}$$

$\alpha$  = quota complessiva e importanza dei task automatizzati.

Un incremento nell'automazione comporterà un aumento nella quota di capitale ' $\alpha$ ' e, in ragione degli effetti multipli associati all'accumulo di capitale, un aumento del tasso di crescita di lunga corsa.

Zeira sostiene che l'automazione sia un processo che ha avuto inizio a partire dalla rivoluzione industriale e che il tasso di crescita e la quota di capitale crescano con l'automazione; tale teoria va contro i concetti modellizzati dall'economista ungherese Nicholas Kaldor (1961), il quale sostiene che il tasso di crescita e la quota di capitale rimangono relativamente stabili nel corso del tempo (come dimostrato dalle condizioni economiche degli Stati Uniti per buona parte del XX secolo).

Gli economisti Daron Acemoglu e Pascual Restrepo (2016) forniscono una possibile interpretazione all'inconsistenza del modello di Zeira in riferimento alle evidenze storiche: tale teoria si basa su una funzione di produzione a elasticità costante CES (Constant Elasticity of Substitution) e considera il numero di task e l'automazione come fattori endogeni. Supponendo che la ricerca possa intraprendere due direzioni diverse, ovvero scoprire come automatizzare un task esistente o ideare nuovi task utilizzabili in fase di produzione, e considerando ' $\alpha$ ' come la frazione di attività che sono state automatizzate, emerge una prima

soluzione applicabile alla teoria di Zeira, ovvero la possibilità che si stiano ideando nuovi task alla stessa frequenza con cui vengono automatizzati quelli esistenti. La quota di task automatizzati risulta quindi costante, così come la quota di capitale e il tasso di crescita.

### 3.3 Automazione e malattia dei costi di Baumol

L'incidenza della quota dei settori agricoltura manifatturiero sul PIL e sull'occupazione risulta in forte calo; l'automazione porta all'aumento della quota di capitale in questi settori ma, al tempo stesso, interagisce con altri aspetti legati alla produzione e al consumo.

La quota di capitale aggregata è quindi la risultante fra la quota di capitale crescente in tali settori e la diminuzione della loro quota sul PIL.

Le tecniche di stampa 3D e le nanotecnologie, in grado di condurre la produzione allo stadio molecolare, potrebbero portare all'automazione di tutti i settori produttivi; non è ancora chiaro se l'I.A. sia in grado di portare gli stessi risultati anche nel settore dei servizi.

Baumol (1967) osservò che la rapida crescita della produttività in alcuni settori rispetto ad altri poteva essere affetta da "malattia dei costi".

Il PIL rappresenta una combinazione di beni CES con un'elasticità di sostituzione costante e inferiore ad uno (attività complementari); i cambiamenti tecnologici standard vengono considerati esogeni.

Si tratta di una funzione di produzione con legami deboli; tali legami sono rappresentati dalle attività svolte con il lavoro umano e il PIL è, in un certo senso, limitato dall'output di queste ultime (origine dell'effetto di Baumol).

Come rappresentato nel modello di Zeira, una parte del cambiamento tecnologico è legato all'automazione della produzione; in altre parole è possibile sostenere che i beni sono prodotti con una combinazione dei fattori capitale e lavoro "Cobb-Douglas".

Per semplicità si assume che vi sia un'assegnazione fissa di lavoro umano e che il capitale e il lavoro siano allocati simmetricamente nel corso dell'attività.

La funzione di produzione può essere rappresentata nel seguente modo:

$$Y_t = A_t (\beta_t^{1-p} K_t^p + (1 - \beta_t)^{1-p} L^p)^{1/p}$$

$\beta_t$  = frazione di beni automatizzati

L'allocazione di risorse può essere decentralizzata in un equilibrio competitivo standard. In questo equilibrio, la quota di beni automatizzati del PIL eguaglia la quota di capitale nel rendimento dei fattori di produzione; allo stesso modo, la quota di beni non automatizzata rispecchia la quota di lavoro umano (e pertanto, il rapporto tra output automatizzati e non corrisponde al rapporto tra la quota di capitale e la quota di lavoro).

Vi sono due forze di base che muovono la quota di capitale (o, in maniera equivalente, la percentuale economica di beni automatizzati). In primo luogo, un aumento nella quota di beni che sono stati automatizzati comporta un incremento nella quota di beni automatizzati sul PIL

determinando, a sua volta, un aumento nella quota di capitale (mantenendo il rapporto capitale / lavoro costante).

Successivamente, al crescere del rapporto capitale / lavoro, la quota di capitale e il valore del settore sul PIL diminuiscono.

Ciò accade in quanto l'elasticità di sostituzione risulta inferiore a uno e pertanto domina l'effetto del prezzo; il prezzo dei beni automatizzati, infatti, diminuisce in relazione al prezzo dei beni non automatizzati a causa dell'effetto legato all'accumulo di capitale e alla riduzione dei costi di produzione dovuta all'automazione.

Dal momento che la domanda è relativamente anelastica (o rigida) rispetto al prezzo, la quota di spesa di questi beni diminuisce a sua volta. L'automazione e la malattia dei costi di Baumol sono strettamente correlate; è quindi possibile che l'automazione nel settore dell'agricoltura e in quello manifatturiero porti questi settori a crescere rapidamente e determini, allo stesso tempo, la riduzione della loro quota sul PIL.

Seguendo il modello di Acemoglu e Restrepo (2016) si potrebbe considerare l'automazione come endogena, specificando una tecnologia di automazione verso cui indirizzare gli sforzi della ricerca.

Risulta però chiaro che, in ragione della specifica tecnologia, il rapporto tra la quota di beni automatizzati rispetto a quelli non automatizzati può aumentare più o meno velocemente rispetto al diminuire del rapporto tra capitale e lavoro. Pertanto le assunzioni precedenti si basano sulla stima di un'automazione quale fattore esogeno.

### 3.3.1 Caso 1: crescita bilanciata con andamento asintotico

Considerando una funzione di produzione neoclassica:

$$Y_t = A_t F(B_t K_t, C_t L_t)$$

$$B_t \equiv \beta_t^{(1-\rho)/\rho}$$

$$C_t \equiv (1 - \beta_t)^{(1-\rho)/\rho}$$

e assumendo  $\rho < 0$  (ovvero beni complementari) emerge che all'aumentare di  $\beta_t$  diminuisce il coefficiente  $B_t$  ed aumenta  $C_t$ ; l'automazione equivale pertanto ad una combinazione di cambiamenti tecnologici che comporta un aumento della quota lavoro e una riduzione della quota capitale. Tale conclusione verrebbe sovvertita considerando un'elasticità di sostituzione maggiore di uno ( $\rho > 0$ , beni sostituti).

L'automazione determina due effetti base: l'aumento di  $\beta_t$  comporta, da un lato, l'attribuzione di capitale ad un maggior numero task e, di conseguenza, un aumento della forza 'capitale crescente'; dall'altro lato, una maggior ripartizione dell'ammontare fisso di capitale determina un effetto di riduzione dello stesso.

Quando i task sono sostituti ( $\rho > 0$ ), l'effetto aumentante domina e l'automazione comporta un aumento del capitale; viceversa, quando i task sono complementari ( $\rho < 0$ ), l'effetto riduzione domina e l'automazione riduce il capitale.

Per quanto concerne il lavoro operano forze opposte: l'automazione concentra una data quantità di lavoro su un minor numero di task per cui aumenta la quota lavoro nel caso in cui  $\rho < 0$ .

Un caso particolare si verifica quando l'evoluzione di  $\beta_t$  comporta una crescita di  $C_t$  a tasso esponenziale costante. Ciò può accadere qualora  $1 - \beta_t$  diminuisca con un tasso esponenziale costante ( $\beta_t \rightarrow 1$ ) ovvero l'economia tenda ad una piena automazione (senza mai raggiungerla pienamente).

La logica del modello di crescita neoclassico suggerisce che questa condizione può produrre un percorso di crescita bilanciato con fattori costanti, quantomeno al limite (considerando  $A_t$  costante).

Considerando infatti una diminuzione a tasso esponenziale costante di  $1 - \beta_t$  (ovvero  $\beta_t \rightarrow 1$ ) e task complementari ( $\rho < 0$ ),  $C_t$  crescerà con un tasso esponenziale costante; una frazione costante dei task che non sono ancora stati automatizzati sarà automatizzato in ciascun periodo.

La Figura 8 mostra che questo esempio può condurre ad una crescita esponenziale costante; a partire dall'anno zero, nel quale nessun bene è ancora stato automatizzato, si assume che una frazione costante dei beni venga automatizzata ogni anno. Ciò comporta enormi cambiamenti strutturali che, a loro volta, generano una crescita esponenziale costante del PIL. La quota di capitale del rendimento dei fattori ha valore iniziale pari a zero e cresce gradualmente nel tempo per poi tendere asintoticamente ad un valore pari a circa 1/3. Sebbene si arrivi in ultimo ad una quota quasi nulla dell'economia non ancora automatizzata (ovvero il lavoro risulti in quota sempre più ridotta), il fatto che i beni automatizzati vengano prodotti con capitale ridotto unito ad un'elasticità di sostituzione minore di uno comporta che la quota automatizzata del PIL si attesti asintoticamente sul valore di 1/3 ed il lavoro su un valore di circa 2/3 del PIL.

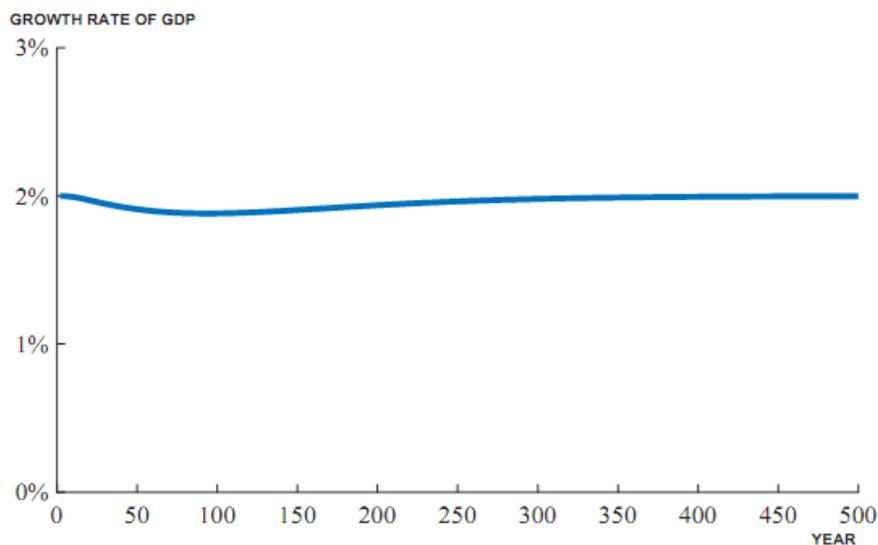
Questa rappresenta una conseguenza dell'effetto di Baumol: i task legati al lavoro, ovvero i legami deboli, sono essenziali e costosi e questo mantiene la quota di lavoro elevata.

Lungo questo percorso settori come l'agricoltura e il manifatturiero mostrano una trasformazione strutturale. Tali settori sperimentano una quota calante del PIL nel corso del tempo, così come una rapida caduta dei prezzi.

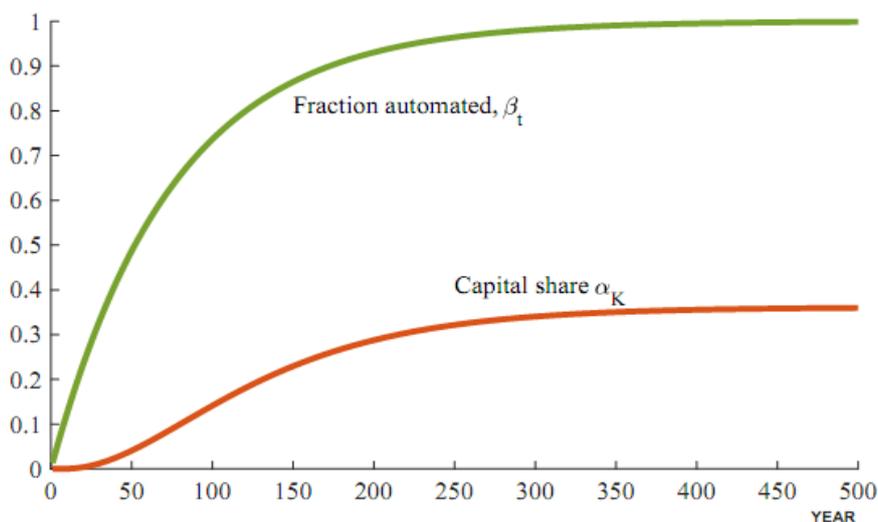
La quota di automazione dell'economia risulterà costante unicamente in ragione dell'automazione di nuovi prodotti.

L'analisi precedente assumeva  $A_t$  costante, così che l'unica forma di cambiamento tecnologico fosse l'automazione; in realtà il progresso tecnologico non è legato soltanto alla sostituzione del lavoro umano con quello delle macchine, ma anche al miglioramento di queste ultime.

Si potrebbe infatti ottenere una crescita bilanciata anche nel caso in cui  $A_t$  aumentasse precisamente allo stesso tasso di diminuzione di  $\beta_t$ ; in questo caso i cambiamenti tecnologici comporterebbero esclusivamente aumento di lavoro: computer migliori porterebbero ad una riduzione della quota di capitale allo stesso tasso con cui l'automazione ne determinerebbe l'aumento portando, in ultimo, ad una crescita.



(a) The Growth Rate of GDP over Time



(b) Automation and the Capital Share

**Figura 8 - Automation and Asymptotic Balanced Growth**

### 3.3.2 Caso 2: crescita con fattori a quote costanti

Il modello in esame è in grado di generare una quota di capitale costante nel tempo se e solo se il tasso di crescita di  $\beta_t$  rallenta nel tempo al medesimo tasso con cui altri beni vengono contestualmente automatizzati.

La Figura 9 mostra un esempio in tal senso: si assume  $\rho < 0$  (task complementari) e una crescita esogena di  $A_t$  (stimata, nell'esempio in esame, pari al 2% all'anno), ovvero si tiene conto di altre forme di cambiamento tecnologico in grado di migliorare le macchine esistenti e supportare l'automazione nel tempo. In questo esempio l'automazione procede ad un tasso tale per cui la quota di capitale rimane costante per i primi 150 anni. Successivamente si assume che  $\beta_t$  si attesti ad un valore costante e l'automazione si interrompa.

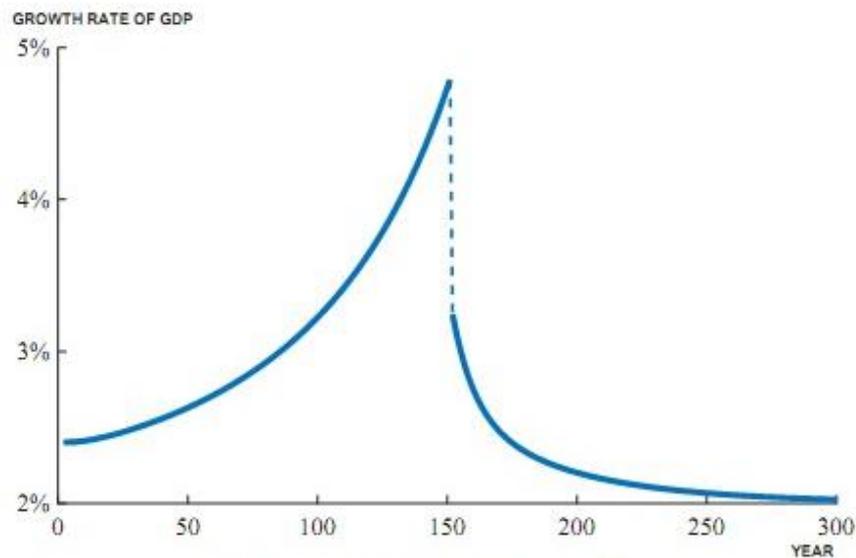
Il risultato atteso è che ad una quota di capitale costante sia associata una crescita negativa; in realtà il tasso di crescita aumenta.

La spiegazione è legata al fatto che il tasso di crescita economico è determinato come segue:

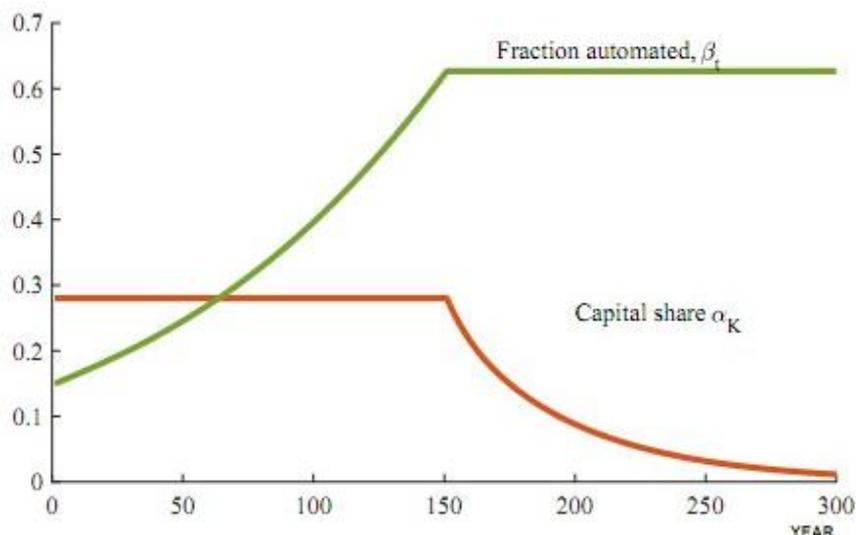
$$g_{Yt} = g_A + \beta_t g_{Kt}$$

Nel caso in cui  $g_A = 0$  una crescita bilanciata presuppone  $g_Y = g_K$ ; ciò si verifica in due casi, ovvero quando  $\beta_t = 1$  (caso Figura 1) e quando  $g_Y = g_K = 0$  (ovvero crescita esponenziale pari a zero).

Considerando  $g_A > 0$  fattori di crescita costanti possono determinare una crescita economica; partendo dalla precedente situazione di crescita bilanciata ( $g_Y = g_K$ ) si assiste ad un aumento di  $\beta_t$  che porta ad un incremento di  $g_K$  e di conseguenza di  $g_Y$ .



(a) The Growth Rate of GDP over Time

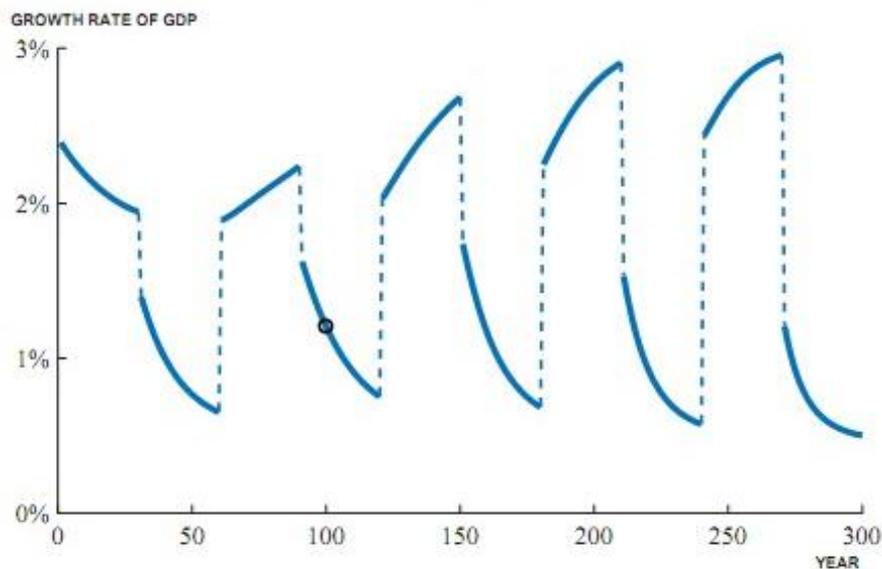


(b) Automation and the Capital Share

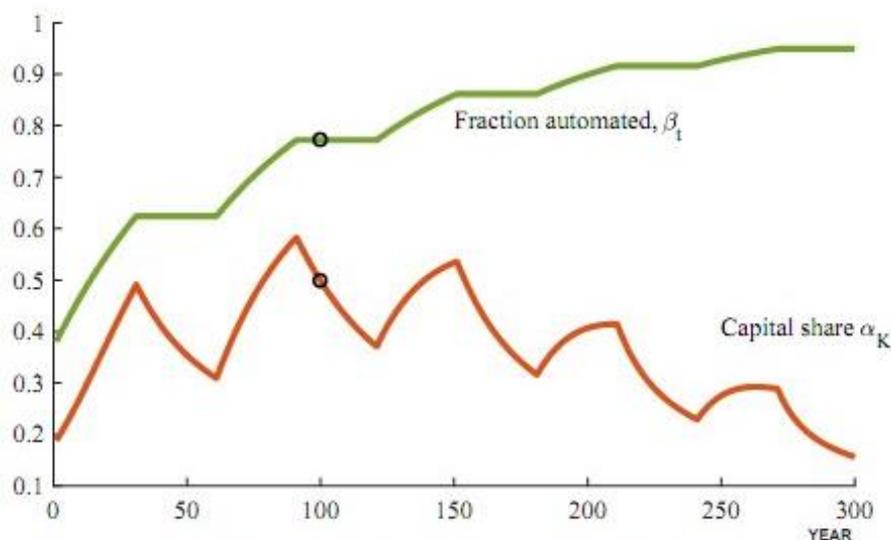
Figura 9 - Automation with a Constant Capital Share

### 3.3.3 Caso 3: crescita con regimi alternati di automazione

Si assume il caso in cui l'automazione si alterni tra due regimi (Figura 10). Nel primo caso una frazione costante di beni non automatizzati viene automatizzata ogni anno, determinando un aumento della quota di capitale ed una crescita significativa del PIL. Nel secondo caso si assume  $\beta_t$  costante e assenza di automazione. In entrambe le situazioni si ipotizza che  $A_t$  cresca ad un tasso costante dello 0,4% all'anno, tale per cui anche quando la frazione di beni automatizzati si stabilizza l'automazione si perfeziona riducendo la quota di capitale.



(a) The Growth Rate of GDP over Time



(b) Automation and the Capital Share

Figura 10 - Intermittent Automation

L'automazione, ovvero l'aumento della frazione di beni automatizzati  $\beta_t$ , può essere vista come una combinazione di elementi ad aumento del capitale e del lavoro in una funzione di produzione neoclassica. Poiché i cambiamenti tecnologici non determinano esclusivamente aumento di lavoro, tale combinazione non conduce ad una crescita bilanciata. Tenendo conto dell'assunzione  $\rho < 0$  (ovvero beni complementari), sia la quota di capitale che il tasso di crescita del PIL tendono ad aumentare nel tempo, a volta contemporaneamente.

Una crescita bilanciata può verificarsi solo nel caso limite in cui si ipotizzi che tutti i beni siano stati automatizzati: la quota di capitale in questo caso risulta costante e inferiore al 100%; perché ciò si verifichi è necessario assumere che l'automazione sia l'unica forma di cambiamento tecnologico.

Qualora invece si consideri un'automazione in grado di perfezionarsi nel corso del tempo, il modello deve considerare, unitamente all'automazione, anche un incremento di  $A_t$ .

Una combinazione di periodi di automazione seguiti da periodi di stasi può determinare dinamiche simili a quelle che si sono verificate negli Stati Uniti negli ultimi anni: un periodo determinato da una significativa quota di capitale accompagnato da una lenta crescita dell'economia.

### 3.4 *L'Intelligenza Artificiale nella funzione di produzione delle idee*

I task di ricerca che hanno beneficiato dell'automazione e dei cambiamenti tecnologici, oltre a quelli riconducibili alla produzione, includono la digitalizzazione e distribuzione dei giornali, il sistema per ottenere materiale e informazioni, la ricerca dei fornitori, l'analisi dei dati, la risoluzione di problemi matematici, il calcolo del risultato ottimale. Altri esempi, esterni all'ambito economico, includono la realizzazione di esperimenti, lo studio sulla sequenza dei genomi, l'analisi delle reazioni chimiche e dei materiali.

È possibile applicare lo stesso modello di funzione di produzione anche ai task legati alla creazione di idee.

Si può ipotizzare una funzione di produzione di beni e servizi che utilizzi lavoro e idee nella forma seguente:

$$Y_t = A_t L_t$$

$$A_t = A \phi_t F(B_t K_t, C_t S_t)$$

$$B_t \equiv \beta_t^{(1-\rho/\rho)}$$

$$C_t \equiv (1 - \beta_t)^{(1-\rho/\rho)}$$

$S_t$  = ricerche di laboratorio usate per produrre nuove idee

$\beta_t$  = frazione di task automatizzati

Nella situazione iniziale si considera  $\beta_t$  costante e, successivamente, in aumento: considerando il caso in cui  $\rho < 0$  (beni complementari) si verifica, come nel caso della funzione legata alla produzione di beni, una diminuzione di  $B_t$  ed un aumento di  $C_t$ .

Assumendo in seguito un aumento del rapporto  $K_t / S_t$  nel tempo, in ragione del valore dell'elasticità di sostituzione si verificano i seguenti casi:

- se l'elasticità di sostituzione fosse inferiore a 1, la funzione di produzione risulterebbe vincolata dai legami deboli, nel caso specifico i ricercatori; l'automazione produrrebbe un determinato effetto ma lascerebbe invariato il tasso di crescita di lunga corsa dell'economia;
- se l'elasticità di sostituzione risultasse uguale a 1 (funzione “Cobb-Douglas”) la sola crescita dell'automazione comporterebbe un aumento del tasso di crescita di lungo periodo; il fattore cumulabile nella produzione (quale il capitale) diventerebbe stabilmente più importante e questo comporterebbe un effetto multiplo e un conseguente aumento della crescita;
- se l'elasticità di sostituzione fosse infine maggiore di 1, la funzione di produzione tenderebbe asintoticamente al fattore più rilevante (in questo caso  $K_t$ ); il modello porterebbe ad una crescita esplosiva in condizioni generali, con redditi infiniti in un intervallo di tempo finito anche in assenza di automazione. In questo caso i ricercatori non costituirebbero un input necessario e un accumulo standard di capitale sarebbe sufficiente per generare una crescita esplosiva.

### *3.4.1 Automazione continua*

Considerando una crescita dell'automazione costante (ovvero il caso in cui i nuovi task automatizzati costituiscono una frazione costante di quelli che non sono ancora stati automatizzati) il tasso di crescita dell'economia risulterebbe proporzionale al tasso di crescita dei ricercatori (ovvero, in ultimo, della popolazione). In questo caso l'automazione aggiungerebbe un secondo termine ed aumenterebbe il tasso di crescita: si potrebbe verificare una crescita esponenziale nello sforzo di ricerca all'interno di una funzione di produzione delle idee non solo nel caso di crescita della popolazione, ma anche come risultato dell'automazione della ricerca attraverso l'utilizzo dell'IA.

### *3.5 Singolarità tecnologica*

Molti analisti sostengono che l'IA. sia in grado di aprire le porte a qualcosa di estremo, ovvero ad una ‘singolarità tecnologica’, e portare ad una crescita esplosiva (fra i primi a sostenere tale ipotesi, il matematico e informatico ungherese John von Neumann già alla fine anni '50).

Nella futurologia si definisce ‘singolarità tecnologica’ un punto, congetturato nello sviluppo di una civiltà, in cui il progresso tecnologico accelera oltre la capacità di comprendere e prevedere degli esseri umani. La singolarità può, più specificamente, riferirsi all'avvento di un'intelligenza superiore a quella umana (anche artificiale), e ai progressi tecnologici che, a cascata, si presume seguirebbero da un tale evento, salvo che non intervenga un importante

aumento artificiale delle facoltà intellettive di ciascun individuo. Se una singolarità possa mai avvenire, è a tutt'oggi, materia di discussione.

Nel 1965, il matematico inglese Irving John Good descrisse il concetto di singolarità, nel quale egli includeva l'avvento di un'intelligenza sovrumana: *«Diciamo che una macchina ultraintelligente sia definita come una macchina che può sorpassare di molto tutte le attività intellettuali di qualsiasi uomo per quanto sia abile. Dato che il progetto di queste macchine è una di queste attività intellettuali, una macchina ultraintelligente potrebbe progettare macchine sempre migliori; quindi, ci sarebbe una “esplosione di intelligenza”, e l'intelligenza dell'uomo sarebbe lasciata molto indietro. Pertanto, la prima macchina ultraintelligente sarà l'ultima invenzione che l'uomo avrà la necessità di fare.»*

Nel 1993 il matematico e scrittore statunitense Vernor Vinge sosteneva che *«entro trent'anni, avremo le tecnologie necessarie a creare intelligenze super-umane. In breve, dopo tale evento, l'era umana sarà terminata.»*

Lo scienziato e informatico statunitense Raymond Kurzweil annuncia che un computer supererà il Test di Turing entro il 2029, dimostrando di possedere una mente (intelligenza, autocoscienza, ricchezza emozionale) indistinguibile da quella umana; la prima intelligenza artificiale sarà costruita sulla simulazione di un cervello umano, il che sarà reso possibile da una precedente scansione cerebrale basata su nanotecnologie.

Una macchina di I.A. potrebbe effettuare l'intera gamma di compiti intellettuali umani e sarebbe al contempo sia emozionale che autocosciente, diventando di gran lunga più intelligente e potente degli umani non potenziati. Il confine tra umani e macchine sfumerà necessariamente in conseguenza dell'evoluzione tecnologica; impianti cibernetici aumenteranno fortemente le capacità cognitive e fisiche umane e consentiranno l'interazione diretta tra umani e macchine.

In qualità di figura di rilievo in ambito futurologo e transumanista, nel 2008 Kurzweil fonda e cofinanzia, unitamente ad organizzazioni di prestigio quali il “Ames Research Center” della NASA, Google e Genentech, la “Singularity University”, un'organizzazione (non autorizzata a rilasciare titoli di studio) avente lo scopo di offrire corsi basati sulle teorie della "tecnologia esponenziale" e della "singolarità tecnologica" e svolgere funzione di incubatore di impresa; la mission è ‘educare, ispirare e aiutare i leader ad applicare le tecnologie esponenziali per affrontare le grandi sfide dell'umanità’.

Analizzando i casi che possono condurre ad un rapido incremento del tasso di crescita è possibile identificare due tipi di regime di crescita a partire da una situazione di crescita costante:

- A) Un'esplosione nella crescita dove il tasso di crescita aumenterebbe senza limiti ma a valori finiti in istanti determinati;
- B) Un'esplosione nella crescita dove si raggiungerebbero output con valori infiniti in un intervallo di tempo finito.

Gli scrittori convergono sulla predizione della data di una singolarità, ma differiscono sulla tipologia della stessa (tipo A o tipo B).

### 3.5.1 Esempi di singolarità tecnologica

#### Esempio 1: Automazione nella Produzione di Beni

Il caso in esame considera piena automazione nella produzione di beni con progresso tecnologico continuo.

Assumendo che tutti i task siano stati automatizzati, la funzione di produzione diventerebbe

$$Y_t = A_t K_t$$

e il tasso di crescita aumenterebbe esponenzialmente al crescere di  $A_t$ . Una crescita produttiva continua (ad esempio attraverso la scoperta di nuove idee) comporterebbe un'accelerazione nei tassi di crescita.

#### Esempio 2: Automazione nella Produzione di Idee

Un ulteriore caso di accelerazione si verificherebbe nel caso in cui l'automazione fosse applicata alla funzione di produzione di idee anziché (o unitamente a) a quella della produzione di beni.

In questo caso si verificherebbe un'eccezionalità matematica, ovvero il reddito diventerebbe infinito in un intervallo di tempo finito.

L'automazione di tutti i task implicherebbe la completa sostituzione del lavoro umano con l'I.A. determinando la seguente funzione di produzione delle idee:

$$A_t = K_t A^{\theta}_t$$

Considerando  $\theta > 0$ , la crescita esploderebbe così velocemente da determinare redditi infiniti in un tempo finito.

#### Esempio 3: Singolarità senza Automazione Completa

Si consideri una completa automazione della produzione di beni e idee; con un'elasticità di sostituzione minore di uno sarebbe necessaria la completa automatizzazione di tutti i task; se fosse automatizzata una sola frazione di task allora il legame debole (ovvero il lavoro) sarebbe dominante e il tasso di crescita non esploderebbe.

In realtà, secondo una funzione di produzione Cobb-Douglas, una singolarità del tipo B può verificarsi anche in presenza di una frazione sufficiente di task automatizzati, stante condizioni di crescita endogena standard con rendimento costante dei fattori cumulabili.

#### Esempio 4: Singolarità con Super Intelligenza

La super intelligenza può essere considerata come un prodotto dell'automazione; il progredire dell'automazione nel corso delle attività comporta, in maniera implicita, un avanzamento nelle attività cognitive (una singolarità può essere concepita come conseguenza dell'esplosione dell'intelligenza). L'automazione stessa può quindi determinare l'emergere di una super intelligenza. Molti futuristi sostengono la possibilità che, prima o poi, si verifichi un'esplosione dell'intelligenza e che, attraverso le conoscenze generate da una super intelligenza, sia possibile raggiungere una singolarità tecnologica (l'I.A. è infatti dotata di capacità di auto-miglioramento attraverso processi ricorsivi).

L'ipotesi in esame risulta sostenibile immaginando di dividere i task in due tipologie: fisici e cognitivi.

Si definisce un livello comune di intelligenza nelle attività cognitive attraverso l'utilizzo di un termine di produttività  $A_{\text{cognitivo}}$  e un analogo livello di produttività nelle attività fisiche  $A_{\text{fisico}}$ . Immaginando di avere a disposizione un'I.A. in grado di auto apprendere, il progresso potrebbe essere espresso come segue:

$$A_{\text{cognitivo}} = A^{1 + \omega_{\text{cognitivo}}}$$

Se  $\omega > 0$  allora il processo di autoapprendimento esploderebbe generando un'intelligenza illimitata in un intervallo di tempo finito.

Il passo successivo consiste nel comprendere come questa superintelligenza possa condizionare il resto dell'economia, ovvero, se sia in grado di produrre una singolarità.

Considerando una funzione di produzione di beni ed ipotizzando che i task fisici non siano essenziali, sarebbe possibile sostenere che un'esplosione di intelligenza sia in grado di condurre ad una singolarità; in realtà è comunemente accettato che i task fisici siano essenziali per la produzione di un bene; pertanto, in questo caso, la singolarità avrebbe un effetto modesto sulla di produzione dei beni.

Considerando invece una funzione di produzione di idee e ipotizzando la presenza di una super intelligenza in grado di comprendere come incrementare in modo significativo il tasso di innovazione dei task fisici, ad una singolarità seguirebbe direttamente l'avvento di una superintelligenza.

#### *3.5.2 Obiezioni sulle singolarità*

##### Limiti dell'Automazione

Un possibile ostacolo si potrebbe verificare nel caso in cui non fosse possibile automatizzare alcuni input essenziali per la produzione, in ragione dell'impossibilità per l'I.A. di

raggiungere l'intelligenza umana. In questo caso, il tasso di crescita rimarrebbe elevato e con un'alta intensità di automazione e capitale, ma sarebbe difficile raggiungere le singolarità.

### Limiti della Ricerca

Un secondo limite potrebbe verificarsi anche in presenza di completa automazione. Ciò avverrebbe nel caso in cui il processo di ricerca creativa impedisse il raggiungimento di una rapida produttività. Considerando nuovamente la funzione di produzione delle idee si precisa che, in caso di completa automazione, una singolarità matematica può essere raggiunta solo nel seguente caso

$$A_t = A_t^{1+\phi}$$

con  $\phi$  maggiore di zero (crescita esplosiva).

Nel caso in cui l'innovazione diventasse più complessa, si potrebbe verificare il caso in cui  $\phi$  sia minore di zero e il tasso di crescita diminuirebbe all'aumentare di  $A_t$ .

### Effetto di Baumol e legge naturale

Una terza limitazione potrebbe verificarsi anche in presenza di completa automazione e super intelligenza, ad esempio nel caso in cui non fosse possibile incrementare la produttività di un input essenziale (un'altra forma della malattia dei costi di Baumol).

In questo caso si tiene conto del fatto che la produttività di alcuni task è diversa da quella di altri e che queste possono procedere con tassi diversi (ad esempio, le macchine computazionali, la cui velocità è aumentata di un fattore pari a 10 a partire dalla Seconda Guerra Mondiale e, di contro, le centrali elettriche che affrontano limiti quali il teorema di Carnot).

Gli output e la crescita sono determinati non da ciò che si è in grado di svolgere al meglio ma da ciò che risulta essenziale ma difficile da implementare.

In ultimo, quindi, le limitazioni possono essere determinate più da limiti delle leggi naturali (quali, ad esempio, quelle della termodinamica che vincolano processi critici) che da limiti cognitivi (ovvero limiti dell'intelligenza umana, che un'I.A. dovrebbe essere in grado di superare).

### Distruzione creativa

L'effetto positivo dell'I.A. sulla crescita della produttività potrebbe essere neutralizzato da un altro effetto operante attraverso la distruzione creativa e il suo impatto sugli incentivi all'innovazione. Una super intelligenza può limitare la crescita inasprando la distruzione creativa e scoraggiando gli investimenti in Ricerca e Sviluppo.

Quale riferimento, è possibile ricondursi ad un modello Schumpeteriano della crescita, supponendo vi sia disponibilità di tempo continuo e individui con vita infinita che possono decidere se lavorare nella ricerca o nella produzione; in tale modello si assume che una nuova innovazione ne sostituisca una vecchia e che l'innovazione preveda due fasi, la prima implementata dalle macchine, la seconda richiedente input umano per la ricerca.

In una situazione di singolarità, dove le innovazioni successive si susseguono senza intervallo di tempo, i ritorni privati legati alla R&D umana si riducono a zero e, di conseguenza, l'innovazione e la crescita diminuiscono. Più in generale, più rapida è la prima fase di ciascuna innovazione successiva grazie all'avvento dell'I.A., minore è il ritorno all'investimento nella seconda fase, che a sua volta contrasta l'effetto diretto dell'I.A. stessa e della super intelligenza.

Ciascuna innovazione ha come risultato una nuova tecnologia di produzione di output finali e nuovi beni intermedi per l'implementazione di nuove tecnologie.

In uno stato di equilibrio, l'allocazione del lavoro tra ricerca e manifattura rimane costante nel tempo; i lavoratori possono prendere parte sia alla produzione di beni intermedi già esistenti sia alla ricerca mirata alla scoperta di nuovi beni intermedi.

Ciascun bene intermedio è legato ad una particolare 'GPT - General Purpose Technologies' ed è reso disponibile prima della specifica collocazione; una volta che il nuovo bene è stato inventato, è possibile ricavarne profitti attraverso la registrazione di brevetti vincolanti l'utilizzo esclusivo.

La scoperta di una nuova generazione di beni intermedi avviene in due fasi: nella prima fase sopraggiunge una nuova GPT (non quale risultato di una ricerca, bensì come prodotto della raccolta delle esperienze che emergono attraverso l'utilizzo delle precedenti GPT) mentre nella seconda sopraggiunge la necessità di inventare beni intermedi per implementarla.

L'economia passa attraverso una sequenza di cicli, ciascuno dei quali costituito da due fasi: la prima fase è caratterizzata dal manifestarsi di una GPT e prevede che un determinato ammontare di lavoro venga dedicato alla ricerca.

La seconda fase ha inizio quando tale ricerca porta alla scoperta di un bene intermedio per l'implementazione della GPT; in questa fase tutto il lavoro è allocato nella manifattura fino a che non si manifesta la successiva GPT (momento nel quale ha inizio un nuovo ciclo).

La ricerca viene quindi condotta unicamente nella prima fase, ma si ripaga quando l'economia entra nella seconda fase; un'innovazione si implementa ogni qual volta che un intero ciclo viene completato.

Una super intelligenza porterebbe quindi a rafforzare la distruzione creativa al punto da disincentivare gli investimenti nella R&D e, come risultato, alla riduzione della crescita.

### *3.5.3 Ulteriori osservazioni*

Le nuove tecnologie legate all'I.A. potrebbero consentire l'automazione di processi di imitazione e comprensione di tecnologie di frontiera; una delle principali cause di disuguaglianza sarebbe legata alla disponibilità del credito, che impedirebbe ai paesi o alle

regioni più povere di acquistare macchine super intelligenti, al contrario di economie sviluppate.

I paesi sviluppati concentrerebbero tutti i loro sforzi di ricerca nello sviluppo di nuove linee di produzione (ovvero sull'innovazione di frontiera) mentre i paesi più poveri dedicherebbero una frazione sempre maggiore dei loro laboratori di ricerca nello studio di nuove tecnologie di frontiera nell'impossibilità di disporre di device legati all'I.A., incrementando il grado di divergenza a livello mondiale.

Un secondo aspetto è relativo al fatto che, anticipando i possibili effetti dell'I.A. in merito alla capacità e velocità di apprendimento, potenziali innovatori potrebbero diventare riluttanti nel brevettare le loro invenzioni, temendo che la descrizione brevettuale possa facilitarne l'imitazione; i segreti commerciali potrebbero diventare un sistema preferibile al brevetto. Infine, delegando i processi di imitazione e apprendimento alle super macchine, nelle economie sviluppate la ricerca sarebbe quasi interamente indirizzata all'innovazione di prodotto e alla creazione di nuove linee in sostituzione di quelle esistenti. I rendimenti decrescenti legati ad una ricerca più approfondita sulle linee esistenti sarebbero compensati dalla scoperta di nuove linee di produzione ma le idee diventerebbero sempre più difficili da scoprire a causa dell'effetto delle capacità dell'I.A. nella combinazione delle idee.

## 4 L'Intelligenza Artificiale, le imprese e la crescita economica

### 4.1 *Intelligenza Artificiale e potenziali effetti sul grado di competizione nei diversi settori*

L'attuale sforzo sulla competizione e l'innovazione hanno condotto la crescita verso due effetti contrastanti: una competizione di mercato più agguerrita (o una minaccia di competizione) porta da un lato a spingere le imprese ad innovare verso la frontiera tecnologica al fine di eludere la competizione e, dall'altro, a scoraggiare le stesse.

Quale di questi effetti prevalga dipende dal grado di competizione dell'economia e da quanto questa sia avanzata: l'effetto incentivante domina quando la competizione è ad un livello iniziale ridotto e in una situazione di economia avanzata; di contro, l'effetto scoraggiante domina quando si verificano alti livelli di competizione o economie poco avanzate.

L'I.A. può condizionare l'innovazione e la crescita attraverso potenziali effetti sulla competizione nel mercato dei prodotti.

In primo luogo essa può agevolare l'imitazione dei prodotti e delle tecnologie esistenti in quanto facilita il processo di reverse engineering e quindi stimolare l'innovazione in settori in cui vi è un basso livello di imitazione.

Di contro, un'eccessiva minaccia di imitazione porta a scoraggiare l'innovazione in quanto i potenziali innovatori si troverebbero a fronteggiare un'eccessiva espropriazione.

Un'ulteriore implicazione dell'I.A. è legata al fatto che la sua introduzione può velocizzare il processo con cui ciascun settore raggiunge la fase di congestione e, di conseguenza, portare sia ad una più rapida diminuzione dei profitti legati all'innovazione all'interno di ciascun settore esistente, sia ad indurre i potenziali innovatori a dedicare più risorse nell'invenzione di nuove linee al fine di evitare la competizione e l'imitazione all'interno delle linee in essere.

Un altro modo con cui l'I.A. e la rivoluzione digitale possono condizionare l'innovazione e la crescita influenzando il grado di competizione del mercato dei prodotti è relativo allo sviluppo di piattaforme o network.

Il principale obiettivo dei possessori di piattaforme è massimizzare il numero di partecipanti alla piattaforma in entrambi gli sbocchi di mercato.

A titolo di esempio, Google detiene il monopolio come motore di ricerca, Facebook conserva una posizione simile nei social network e analogamente Booking.com in relazione alla prenotazione di hotel.

Lo stesso accade per Uber in riferimento al trasporto di persone, Airbnb per l'affitto di appartamenti e così via.

Lo sviluppo di piattaforme può, da un lato, influenzare la competizione in almeno due modi. In primo luogo, l'accesso ai dati può agire come barriera all'ingresso creando nuovi network competitivi, sebbene ciò non vieti a Facebook di sviluppare un nuovo network dopo Google. Ancora più importante, i network possono trarre vantaggio dalla loro posizione di monopolio

per imporre alte fee agli attori di mercato, cosa che può scoraggiare l'innovazione da parte di tali attori, siano essi aziende o imprese individuali.

Quale effetto prevalga tra la fuga dalla competizione e lo scoraggiamento dipende dal tipo di settore (per i settori emergenti prevarrà quello competitivo, per quelli datati vi sarà un potenziale rallentamento), dalla capacità con cui l'I.A. sia in grado di facilitare il processo di reverse engineering e l'imitazione e da quanto la competizione e le policy regolatorie siano finalizzate a proteggere i diritti di proprietà intellettuale in presenza di un contestuale abbassamento delle barriere in ingresso.

Recenti studi empirici evidenziano come le policy sulla protezione dei brevetti e sulla competizione siano complementari e inducano alla crescita dell'innovazione e della produzione.

## *4.2 Intelligenza Artificiale ed esternalità tecnologiche*

Un recente studio (Baslandze, 2016) sostiene che la rivoluzione IT abbia determinato una maggior diffusione della conoscenza, effetto che ha indotto una maggior riallocazione settoriale, da settori che non dipendono in modo evidente da esternalità tecnologiche di altri campi o settori (ad esempio l'industria tessile) a settori che invece dipendono più pesantemente dalle esternalità tecnologiche di altri settori.

Questa tesi, che si considera applicabile all'I.A., si basa su due effetti contrastanti dell'IT sull'incentivo all'innovazione: da un lato, le imprese possono apprendere più facilmente l'una dall'altra e, di conseguenza, beneficiare della diffusione di conoscenza da altre imprese e settori; dall'altro, l'incremento di accesso alla conoscenza proveniente da altre imprese e settori, consentito grazie all'IT e dall'I.A., porta ad incrementare il furto di business.

Nei settori high-tech, dove le imprese beneficiano maggiormente della conoscenza esterna, domina il primo effetto (ovvero, la diffusione di conoscenza) mentre nei settori che non si basano sulla conoscenza esterna domina il secondo effetto (ovvero il furto di business). Infatti, nelle imprese appartenenti a settori maggiormente dipendenti dalla conoscenza è possibile osservare un incremento delle capacità produttive ed innovative maggiore rispetto a quanto si verifichi per le imprese appartenenti a settori che si basano in misura minore sulla conoscenza.

Risulta chiaro che la diffusione dell'IT e dell'I.A. porta all'espansione quei settori che dipendono maggiormente dalla conoscenza esterna (nei quali la diffusione della conoscenza ha un effetto dominante) a spese dei settori tradizionali ed indipendenti, dove le imprese non dipendono in modo essenziale dalla conoscenza esterna.

Così, in aggiunta all'effetto diretto sulla capacità di innovazione e produzione delle imprese, l'introduzione dell'IT e dell'I.A. comporta un effetto di diffusione della conoscenza che è aumentato da un effetto di riallocazione settoriale a beneficio del settore high-tech.

L'effetto positivo della diffusione di conoscenza è in parte contrastato da quello negativo di furto del business; il secondo effetto si è manifestato in modo significativo negli Stati Uniti e, in sua assenza, la rivoluzione IT avrebbe comportato una maggior accelerazione nella crescita produttiva per l'intera economia statunitense.

### 4.3 Intelligenza Artificiale, R&D, organizzazione dei ruoli e coordinamento

In riferimento al recente studio “*The Economics of the Common Good*”, (Tirole, 2017) si evincono le possibili conseguenze attese dall’introduzione dell’I.A. nelle imprese:

- a) Aumento del divario salariale tra lavoratori qualificati e non, stante la maggior sostituibilità di questi ultimi;
- b) Possibilità di automatizzare e distribuire, attraverso task di monitoraggio condotti da intermediari (aziende più piatte, con un ampio spettro di controllo);
- c) Supporto a lavoratori autonomi, rendendo più semplice per ciascun individuo la costruzione di una reputazione.

Nel primo caso, gli economisti Per Krusell, Lee Ohanian, José-Víctor Ríos-Rull e Giovanni Violante (2000), basandosi su una funzione di produzione aggregata nella quale le attrezzature sono maggiormente sostituibili a lavoratori non qualificati che non a lavoratori qualificati, sono arrivati a sostenere che l’accelerazione nella diminuzione dei prezzi di produzione dei beni a partire dalla metà degli anni ’70 potesse essere attribuita all’emergere del sistema di premiazione dei college negli ultimi 25 anni, a sua volta legata ad un aumento delle competenze richieste dal progresso tecnologico.

In questo senso, l’I.A. rappresenta una forma estrema di cambiamento tecnologico legato a capitale e competenze; un robot può sostituire un lavoratore non qualificato ma richiede un lavoratore qualificato per essere installato ed utilizzato.

Un ulteriore studio condotto dagli economisti Philippe Aghion, Antonin Bergeaud, Richard Blundell e Rachel Griffith (2017), porta ad un confronto tra i dati riferiti a diversi lavoratori aggiungendo l’informazione circa la spesa in R&D al fine di analizzare la relazione fra innovazione e reddito medio fra le imprese (Figura 11).

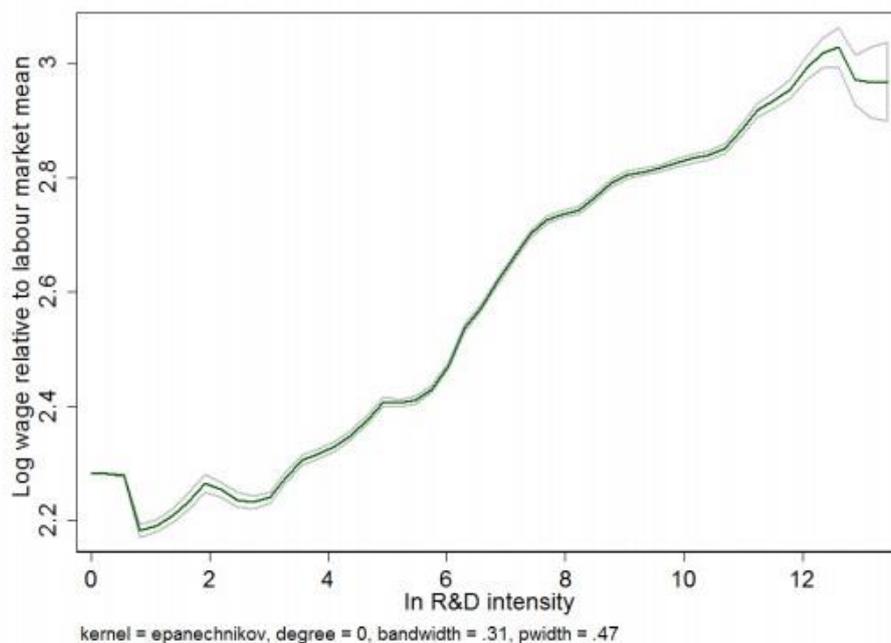


Figura 11 - Log hourly wage and R&D intensity

Si rileva che le imprese che sostengono maggiori investimenti in R&D riconoscono retribuzioni mediamente più alte e impiegano una percentuale più alta di personale qualificato rispetto alle imprese che sostengono minori investimenti in tal senso, e utilizzano l'outsourcing per i task che richiedono personale non qualificato.

Si rileva inoltre che i lavoratori meno qualificati ottengono maggiore beneficio nell'impiego in aziende che conducono R&D rispetto ai lavoratori qualificati (Figura 12).

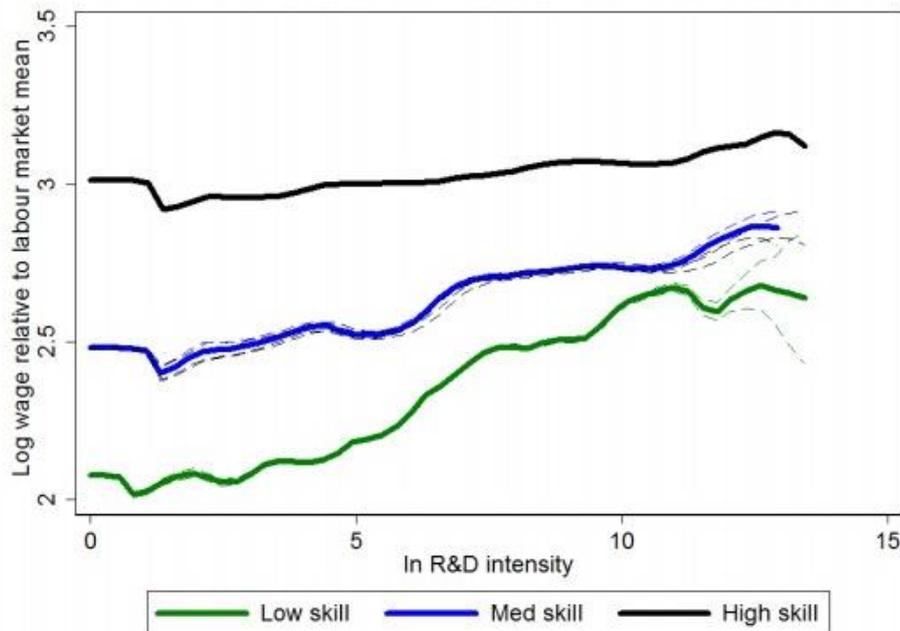


Figura 12 - Log hourly wage and R&D intensity

I lavoratori qualificati guadagnano di più rispetto ai lavoratori non qualificati in qualunque impresa, indipendentemente da quanta R&D sia svolta dall'impresa stessa, ma la curva relativa alla retribuzione dei lavoratori non qualificati è più inclinata rispetto a quella dei lavoratori qualificati e mediamente qualificati. La pendenza di ciascuna di queste curve riflette il premio per il lavoratore, in relazione alla qualifica, in un'impresa innovativa.

Analogamente, in un'impresa che utilizzi I.A., ci si attende che sia impiegata una maggior percentuale di lavoratori altamente qualificati, che venga affidata in outsourcing una percentuale crescente di task che richiedono personale non qualificato e che vengano assegnati premi più alti ai lavoratori non qualificati che vengono mantenuti in azienda (fatto salvo che non si intenda una completa sostituzione degli stessi con robot).

Lo stesso studio propone un modello nel quale le imprese maggiormente innovative presentano un alto grado di complementarità tra lavoratori non qualificati e altri fattori produttivi (quali il capitale e i lavoratori qualificati). Un altro aspetto di questo modello è che le competenze del personale qualificato sono meno specifiche di quelle del personale non qualificato; se un'impresa decide di sostituire un lavoratore qualificato con un altro, il rischio potrebbe essere limitato per il fatto che i lavoratori altamente qualificati possiedono

normalmente una formazione tale per cui il mercato è in grado di determinarne il valore attraverso il titolo di studio e la reputazione, mentre la qualità di un lavoratore non qualificato è specificatamente legato all'impresa.

Una differenza importante rispetto alla visione comune è che, in questo caso, l'innovazione (come l'impiego di I.A.) impatta sull'organizzazione delle imprese e, in particolare, sulla complementarità o sostituibilità tra i lavoratori con diversa qualifica.

A titolo di esempio, un lavoratore non qualificato (quale ad esempio un assistente) che mostra eccezionali abilità, iniziativa e affidabilità svolge una serie di task per i quali sarebbe difficile e costoso ricorrere all'assunzione di un dipendente qualificato; il dipendente non qualificato si attende di rimanere più a lungo nell'impresa rispetto ad un lavoratore qualificato e può fare una notevole differenza nella performance dell'impresa.

Un ulteriore punto di vista sull'impiego dell'I.A. e le imprese viene fornito dall'economista Louis Garicano (2000). Egli sostiene che i lavoratori non qualificati devono fronteggiare quotidianamente nuovi problemi e, tra questi, essere in grado di distinguere tra quelli da risolvere in autonomia rispetto a quelli da sottoporre ai lavoratori qualificati.

Presumibilmente, più l'impresa risulta innovativa, e con alto impiego di I.A., e più difficile sarà risolvere le problematiche complesse e, di conseguenza, più prezioso il tempo necessario per i lavoratori qualificati in questo senso; a sua volta è importante assumere lavoratori non qualificati con significative abilità al fine di garantire che il minor numero di problemi venga trasmesso al livello superiore consentendo ai lavoratori qualificati di avere più tempo libero da dedicare nella risoluzione di problemi complessi.

Un'altra interpretazione relativa all'alta complementarità fra lavoratori qualificati e non nelle imprese innovative, o ad uso intensivo di I.A., è legata al fatto che le potenziali perdite dovute a personale non qualificato inaffidabile sono maggiori in queste ultime tipologie di impresa.

Questo dimostra il crescente potere contrattuale dei lavoratori non qualificati in queste tipologie di impresa e la loro maggior ricompensa; inoltre si evidenzia che il tasso di turnover risulta essere più basso (ovvero la durata contrattuale più alta) nel confronto tra lavoratori non qualificati impiegati in imprese innovative e la medesima tipologia di lavoratori operanti in imprese meno innovative. Al contrario, la differenza nel tasso di turnover risulta essere minimale fra lavoratori qualificati impiegati nelle due tipologie di impresa.

Recenti studi hanno dimostrato che la rivoluzione IT ha portato le imprese ad eliminare le attività di livello medio e a muoversi verso una struttura organizzativa orizzontale; lo sviluppo di I.A. supporta questo trend e, nel contempo, riduce il rapporto tra lavoratori non qualificati e lavoratori qualificati.

Su queste assunzioni un ulteriore modello viene fornito dagli economisti Philippe Aghion e Jean Tirole (1997); in questo esempio, un principale può decidere se delegare oppure no autorità ad un agente sottoposto. Il principale può delegare in due modi: formalmente, attribuendo i diritti di controllo all'agente (in questo caso il principale delega autorità formale all'agente) o informalmente, attraverso la struttura organizzativa, ad esempio aumentandone lo spettro di controllo o incaricandolo su più attività: questo sistema permette al principale di impegnarsi a lasciare iniziativa all'agente (autorità reale).

L'iniziativa dell'agente è particolarmente rilevante se l'impresa è innovativa (imprese di frontiera).

Nel caso in cui il principale decida di delegare, attraverso l'attribuzione di autorità formale o reale, il principale deve affrontare il seguente trade-off: un aumento di delega di autorità all'agente induce da un lato quest'ultimo a prendere più iniziativa; dall'altro lato questo implica che il principale perderà una parte di controllo sull'impresa e dovrà fronteggiare il rischio di decisioni non ottimali (dal suo punto di vista). Quale dei due effetti prevalga dipende dal grado di congruenza tra le preferenze del principale e quelle dell'agente e dalla capacità del principale di sovvertire decisioni non ottimali; considerando che un aumento nell'impiego di I.A. rende più semplice per un principale monitorare l'agente, sono necessarie maggiori deleghe di autorità al fine di stimolare l'iniziativa di quest'ultimo.

L'incentivo a delegare più autorità ad un agente sottoposto è incrementato dal fatto che, grazie all'I.A., le decisioni sub-ottimali prese dagli agenti sottoposti possono essere facilmente corrette ed invertire; in altre parole, l'I.A. può ridurre la perdita di controllo conseguente alla delega di autorità.

Una terza ragione secondo cui l'I.A. può incoraggiare la decentralizzazione nel processo di decision-making è legata ai costi di coordinamento: può essere infatti costoso, per il principale, delegare decisioni ad unità del livello inferiore se questo ostacola il loro coordinamento; anche in questo caso l'I.A. può aiutare a superare il problema, riducendo il costo di monitoraggio e inducendo una maggior decentralizzazione dell'autorità, ad esempio eliminando i livelli intermedi nella gerarchia dell'impresa, o trasformando le unità dei livelli inferiori in centri di profitto o imprese pienamente indipendenti, o ancora attraverso un'integrazione orizzontale che vincola il principale a spendere tempo su altre attività. In generale, si può immaginare che lo sviluppo dell'I.A. in molti settori di frontiera porti a imprese più ampie e più integrate orizzontalmente, più piatte e con più centri di profitto, con un crescente numero di task affidato in outsourcing ad agenti indipendenti.

L'I.A. favorisce lo sviluppo di lavoratori autonomi principalmente per due ragioni: in primo luogo può indurre le imprese che utilizzano intensivamente l'I.A. ad affidare in outsourcing alcune attività, partendo da quelle condotte da personale non qualificato; in secondo luogo, rende più semplice per gli agenti indipendenti sviluppare la propria reputazione.

Tirole (2017) sostiene che vi siano almeno due motivi per cui un'impresa possa sopravvivere all'I.A.: in primo luogo alcune attività richiedono ingenti costi affondati e/o costi fissi significativi che non possono essere supportati da un singolo individuo; in secondo luogo, alcune attività comportano un livello di rischio tale da non essere supportabile da un solo agente.

A questo si aggiunge il tema dei costi di transazione, secondo cui l'integrazione verticale facilita le specifiche relazioni di investimento in situazioni di incompletezza contrattuale.

In aggiunta, risulta evidente che le prime attività candidate a diventare sempre più autonome grazie alla diffusione dell'I.A. sono quelle che comportano basso rischio e per le quali l'I.A. può aiutare lo sviluppo della reputazione individuale.

L'I.A. supporta il lavoratore autonomo nell'accumulo di capitale umano (o, diversamente, protegge dal rischio di deprezzamento conseguente alla perdita di un lavoro), soprattutto nei settori con un'alta diffusione dell'I.A.; l'interazione fra il lavoro autonomo e l'I.A. è inoltre condizionata dalle politiche di governo e dalle istituzioni (per aspetti quali, a titolo di esempio l'istruzione, l'assicurazione sociale, il reddito etc.).

Presumibilmente, un sistema educativo più performante ed un sistema assicurativo sociale più ampio dovrebbero incoraggiare i lavoratori autonomi a trarre vantaggio dalle opportunità fornite dall'I.A. e supportarli nell'incrementare competenze e reputazione e, di conseguenza, incrementare le prospettive di carriera futura.

Da un altro punto di vista, alcuni studiosi sostengono che l'I.A. abbia un effetto scoraggiante sui lavoratori autonomi in quanto abbassa le prospettive di un possibile futuro reintegro in un'impresa in quanto le imprese che impiegano massivamente l'I.A. riducono la domanda di lavoratori non qualificati.

#### 4.4 *Andamento della quota di capitale e impiego dell'automazione nei diversi settori*

I modelli che concettualizzano l'I.A., come una forza che aumenta l'automazione, suggeriscono che una ripresa dell'automazione possa essere vista, dal punto di vista del rendimento dei fattori, come un aumento di capitale. Lo dimostrano i recenti studi sull'aumento della quota di capitale negli Stati Uniti e nel resto del mondo.

Le Figure 13 e 14 mostrano come questo trend appartenga ad un ampio numero di settori, inclusi l'Agricoltura, l'Editoria, le Telecomunicazioni, la vendita all'ingrosso e al dettaglio.

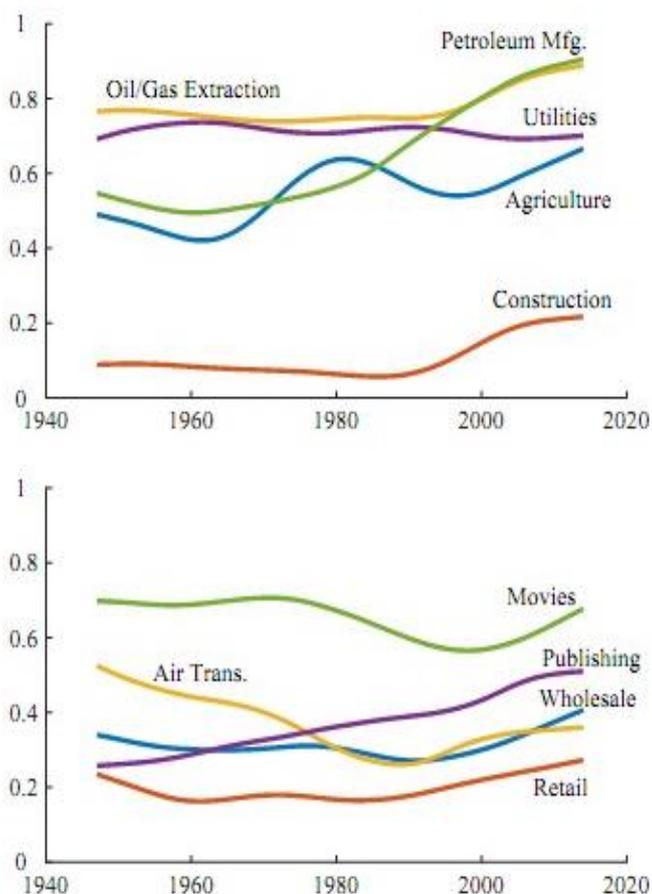
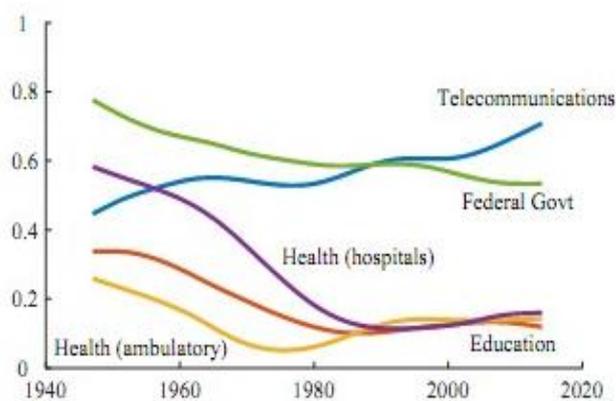
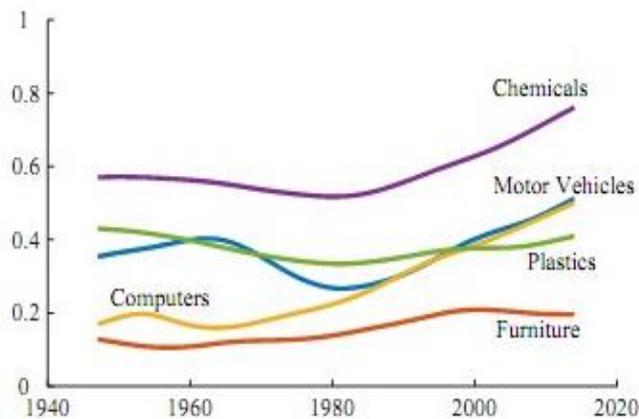


Figura 13 - U.S. Capital Share by Industry (1/2)



**Figura 14 - U.S. Capital Share by Industry (2/2)**

Il principale settore nel quale non si verifica tale trend è quello dei Servizi, inclusi l'Istruzione, il Governo e la Salute. In questi settori la quota di capitale è relativamente stabile o forse in leggera crescita a partire dal 1990.

In realtà il trend maggiore che si rileva in questo settore è quello verificatosi tra il 1950 e il 1980.

Sebbene quanto rilevato sia in linea con l'automazione (o meglio, con un incremento della stessa), la quota di capitale e di lavoro implicano molte altre forze economiche (una combinazione di effetti determina questo trend).

Fattori che contribuiscono all'incremento di capitale sono, ad esempio, quelli legati al grado di concentrazione dell'industria, al livello di markup e al cambiamento nella sindacalizzazione nel tempo. Risulta pertanto necessaria un'analisi più approfondita della quota dei fattori e dell'automazione prima di eventuali conclusioni.

La Figura 15 mostra la quota di capitale nella produzione dell'attrezzatura legata al trasporto in Europa e negli Stati Uniti.

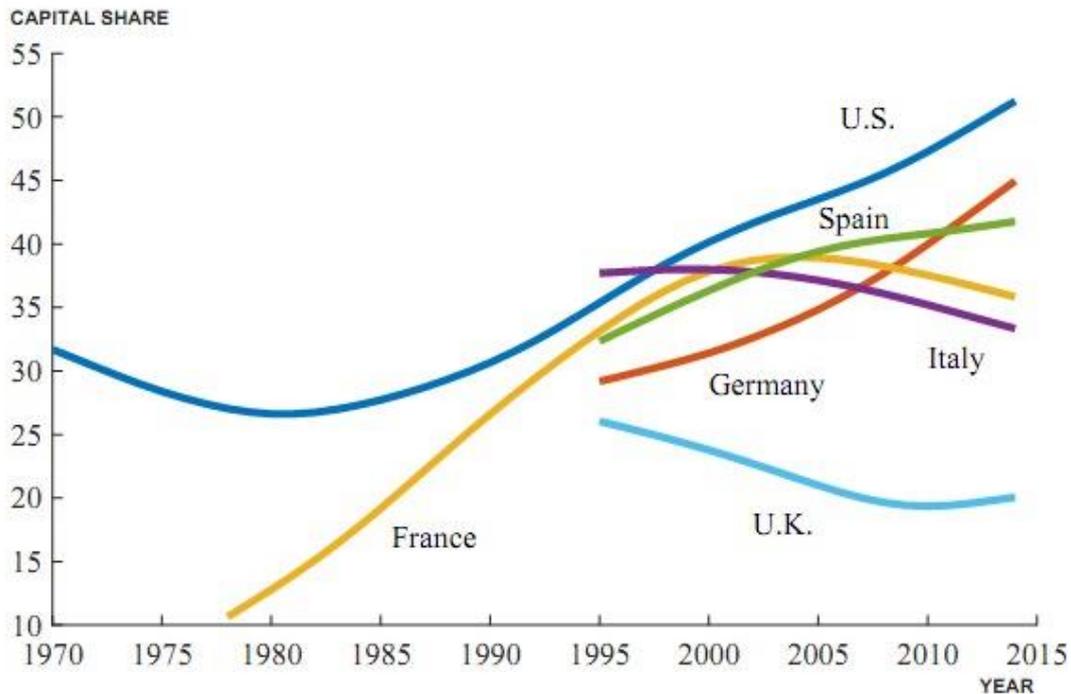


Figura 15 - The Capital Share for Transportation Equipment

Come evidenziato da Acemoglu e Restrepo, l'industria dei veicoli a motore è quella che ha di gran lunga investito più pesantemente nell'impiego dei robot industriali nelle ultime due decadi e risulta, pertanto, particolarmente interessante dal punto di vista dell'automazione.

La quota di capitale nell'equipaggiamento legato ai trasporti (inclusi i veicoli a motore, ma anche nell'ambito dei veicoli e della cantieristica) mostra un ampio incremento, nelle ultime decadi, negli Stati Uniti, in Francia, in Germania e in Spagna. Risulta interessante notare che l'Italia e la Gran Bretagna mostrano un declino in tal senso a partire dal 1995.

La differenza, in valore assoluto, nella quota di capitale nel medesimo settore nel 2014 passa da un massimo del 50% per gli Stati Uniti a un minimo del 20% per la Gran Bretagna.

Acemoglu e Restrepo utilizzano i dati della Federazione Internazionale dei Robot per studiare l'impatto dell'utilizzo dei robot industriali sul mercato del lavoro degli Stati Uniti (dato disponibile nel decennio dal 2004 al 2014).

La Figura 16 mostra la variazione della quota di capitale nel settore industriale in relazione all'uso di robot industriali.

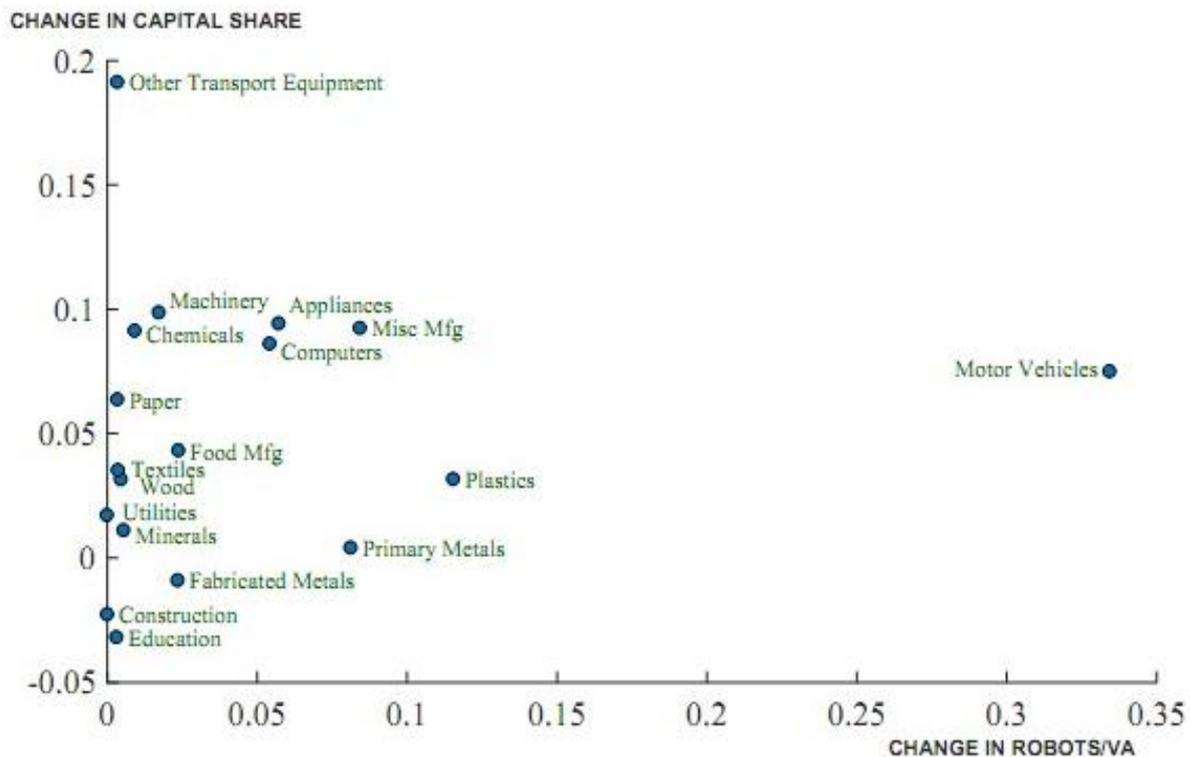


Figura 16 - Capital Share and Robots, 2004-2014

In primo luogo risulta evidente come il settore dei veicoli a motore sia, di gran lunga, quello a maggior impiego di robot industriali; più del 56% dei robot industriali comprati nel 2014 sono stati installati nel settore dei veicoli a motore. A seguire, meno del 12% è stato impiegato nel settore dei computer e prodotti elettronici.

In secondo luogo vi è una minima correlazione fra l'automazione misurata attraverso l'impiego di robot e il cambiamento nella quota di capitale tra il 2004 e il 2014.

Il livello complessivo di penetrazione dei robot è relativamente ridotto in relazione ad altre forze quali il potere di mercato, la sindacalizzazione ed effetti congiunti che muovono la quota di capitale in un modo difficile da identificare.

## 5 Intelligenza Artificiale, occupazione e redistribuzione del reddito

L'introduzione dell'I.A. è la continuazione di un lungo processo di automazione; i progressi nella meccanizzazione, raggiunti tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, hanno portato all'automatizzazione di molti dei lavori fisici eseguiti dall'uomo, mentre quelli nell'ambito dell'Information Technology, raggiunti nel corso del XX secolo, hanno standardizzato molti processi di elaborazione dei dati svolti dall'uomo.

In ogni caso, nonostante i progressi in esame, persistono ancora oggi molte attività lavorative che possono essere condotte unicamente dall'uomo.

Alcuni studiosi sostengono che l'I.A. sia unicamente l'ultima ondata di un lungo processo di automazione; altri, al contrario, sostengono che essa differisca notevolmente dal passato: la vicinanza con l'intelligenza umana comporta il rischio che il lavoro umano possa diventare obsoleto ed essere sostituito. Secondo quest'ultima ipotesi si ritiene che l'I.A. sia l' 'Invenzione Finale' (James Barrat, 2013) e che possa avere un potere distruttivo sul mercato del lavoro, a discapito di lavoratori di ogni professione e qualifica.

A titolo di esempio, è emerso da recenti studi che il 47% dei lavori che determinano l'economia degli Stati Uniti è a rischio sostituzione a causa dell'automazione conseguente all'impiego dell'I.A. nei relativi campi.

Impieghi nei quali recentemente l'I.A. ha superato quella umana includono molte applicazioni radiologiche, trading del mercato finanziario, lavori paralegali, assicurazioni, guida autonoma etc.

La misura di questa 'distruzione' può dipendere da due fattori: la velocità e la propensione al progresso determinato dall'I.A..

Il relazione al primo fattore si registra una crescita della produttività piuttosto lenta (sebbene il mondo sembri essere stato 'catturato' dall'I.A., come rileva Google Trend, secondo cui la ricerca del topic 'intelligenza artificiale' è quadruplicata negli ultimi quattro anni); qualora l'innovazione correlata con l'I.A. entrasse nell'economia al medesimo passo (come suggerito dalle statistiche sulla produttività) allora la transizione sarebbe anch'essa lenta e la distruzione risultante non sarebbe significativa.

In ogni caso, sono possibili tre alternative: nella prima, alcuni studiosi suggeriscono che la produttività sia sottostimata (ad esempio, non includendo in modo opportuno i miglioramenti qualitativi).

Le migliori stime disponibili attestano che tale problema sia limitato a pochi decimi di punto percentuale e, di contro, che ci siano anche alcuni deterioramenti nella produttività a non essere misurati quali, ad esempio, il peggioramento nella qualità del servizio determinato dall'automatizzazione del customer service.

In secondo luogo, il risultato aggregato del progresso nell'I.A. potrebbe seguire un modello in ritardo, come accadde con l'introduzione dei computer negli anni '80, il cui risultato fu visibile solo negli anni '90 a seguito di investimenti significativi e di riorganizzazione delle pratiche di business.

Infine, è possibile che si verifichi una significativa discontinuità nella crescita della produttività, come è stato suggerito dai sostenitori della singolarità tecnologica.

La distruzione generata dall'innovazione correlata con l'I.A. dipenderebbe dalla tipologia di quest'ultima, ovvero ad aumento o a risparmio del lavoro; tale innovazione potrebbe quindi portare ad una maggior o minor domanda di lavoro.

Alcuni studiosi sostengono che la funzione dell'I.A. sarà principalmente quella di assistere i lavoratori per incrementarne la produttività e che la corretta definizione del termine sia 'Intelligence Assisting Innovation' in luogo di 'Artificial Intelligence'; tale interpretazione risulterebbe corretta nel caso di alcune attività, quali l'applicazione dell'I.A. nella risoluzione di problemi; in realtà, secondo una prospettiva più ampia, si ritiene più probabile la sostituzione del lavoro umano e dei lavoratori.

Da questo punto di vista, la principale sfida conseguente alla diffusione dell'I.A. sarebbe legata alla redistribuzione del reddito.

Quanto si sta verificando negli ultimi anni comporta l'emergere di una possibilità, ovvero che l'innovazione possa portare alla ricchezza pochi individui in grado di fronteggiarne le sfide e lasciare indietro la grande maggioranza dei lavoratori ordinari, con un reddito di gran lunga inferiore a quello del picco dell'era industriale.

### *5.1 Relazione tra progresso tecnologico e benessere sociale*

L'analisi delle conseguenze del progresso tecnologico sul benessere sociale necessita di una definizione primaria della situazione di mercato.

Una prima ipotesi semplicistica si basa sul presupposto di piena conoscenza, a priori, di tutti i possibili rischi di mercato, con conseguente possibilità da parte di tutti gli agenti di tutelarsi in relazione a tali rischi; tale situazione non trova riscontro nella realtà, e ciò implica il ricorso alla redistribuzione del reddito generato dall'innovazione al fine di compensare le perdite subite da una determinata tipologia di agenti e assicurare che il progresso tecnologico conduca, in ultimo, ad un miglioramento paretiano.

In condizioni di mercato perfetto, con costi di redistribuzione ridotti o pari a zero, è ancora possibile raggiungere il supporto unanime al progresso tecnologico; al contrario, nel caso in cui tali costi appaiano significativi, non risulta possibile compensare gli agenti danneggiati dall'innovazione e questo genera opposizione al progresso.

Una situazione maggiormente ostile si verifica in condizioni di mercato imperfetto, dove la frontiera dell'utilità paretiana si sposta verso l'interno (alcuni individui risultano necessariamente danneggiati).

Risulta difficile stabilire quale modello sia in grado di descrivere correttamente l'economia reale; la condizione maggiormente applicabile è quella di mercato imperfetto con presenza di costi di redistribuzione (si esclude, quindi, la prima ipotesi); sulla base dell'ammontare di tali costi si può assistere a situazioni che ricadono nel caso 1 (costi tendenti a zero), nel caso 3 (costi significativi) o, in ultimo, nel caso 4 (mercato imperfetto ed alti costi di redistribuzione).

### *5.1.1 Condizioni di mercato perfetto ex-ante*

Si consideri un mercato perfetto, anche in relazione al rischio di mercato, il quale consenta agli individui di assicurarsi contro il verificarsi di innovazioni prima di conoscere il proprio ruolo (lavoratore o innovatore); secondo una prospettiva ex-ante, un compenso riconosciuto al lavoratore per la perdita generata dal progresso tecnologico è legato ad una questione di efficienza economica, non di redistribuzione.

Nel caso in cui il rischio di mercato fosse perfetto ed accessibile a tutti gli agenti (prima che questi conoscano la loro collocazione nell'economia), questi ultimi sarebbero assicurati contro qualunque rischio significativo possa intaccare il loro benessere, incluso il rischio che l'innovazione possa ridurre il valore dei loro beni (ad esempio, un lavoratore sarebbe assicurato contro il rischio di riduzione del salario).

In questo modo, qualora si verificasse un'innovazione, il 'vincitore' compenserebbe il 'perdente' in ragione della ripartizione ottimale del rischio; il progresso tecnologico migliorerebbe la condizione di tutti gli agenti e sarebbe supportata da un'unanimità politica.

In un mercato ideale emergerebbe, in modo naturale, una forma di redistribuzione.

Il 'perdente' esisterebbe solo nel caso in cui il rischio di mercato fosse imperfetto, ovvero nel caso in cui il progresso tecnologico che determina la sostituzione dei lavoratori imponesse una spesa pecuniaria sui lavoratori stessi.

Le misure politiche finalizzate a ridurre tale esborso (quali, ad esempio, i programmi di redistribuzione) rendono l'allocazione economica più efficiente nel caso di una prospettiva ex-ante.

Nella pratica, però, anche dopo aver scoperto il ruolo di lavoratore, la maggior parte dei lavoratori sostituiti dal progresso tecnologico non possiede un contratto assicurativo opponibile alla sostituzione. Vi sono quindi buone ragioni per attestare che non esiste nel mondo reale un mercato del rischio ideale.

In primo luogo, l'estensione limitata della vita umana rende difficile la definizione di contratti assicurativi che possano coprire più generazioni.

I lavoratori avrebbero dovuto ottenere simili contratti molto tempo fa, ovvero prima che l'I.A. fosse concepita e le sue implicazioni fossero chiare, quando il premio associato sarebbe stato relativamente contenuto. Al giorno d'oggi una tale assicurazione richiederebbe un ammontare molto alto in quanto la possibilità che il rischio si realizzi è reale.

Secondo questa prospettiva, il primo 'danno assicurabile' per l'individuo si verifica nel momento in cui la probabilità che si verifichi un'innovazione diventa non trascurabile; di conseguenza il premio assicurativo richiesto per livellare il reddito diventa significativo ed il benessere si riduce. A quel punto l'individuo potrebbe voler comprare un'assicurazione contro il rischio di aumento del premio della sua primaria assicurazione.

In un mercato perfetto, il mercato dell'assicurazione dovrebbe tornare indietro nel tempo alla data in cui si era verificata una probabilità trascurabile di accadimento di un'innovazione; è possibile però che nel momento in cui l'I.A. era stata definita in modo abbastanza preciso da risultare un evento assicurabile tale evento avesse una probabilità di accadimento diversa da zero.

Si evidenzia inoltre che il mercato del rischio, sebbene per periodi limitati, non è perfettamente chiaro rispetto ai cambiamenti tecnologici, principalmente a causa di problemi di informazione, fra i quali si evidenziano:

#### Descrizione delle condizioni dello spazio

Risulta difficile definire un contratto su qualcosa che non è ancora stato inventato; la soluzione sarebbe assicurare un individuo contro ogni evento tecnologico che possa determinare una riduzione del salario.

#### Selezione avversa

Alcuni individui presenti nel mercato possiedono più informazioni di altri. In un mercato ideale i 'vincitori' dell'innovazione (ovvero gli imprenditori), sicuramente in possesso di maggiori informazioni, dovrebbero fornire l'assicurazione ai 'perdenti' (ovvero i lavoratori).

#### Azzardo morale

L'innovazione potrebbe essere affetta dal problema dell'azzardo morale: la presenza dell'assicurazione potrebbe condizionare la probabilità che l'evento assicurato accada. In un mondo assicurativo perfetto i vincitori dovrebbero assicurare i perdenti; in realtà, se gli innovatori dovessero assicurare completamente tutti i loro guadagni derivati dall'innovazione, essi non sarebbero incentivati ad esercitare il minimo sforzo nella ricerca. Di conseguenza l'assicurazione totale potrebbe risultare impossibile da realizzare.

#### Assicurazione e redistribuzione

Nel caso in cui non si verifichi la condizione di mercato assicurativo perfetto 'dietro il velo dell'ignoranza', risulta generalmente necessaria una redistribuzione.

Qualora i lavoratori fossero riusciti a stipulare un'assicurazione contro i rischi associati all'innovazione nel momento esatto in cui l'I.A. è stata concepita, essi dovrebbero pagare un premio assicurativo per proteggersi e, di conseguenza, si ritroverebbero in una condizione peggiorativa rispetto agli innovatori.

##### *5.1.2 Mercato perfetto ex-post e nessun costo di redistribuzione*

Nel caso in cui la redistribuzione fosse a costo zero e realizzata in modo ottimale, il progresso tecnologico sarebbe desiderato da ogni agente e supportato dall'unanimità politica.

Considerando una situazione di soluzione migliore 'ex-post', la curva di possibilità di Pareto si allontana e l'utilità aumenta (Figura 17).

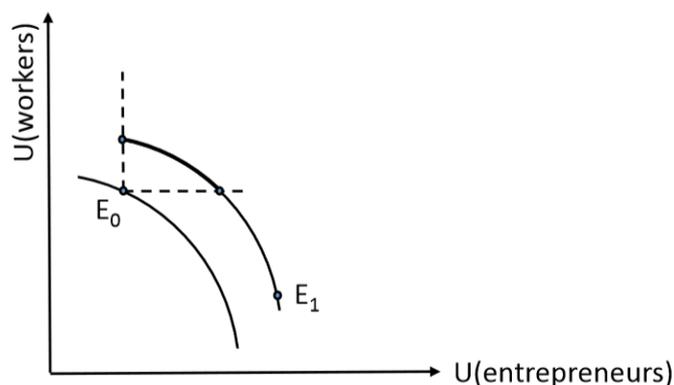


Figura 17 - Pareto frontier before and after innovation with costless redistribution

La figura rappresenta la frontiera di utilità possibili per due tipologie di agenti, i lavoratori e gli imprenditori; nell'esempio mostrato, il progresso tecnologico aumenta il livello massimo di utilità dell'imprenditore dato qualsiasi livello di utilità per il lavoratore.

L'innovazione aumenta la possibilità di crescita della produzione e, considerata un'immediata redistribuzione, ciò implica un'espansione nelle utilità possibili, ovvero una situazione potenzialmente migliorativa per tutti gli agenti.

L'effettivo verificarsi di una situazione migliorativa dipende dagli accordi istituzionali. In questo caso non si può parlare di equilibrio in un mercato competitivo bensì di regolamentazione (ad esempio per quanto concerne la proprietà intellettuale e le politiche anti-trust) nonché tasse e altre politiche.

Gli equilibri  $E_0$  ed  $E_1$  sono quindi da considerarsi prima e dopo l'innovazione; il secondo equilibrio risulta peggiorativo per il lavoratore in quanto si tratta di un'innovazione a riduzione di lavoro ovvero, in relazione ad un dato salario, un'innovazione che porta ad una riduzione della domanda di lavoro, come nel caso dell'I.A..

Ciò comporta due significativi effetti: in primo luogo, spinge i lavoratori ad opporsi all'innovazione. Il Luddismo, movimento che si oppose all'automazione nel settore tessile nella prima metà del XIX secolo in Inghilterra, è la risposta razionale dei lavoratori che si trovano in una condizione peggiorativa a causa dell'automazione e non vengono adeguatamente compensati.

In secondo luogo, in una democrazia nella quale i lavoratori sono in maggioranza, sarebbe opportuno che gli innovatori lungimiranti supportassero la redistribuzione per evitare che questi ultimi vengano a trovarsi in una condizione peggiorativa. Attraverso un'adeguata redistribuzione, infatti, otterrebbero beneficio sia i lavoratori che gli innovatori e si creerebbe unanimità politica nel sostenere il progresso tecnologico.

Importanti dibattiti si potrebbero creare sull'ammontare della compensazione che dovrebbero ricevere i lavoratori; da una parte si dovrebbe discutere sulla distribuzione del surplus generato dall'innovazione, dall'altra un'innovazione a risparmio di lavoro porta ad una

riduzione dei salari e, di conseguenza, ad una redistribuzione dai lavoratori ai detentori di capitale, cosa che richiederebbe una compensazione.

Per determinare la corretta divisione del guadagno generato dall'innovazione è necessario prendere in esame molteplici principi filosofici e comportamenti economici.

Gli innovatori detengono il potere di stabilire la divisione dei guadagni mentre i lavoratori hanno il potere di accettare o rifiutare. Si tratta del gioco dell'ultimatum, secondo il quale alcuni dei profitti generati dall'innovazione devono essere condivisi con i lavoratori. Nel caso in cui questi ultimi ritenessero ingiusta tale distribuzione potrebbero preferire la situazione peggiorativa precedente (ovvero quella in assenza di innovazione) piuttosto che accettare una condizione indifferente rispetto alla precedente.

### 5.1.3 Mercato perfetto ex-post con redistribuzione onerosa

Nel caso in esame, la frontiera delle possibili utilità è limitata dai costi imposti dalla redistribuzione. Sebbene possa sembrare che l'innovazione migliori la condizione di tutti dal punto di vista tecnologico, in realtà ciò non avviene a causa delle limitazioni imposte dall'attuale situazione istituzionale ed economica; risulta pertanto inevitabile una perdita di utilità per i lavoratori (Figura 18).

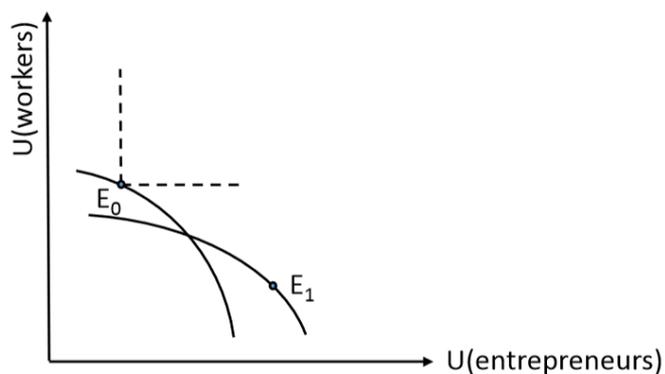


Figura 18 - Potential Pareto frontier with costly redistribution

Secondo alcuni economisti, il trasferimento di reddito dagli innovatori ai lavoratori comporta una tale perdita di guadagno da peggiorare, in ogni caso, la situazione dei lavoratori. In questa situazione non è possibile parlare di innovazione come di miglioramento paretiano; l'innovazione diventa un semplice cambiamento, con l'effetto di migliorare la condizione di alcuni agenti e peggiorare quella di altri, determinando una situazione di contenzioso.

I lavoratori danneggiati si oppongono razionalmente all'innovazione; se questi ultimi costituiscono la maggioranza e gli innovatori desiderano mantenere la loro posizione, risulta necessario, per gli innovatori, pensare attentamente a come applicare una redistribuzione (a livello collettivo).

Il risultato porta gli innovatori a dedicare maggiore sforzo nell'incrementare il loro potere di mercato e nel non pagare tasse (attraverso evasione fiscale o sfruttamento di lobby politiche nell'ambito di esenzioni speciali).

In questo modo gli innovatori, correndo il rischio di suscitare l'opposizione politica all'innovazione, agiscono indebolendo il sistema fiscale riducendo le risorse pubbliche necessarie a sostenere il benessere dei lavoratori colpiti dall'innovazione.

Secondo la teoria economica di lungo corso denominata "trickle-down", innovazioni ripetute potrebbero incrementare il benessere degli innovatori al punto che i benefici, a cascata, sarebbero percepiti anche dai lavoratori.

In questo modo un miglioramento paretiano sarebbe sempre possibile nel lungo periodo, a discapito però di un'intera generazione di lavoratori colpita nel breve-medio periodo.

Un esempio è fornito dalla prima rivoluzione industriale, durante la quale i lavoratori sono riusciti ad ottenere sufficiente capitale umano (elargito pubblicamente e nell'interesse degli innovatori) da raggiungere un quasi totale incremento dei salari.

In realtà, una volta raggiunto un elevato livello di innovazione nelle macchine, è possibile che gli innovatori non abbiano più incentivo a supportare i finanziamenti pubblici e l'accumulo di capitale umano determinando una decrescita nello standard di vita dei lavoratori; in particolare, in un sistema politico dominato dal denaro, gli innovatori, sempre più ricchi, potrebbero utilizzare la loro influenza economica e politica per opporsi alla redistribuzione.

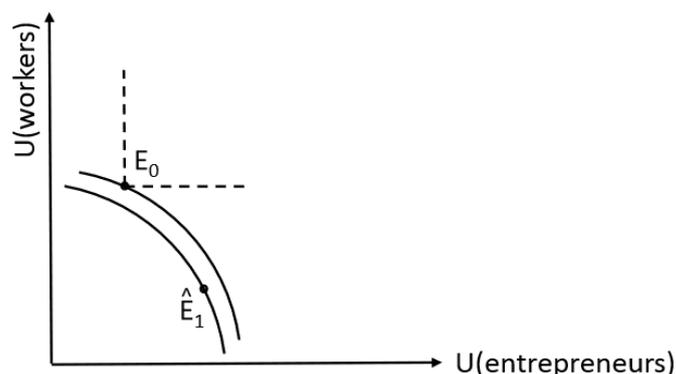
In conclusione risulta difficile stabilire il costo di una redistribuzione in quanto il mercato è strutturato da leggi e regolamenti che possono essere più o meno radicate; il risultato è a sua volta soggetto a tasse e trasferimenti che possono avere effetti sulla redistribuzione.

#### *5.1.4 Mercato imperfetto*

Si considera il caso in cui l'economia non si trovi in una condizione di ottimo ex-post; la frontiera delle possibili utilità potrebbe muoversi verso l'interno in risposta ad un'espansione delle possibilità di produzione; ciò potrebbe verificarsi anche in presenza di una redistribuzione priva di costi.

In una condizione di mercato imperfetto, ovvero una situazione in cui si verificano problemi di informazione, mercati mancanti, rigidità dei prezzi e dei salari che si trasformano in problemi nella domanda aggregata, monopoli e monopsoni, un equilibrio di mercato non è Pareto efficiente. In questo caso la frontiera delle possibili utilità rappresenta la massima utilità per i lavoratori data quella degli imprenditori e considerando i problemi di mercato.

Partendo da una condizione di equilibrio iniziale un'innovazione, che dovrebbe portare ad aumentare l'efficienza in assenza di imperfezioni di mercato, porta i lavoratori in una condizione peggiorativa anche in assenza di costi di redistribuzione; non vi sono possibilità di migliorare contemporaneamente sia le condizioni dei lavoratori che quelle degli imprenditori (Figura 19).



**Figura 19 - Potential Pareto frontier with market imperfections**

Un esempio rilevante viene fornito da quanto accaduto nel settore agricolo tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo; si è assistito infatti ad un crollo nei prezzi così come nelle entrate delle aziende e dell'intero settore agricolo. I costi necessari per sostenere la mobilità verso le zone urbane ha portato ad esaurire il capitale e a ridurre il valore di tali aziende, portandole alla bancarotta a seguito di forte indebitamento. Le condizioni di imperfezione del mercato del capitale (ovvero di asimmetria informativa) hanno determinato, per gli agricoltori, l'impossibilità di richiedere prestiti per muoversi verso le città nella speranza di un nuovo lavoro; il crollo delle entrate ha determinato il crollo nell'acquisto di beni prodotti nel settore manifatturiero portando sia i lavoratori del settore rurale che quelli del settore urbano ad una condizione peggiorativa (interpretazione della Grande Depressione).

In aggiunta, gli attuali standard mostrano che liberi scambi possono portare tutti gli agenti in una condizione peggiorativa in assenza di adeguati mercati del rischio.

In altri termini, in una situazione di mercato imperfetto, innovazioni ed implementazioni possono deteriorare il benessere complessivo.

Vi sono ragioni per credere che alcune innovazioni nel mercato finanziario quali, a titolo di esempio, i prodotti finanziari strutturati e alcuni derivati come i credit default swap, soprattutto nel caso di assenza di un'appropriata regolamentazione, abbiano contribuito alla Grande Recessione.

## *5.2 Progresso tecnologico endogeno e globalizzazione*

In generale, i profitti privati generati dall'innovazione differiscono da quelli sociali.

La scelta ottimale dell'innovazione, a livello privato, può spostare la frontiera delle possibili utilità verso l'interno anche nel caso in cui vi sia redistribuzione non onerosa e l'economia abbia raggiunto il primo ottimo ex-post. Si potrebbe generare un miglioramento paretiano intervenendo nel processo di innovazione, ad esempio riducendo il risparmio di lavoro. Di contro, questo tipo di intervento non è applicabile nel caso dell'I.A..

Molti effetti generati dai cambiamenti tecnologici in generale, e dall'I.A. in particolare, sono simili a quelli generati dalla globalizzazione; quest'ultima, infatti, può essere vista come un cambiamento nella tecnologia, quella degli scambi con il resto del mondo.

In particolare, gli scambi tra i paesi avanzati e quelli in via di sviluppo sono ‘labor saving’: la domanda di lavoratori non qualificati o lavoratori in generale diminuisce ad ogni dato salario, determinando un peggioramento della condizione dei lavoratori sebbene la curva della produzione e quella delle utilità si muovano verso l’esterno.

Si presume, quindi, che il guadagno di capitale debba essere tassato per poter provvedere alla redistribuzione.

Uno degli effetti dell’innovazione è la creazione di potere di mercato; analogamente, una delle conseguenze della globalizzazione è l’indebolimento del potere di mercato dei lavoratori in quanto il mercato del lavoro non è perfettamente competitivo. Per raggiungere un miglioramento paretiano nella globalizzazione è necessario un maggior sforzo nella compensazione e nel cambiamento delle regole istituzionali.

### *5.3 Progresso tecnologico e canali di ineguaglianza*

Il progresso tecnologico può condizionare la distribuzione di risorse e l’ineguaglianza attraverso due principali canali: in primo luogo attraverso il surplus di guadagno degli innovatori; nel secondo caso attraverso l’effetto sugli altri agenti dell’economia.

#### *5.3.1 Il surplus di guadagno degli innovatori*

La tecnologia è un’informazione non rivale (ovvero può essere utilizzata senza essere esaurita) ed escludibile (altri possono essere esclusi dall’ottenere o utilizzare tale tecnologia, attraverso l’utilizzo del segreto industriale o di altre forme di diritto di proprietà intellettuale, quali il copyright o il brevetto).

Questa esclusività può comportare un potere di mercato per l’innovatore tale da permettergli di imporre un determinato prezzo ed ottenere un conseguente surplus di guadagno.

Le società devono affrontare una difficile decisione nel determinare il livello ottimale di innovazione; tale risultato è potenzialmente raggiungibile attraverso il libero accesso ai risultati conseguiti grazie all’innovazione.

Questo modello di finanziamento è comune nell’ambito della ricerca di base e ha permesso di ottenere innovazioni significative nel corso della storia quali, ad esempio, l’invenzione di internet.

Una soluzione strettamente correlata è la produzione di innovazione non a scopo di lucro, come nel caso della tecnologia open source, ampiamente utilizzata nell’ambito dello sviluppo software e dell’I.A..

In molti casi sono gli agenti privati ad emergere nella produzione di innovazione, attendendosi il conseguente guadagno. Il surplus ottenuto rappresenta un importante incentivo e spesso comporta un aumento del potere di mercato, in particolare in presenza di un sistema di “Intellectual Property Rights” (o IPR), portando in genere ad una condizione di inefficienza rispetto all’allocazione generata dall’innovazione distribuita come bene pubblico.

È possibile distinguere i casi in cui un innovatore è in grado di ottenere un guadagno grazie all'innovazione: in primo luogo tale surplus si genera quando l'accesso all'attività di innovazione è limitato (ad esempio quando l'innovazione è legata a competenze possedute da un numero limitato di persone).

Un'altra tipologia di restrizione è quella legata alla struttura di mercato: nel caso di una competizione "à la Bertrand", la prima impresa a sviluppare un'innovazione costosa può beneficiare di una posizione di monopolio, in quanto è in grado di disincentivare potenziali competitori riducendo i prezzi al livello dei costi marginali e impedendo loro di recuperare l'investimento legato all'innovazione.

Nel secondo caso, qualora l'attività di innovazione risulti contestabile, in quanto esiste un ampio insieme di potenziali innovatori con pari competenze, allora i guadagni attesi dall'attività di innovazione tenderanno a zero, ovvero non vi sarà vantaggio, dal punto di vista dell'entrata marginale, nell'innovare oppure no.

Nel contesto delle nuove tecnologie si evidenzia una non equa distribuzione dei profitti, con un ridotto numero di imprenditori in grado di guadagnare enormi profitti e un'ampia maggioranza di questi ultimi con guadagni ridotti.

#### *5.4 Politiche per ripartire il surplus degli innovatori*

Una delle principali cause di crescita dell'ineguaglianza è legata all'aumento delle rendite, incluse quelle generate dall'innovazione; tassare e redistribuire tali guadagni riveste un'importanza rilevante nell'assicurare il raggiungimento di un miglioramento paretiano.

In questo senso, le politiche anti-trust e la riduzione dei prezzi determinata dalla competizione concorrono nel raggiungimento di tale obiettivo: in realtà, secondo la prospettiva dei lavoratori non qualificati che risultano danneggiati dall'innovazione, la tassazione delle rendite risulterebbe più efficace della riduzione dei prezzi, che andrebbe invece a favorire ulteriormente coloro i quali detengono potere di spesa.

Un cambiamento nel sistema di protezione IPR, in grado di incentivare l'innovazione ed estende il potere di mercato degli innovatori, unitamente ad una ricerca pubblica e a rigide normative sulla competizione, consentono la riduzione di scopo di monopolio.

Le recenti innovazioni, comprese quelle che hanno condotto alla scoperta dell'I.A., si basano su importanti contributi pubblici; tali contributi corrispondono ad una spesa a carico della collettività e come tale forniscono ai cittadini diritti sulla rendita generata dall'innovazione; i lavoratori dovrebbero diventare azionisti delle società private allo stesso modo di shareholder ed innovatori.

#### *5.5 Esternalità legate all'innovazione*

L'innovazione determina una redistribuzione che coinvolge anche altri agenti economici non direttamente coinvolti nel processo di innovazione (ad esempio, lavoratori che subiscono una

progressiva diminuzione della domanda del loro lavoro); tale fenomeno può essere visto come un'esternalità legata all'innovazione e si connota in relazione all'aspetto pecuniario.

### Esternalità pecuniarie

Tra le principali implicazioni determinate dai cambiamenti tecnologici vi è il condizionamento del prezzo dei fattori di produzione (inclusi i salari) e dei beni prodotti; l'innovazione normalmente porta ad una variazione nella domanda dei fattori di produzione e, all'equilibrio, ad una variazione dei loro prezzi (in particolar modo dei salari).

Tale esternalità determina il fabbisogno di una redistribuzione, potenzialmente onerosa: ciò comporta un'inefficienza di mercato rispetto alla situazione ideale di equilibrio ex-ante.

### Politiche per arginare la riduzione dei salari

Vi sono diverse politiche per contrastare la riduzione dei salari sperimentata dai lavoratori sostituiti dalle macchine (nella maggior parte dei casi, in relazione ad attività che non prevedono qualifica); fra queste, gli stipendi di sussidio e la riduzione delle tasse.

Se il potere contrattuale è sbilanciato verso i datori di lavoro, un aumento del salario minimo può aiutare ad assicurare che nessun dipendente full-time cada in condizioni di povertà. Inoltre, assicurare un'alta domanda aggregata (e, in questo modo, un basso tasso di disoccupazione) può aumentare il potere contrattuale dei lavoratori e portare a stipendi più alti.

Altre politiche che mirano ad incrementare la domanda di lavoratori non qualificati includono salari più alti ed incremento nelle spese e negli investimenti legati al settore pubblico; tali manovre vengono finanziate attraverso misure quali, ad esempio, le ecotasse sulle emissioni, affrontando così, al tempo stesso, due problematiche salienti (ovvero i cambiamenti climatici e l'ineguaglianza).

### Esternalità non pecuniarie

L'innovazione può generare esternalità non pecuniarie su agenti diversi dagli innovatori; un classico caso è quello legato alle esternalità tecnologiche (ad esempio, nel caso di un'innovazione che genera un bene pubblico, se questo aumenta o riduce il tasso di inquinamento).

L'innovazione può condizionare la quantità domandata, la probabilità di comprare o vendere un bene o un fattore, o ancora la probabilità di generare disoccupazione.

Alcuni effetti possono essere interpretati sia come esternalità pecuniarie che non: innovazioni di prodotto possono determinare una variazione dei prezzi o supportare la creazione di una gamma di servizi al consumatore resi disponibili per il prodotto.

### *5.5.1 Esternalità pecuniarie statiche e dinamiche nel processo di sostituzione dei lavoratori*

Si assume una tecnologia di produzione che combini capitale e lavoro in una funzione a rendimenti di scala costanti e dove il lavoro consista nella somma del lavoro umano e delle macchine (perfettamente sostituiti tra loro).

Risulta interessante capire quali cambiamenti una tecnologia in grado di sostituire i lavoratori possa determinare sui salari nel breve e lungo termine e cosa possano fare le istituzioni in merito.

In un equilibrio competitivo, il salario è determinato dalla produzione marginale del lavoro; secondo una prospettiva di breve periodo, aumentando di un'unità marginale il lavoro delle macchine i salari diminuiscono ma aumenta il guadagno generato da fattori complementari con risultanza somma zero; in prima istanza, l'unità aggiuntiva di lavoro delle macchine porta ad un guadagno marginale; in seguito si verifica una redistribuzione tra il lavoro e il capitale che tende a ridursi. Il guadagno di capitale corrisponde esattamente alla perdita dello stock di lavoro.

La redistribuzione generata dal progresso tecnologico può essere vista come un'esternalità pecuniaria: le perdite generate nei lavoratori, in termini di riduzione del salario, e i guadagni ottenuti dai detentori di altri fattori risultano inefficienti.

L'aggiunta del lavoro delle macchine determina una redistribuzione dal lavoro umano ai fattori complementari, ma il risultato ottenuto non è legato al fattore complementare stesso (capitale o terreno, lavoro qualificato o non qualificato); un trasferimento compensativo da questi ultimi ai lavoratori annulla tale guadagno inatteso e riconduce alla situazione di benessere precedente.

La politica può interrompere tale redistribuzione tassando il guadagno atteso e bloccando il sistema del prezzo ai margini. Il risultato porta ad una funzione di produzione a rendimenti di scala decrescenti qualora interpretassimo i guadagni ottenuti dai detentori della tecnologia come compenso per il fattore implicito "imprenditorialità" inserito all'interno della redistribuzione a somma zero.

Si evidenzia quindi come l'applicazione di tasse su fattori precedentemente accumulati, e che in seguito abbiano portato ad un eccesso di guadagno inaspettato, non siano distorsivi.

Nel lungo periodo, il cambiamento tecnologico che porta alla sostituzione dei lavoratori conduce a significativi cambiamenti economici.

Questo implica che il principale ostacolo nell'output di produzione, ovvero la scarsità di lavoro, possa essere in ultima istanza superato; il risultato finale conduce all'accumulo di grandi quantità di fattori complementari.

Nel caso in cui non solo il capitale ma anche il lavoro fosse riproducibile a costi sufficientemente contenuti, l'economia crescerebbe in modo esponenziale guidata unicamente dall'accumulo di fattori, anche in assenza di ulteriori cambiamenti tecnologici.

La dinamica di questa transizione, dove le macchine sono create da altre macchine con un'efficienza crescente o quantomeno costante, il costo di produzione diminuisce.

Risulta quindi identificabile un punto di singolarità nel quale diventa economicamente vantaggioso sostituire completamente il lavoro umano. In un caso semplificato, nel quale i

fattori complementari portano al cambiamento senza attriti, il salario potrebbe rimanere invariato in quanto il capitale aumenterebbe in proporzione al lavoro effettivo (umano e delle macchine), così come la produttività marginale del lavoro, lasciando invariato il salario stesso.

Gli investimenti verrebbero allocati fra le macchine convenzionali e i robot in sostituzione del lavoro umano e i guadagni sarebbero uguali al tasso marginale di sostituzione nel corso del tempo.

Assumendo che i lavoratori avessero interesse per le loro entrate unicamente in termini assoluti, nonostante la crescente percentuale di lavoro erogata attraverso le macchine a discapito della quota di lavoro umano tendente allo zero, i lavoratori non risulterebbero penalizzati dall'I.A..

Quando i fattori risultano lenti alla trasformazione, lo schema di transizione può risultare complesso, con una domanda di lavoro umano decrescente in maniera temporanea; la fase di transizione dipende da quanto velocemente lo stock di capitale sia in grado di sostituire lo stock di lavoro.

Assumendo che il capitale segua una logica “putty-putty” (ovvero che l'investimento di capitale fatto prima dell'arrivo dell'I.A. sia ugualmente produttivo anche dopo e che il lavoratore sia identico al robot), qualora lo stock di capitale aumentasse in maniera anticipata rispetto all'aumento della fornitura di macchine, in uno stadio intermedio i salari potrebbero anche aumentare.

In realtà i lavoratori risulterebbero in ogni caso danneggiati dal lavoro svolto dalle macchine stante la presenza di fattori complementari non riproducibili e scarsamente forniti, come la terra e altre risorse naturali; tali fattori potrebbero limitare la crescita portando i salari reali alla diminuzione e i possessori di tali risorse ad assorbire tutte le rendite.

Se da un lato la fornitura di lavoro sarebbe in grado di proliferare grazie all'introduzione delle macchine, dall'altro gli agenti dell'economia arriverebbero alla competizione per le risorse scarse e non riproducibili aumentandone il prezzo.

La medesima questione si verificherebbe per i beni di consumo: fermo restando la possibilità di riprodurre tutti i fattori legati alla produzione, così da aumentare i risultati e lasciare invariati i salari dei lavoratori, la competizione per le risorse fisse che sono parte del basket di consumo (ad esempio i terreni per la costruzione di case) determinerebbe una condizione peggiorativa per i lavoratori, soprattutto nel contesto urbano dove questi ultimi riuscirebbero ad ottenere solo le case meno costose allocate in periferia spendendo molto tempo nel pendolarismo; l'I.A., in questo modo, porterebbe ad una riduzione della loro utilità.

Anche in questo caso, la redistribuzione dai lavoratori ai proprietari di fattori non riproducibili è a somma zero; dal momento che le tasse su fattori non riproducibili sono, per definizione, non distorsivi, è possibile procedere con una redistribuzione non distorsiva.

Fino a quando il rendimento generato dalle tasse non distorsive sui fattori risulta possibile, l'innovazione sostitutiva del lavoro umano può ancora condurre ad un miglioramento paretiano.

### *5.5.2 Redistribuzione del surplus degli innovatori attraverso il cambiamento nelle istituzioni*

Nel caso in cui la redistribuzione totale sia inapplicabile, possono essere effettuati altri cambiamenti istituzionali in grado di realizzare distribuzioni di mercato favorevoli per i lavoratori.

Un cambiamento nei diritti di proprietà intellettuale, quale la riduzione nella durata della protezione, può redistribuire parte del surplus degli innovatori ai lavoratori (o consumatori) per ridurre l'esternalità pecuniaria subita dai salari e consentire un'ampia condivisione dei benefici dell'innovazione.

Se l'innovazione produce come risultato una riduzione dei costi di produzione, allora l'innovazione stessa usufruisce del beneficio di profitti più alti nel periodo di copertura del brevetto; in seguito alla scadenza dello stesso, la società beneficia in termini di prezzi più bassi. Il trade-off è dovuto al fatto che ridurre la durata della copertura di un brevetto può ridurre l'incentivo all'innovazione. In realtà, secondo quanto sostiene la teoria del secondo ottimo, esiste una generica durata ottimale per ciascun brevetto, tale per cui permangono alcune innovazioni e durante le quali il benessere dei lavoratori viene preservato.

Con esternalità di network, anche in seguito al termine del brevetto, l'innovatore è in grado di preservare una posizione dominante e continuare a guadagnare un surplus dalla sua innovazione. Attraverso le tasse sui profitti di monopolio, è possibile assicurare che l'innovazione porti ad un miglioramento paretiano e che il cambiamento tecnologico che conduce alla sostituzione dei lavoratori possa incentivare il benessere degli stessi.

### *5.5.3 Fattori a favore del cambiamento tecnologico e il ruolo del settore dei servizi*

I cambiamenti tecnologici possono non solo portare alla sostituzione dei lavoratori, ma anche a rendere le macchine esistenti più produttive, riducendo il rendimento del capitale tradizionale.

Assumendo che la terra diventi fattore vincolante, una volta che le macchine abbiano completamente sostituito il lavoro umano, e che l'elasticità di sostituzione fra la terra e gli altri fattori (quali il capitale e il lavoro) sia inferiore a uno, la quota legata al terreno crescerebbe nel tempo generando il risultato che, nel lungo periodo, il progresso tecnologico sia mirato all'aumento della terra. Se la funzione di produzione avesse rendimenti di scala costanti in riferimento alla terra, al lavoro e al capitale tradizionale, allora il tasso di crescita di lungo periodo sarebbe determinato dal ritmo con cui il cambiamento tecnologico porta ad un aumento della terra.

Attualmente il progresso incentrato sull'I.A. si è focalizzato su alcuni settori dell'economia, quali quello manifatturiero, in ragione della riduzione di costo risultante e dell'evoluzione dell'economia verso il settore dei Servizi; fra i servizi chiave del settore vi sono l'Educazione, la Salute, la Difesa e altri servizi pubblici. Il valore di tali servizi non è determinato dal mercato, bensì dalla società; se questi servizi vengono valutati come importanti essi prevedono un buon salario, buone condizioni lavorative e creano un numero sufficiente di

posti di lavoro, limitando l'ineguaglianza. Il governo riveste tipicamente un ruolo rilevante in questi settori, e nelle loro politiche di assunzione, e svolge un ruolo rilevante nella transizione verso l'I.A..

Molti dei lavori previsti in questo settore richiedono qualifiche limitate; in ogni caso, l'aumento dei salari in tale settore porta, attraverso gli effetti di un equilibrio standard, all'aumento dei salari nei settori privati.

Questo avviene unicamente grazie ad una corretta tassazione; se l'elasticità di sostituzione dei servizi imprenditoriali risulta bassa, è possibile imporre alte tasse per finanziare tali impieghi.

## *5.6 Disoccupazione tecnologica*

La disoccupazione è una delle principali problematiche sociali conseguenti al progresso tecnologico, in quanto spesso le nuove tecnologie implicano la cancellazione di ruoli datati e la ricerca di un nuovo impiego da parte dei lavoratori.

Gli economisti ritengono per lo più falsa la teoria secondo cui esista un numero limitato di posti di lavoro e che la loro automazione porti alla loro riduzione senza rimedio; in realtà, in un'economia funzionante, ci si attende che il progresso tecnologico generato dalla tecnologia determini entrate aggiuntive tali da poter supportare ulteriori nuovi impieghi.

Vi sono due teorie economiche secondo cui la disoccupazione tecnologica potrebbe originarsi: in primo luogo in ragione del fatto che i salari non si possono modificare per ragioni strutturali (teoria dei 'salari efficienti'); in secondo luogo, per il fenomeno di transizione.

Le implicazioni generate dalla disoccupazione sono particolarmente problematiche quando il progresso tecnologico mira al risparmio di lavoro: ciò comporta, per definizione, la riduzione e azzeramento dei salari, salvo che altri fattori complementari, quali il capitale, riescano ad intervenire nel ristabilire l'equilibrio di mercato.

### *5.6.1 Teoria dei salari efficienti e del mancato adeguamento degli stessi*

La teoria dell'efficienza del salario si basa sul concetto che la produttività dipenda dal salario e che i datori di lavoro siano incentivati a pagare salari superiori al livello di compensazione del mercato. Una delle ragioni di questo comportamento è legata al fatto che la disparità nelle entrate porta ad abbattere il morale dei lavoratori.

Se le considerazioni sull'equità risultano significative, i lavoratori potrebbero pensare che una diminuzione nei loro salari sia ingiusta (ad esempio confrontata con le entrate crescenti degli imprenditori); la curva di utilità potrebbe spostarsi inizialmente verso l'esterno (miglioramento paretiano) in seguito potrebbe regredire e collocarsi sulla stessa linea di utilità precedente in quanto l'utilità dei lavoratori diminuirebbe per un dato livello di utilità degli imprenditori, ma come conseguenza i lavoratori potrebbero ridurre i loro sforzi al punto da ridurre il lavoro risultante determinando un peggioramento nell'utilità di entrambi gli agenti. Il pagamento di un salario equo risulta pertanto necessario a ridurre l'effetto 'shirking'

(ovvero di mancanza di incentivo e scarsa produttività) ma potrebbe condurre, di contro, al fenomeno della disoccupazione.

Un'altra possibile motivazione per cui i salari tendono a non adeguarsi al livello di compensazione del mercato è legata alle leggi sul salario minimo. Le teorie economiche di base sostengono che un aumento dei salari a livelli eccessivi comporta disoccupazione. Sebbene tale teoria risulti verificabile, la recente esperienza degli Stati Uniti ha dimostrato che aumenti ridotti nei salari minimi non hanno quasi alcun effetto sull'occupazione ma, aumentando le entrate dei lavoratori con salario minimo, determinano un effetto positivo sulla domanda aggregata, in quanto i lavoratori con entrate ridotte hanno un'elevata propensione marginale al consumo; l'aumento nei salari minimi sostituisce la mancanza di potere contrattuale dei lavoratori.

### *5.6.2 Disoccupazione tecnologica come fenomeno di transizione*

Un'altra tipologia di disoccupazione, determinata dal progresso tecnologico, è quella che si genera quale fenomeno di transizione, ovvero quando il cambiamento tecnologico crea lavoratori in esubero ad una velocità maggiore rispetto a quella con cui questi ultimi sono in grado di trovare un nuovo impiego o a quella della creazione di nuovi posti di lavoro.

Un livello base di disoccupazione viene considerato come fisiologico; i rapporti di assunzione sono 'separati' in modo casuale (fra le cause principali, il ciclo di vita e il progresso tecnologico), così che lavoratori e datori di lavoro sono costretti ad effettuare le opportune ricerche per ripristinarli. Un aumento nel ritmo del progresso tecnologico porta ad un alto tasso di separazione e, quale risultato, ad un alto tasso di disoccupazione; tale transizione può risultare prolungata qualora la nuova tecnologia renda obsoleti gli skill dei lavoratori e questi ultimi debbano acquisirne di nuovi o cercare nuovi lavori per i quali tali competenze risultino ancora idonee.

Spesso il ritmo di 'distruzione' di precedenti lavori è più veloce del ritmo di 'creazione', soprattutto in ragione dell'imperfezione nei mercati dei capitali, che riduce la capacità degli imprenditori di esplorare nuove opportunità di business (conseguenza della globalizzazione in molti paesi in via di sviluppo).

Uno degli esempi maggiormente evidente nel corso della storia è riconducibile alla cosiddetta "Grande Depressione" dei primi anni del XX secolo, la cui causa principale risiede nella rapidità di innovazione nel settore dell'Agricoltura.

Tale innovazione, infatti, aveva portato a ridurre il numero di lavoratori necessari per produrre il quantitativo di cibo richiesto, con conseguente riduzione dei prezzi e delle entrate nel settore e conseguente riduzione nella domanda dei prodotti urbani; ciò che avrebbe dovuto portare ad un miglioramento paretiano fu invece causa di impoverimento, sia nel settore agricolo che in quello urbano. In presenza di rigidità nella mobilità (generata dalle imperfezioni nel mercato del capitale, tali per cui ai lavoratori del settore rurale non erano concessi fondi per trasferirsi nel settore urbano e cercare un nuovo impiego) il cambiamento tecnologico si rivelò dannoso per il benessere collettivo; l'economia rimase intrappolata in una condizione di alti tassi di disoccupazione e bassa produttività.

Nel caso della Grande Depressione l'intervento del governo (risultato della Seconda Guerra Mondiale) determinò una trasformazione strutturale di successo, facilitando il trasferimento dalle aree rurali alle città, dove vi era necessità di manodopera, e facilitando la riqualificazione della forza lavoro (aiutando i lavoratori nell'acquisire le nuove competenze necessarie).

Vi è un sorta di parallelismo con la situazione attuale, nella quale una significativa percentuale di forza lavoro non possiede le competenze richieste per affrontare l'era dell'I.A.. La teoria dei salari efficienti può rallentare la transizione ad un nuovo equilibrio conseguente ad un progresso tecnologico e portare ad un determinato livello di disoccupazione di lungo periodo.

### *5.7 Il significato del lavoro*

Secondo interessanti dibattiti emerge che, per i lavoratori, il lavoro non rappresenta soltanto un generatore di entrate, ma fornisce anche supporti psicologici individuali quali dignità, appagamento, completezza; se questo sia un retaggio del passato e se gli individui siano in grado di trovare motivazione in altre forme di attività, fisiche o mentali, è ancora ampiamente discusso.

Qualora i lavoratori riscontrino un beneficio dal lavoro nella forma di motivazione, allora i sussidi all'occupazione (di contro al riconoscimento di un reddito base universale) risultano essere la soluzione migliore alle ineguaglianze generate dall'I.A. per assicurare che gli avanzamenti tecnologici possano procurare un benessere crescente e diffuso.

### *5.8 Prospettive di lungo termine: ipotesi sull'Intelligenza Artificiale*

L'I.A. è, ad oggi, in grado di superare quella umana in alcune aree specifiche quali, fra le principali, l'identificazione di modelli in riferimento alla tecnologia a raggi X, la guida autonoma, il gioco da tavola di strategia ("Deep Blue" di IBM nel gioco degli scacchi o "AlphaGo" di Google nel gioco "Go"); questa tipologia viene comunemente denominata 'Intelligenza Artificiale debole', in quanto finalizzata a studiare e risolvere problemi specifici. Di contro, gli esseri umani sono in grado di applicare la loro intelligenza in un ampio insieme di domini e la loro intelligenza viene appunto definita "Intelligenza Generale".

Alcuni studiosi prevedono che un'Intelligenza Artificiale Generale, in grado di replicare completamente l'intelligenza umana, possa svilupparsi già a partire dal 2029, mentre la stima media degli esperti si attesta tra il 2040 e 2050; una minoranza, infine, sostiene che tale risultato non sarà mai conseguibile in quanto l'intelligenza umana risulta troppo complessa per poter essere completamente replicata.

In ogni caso, qualora questo accadesse, ci sono valide argomentazioni a sostegno della nascita di una super intelligenza, superiore a quella umana grazie al progresso tecnologico e all'aiuto fornito dalle macchine intelligenti.

Supponendo di mantenere il nostro attuale sistema economico e sociale, l'avvento dell'I.A. generale e di una super intelligenza può portare a due scenari.

Nel primo, le macchine e gli esseri umani potrebbero fondersi, così che gli esseri umani potrebbero migliorare le proprie capacità fisiche e mentali grazie al progresso tecnologico piuttosto che grazie alla biologia umana. Nel secondo scenario, le entità generate dall'I.A. si svilupperebbero in maniera separata rispetto agli esseri umani, con propri obiettivi e comportamenti.

### Primo scenario: integrazione tra I.A. ed essere umano

Lo scenario secondo cui gli esseri umani sarebbero in grado di implementare se stessi attraverso l'utilizzo di macchine porterebbe ad un aumento massivo nell'ineguaglianza umana, salvo che i governatori non ne riconoscano il pericolo stabilendo dei livelli in modo da eguagliare l'accesso a tali tecnologie.

Qualora, infatti, l'intelligenza fosse correlata alla disponibilità economica, si creerebbe una forte ineguaglianza tra gli individui più ricchi, che diventerebbero 'più intelligenti', e quelli meno abbienti, lasciando la maggior parte della popolazione in uno stadio arretrato.

Per coloro che dispongono del denaro necessario, l'incentivo all'acquisto sarà molto alto e si creerà competizione con gli altri soggetti benestanti; tale condizione risulterà ancora più evidente in un'economia nella quale il benessere si basa sulle entrate.

Gli individui privi della disponibilità economica necessaria non saranno in grado di affrontare tali spese e dovranno ripiegare sulle tecnologie di dominio pubblico; in questo modo, in ragione della rapidità di crescita dell'innovazione, aumenterà il divario tra la miglior tecnologia sviluppata e quella condivisa pubblicamente.

Un'interessante analogia è legata al confronto tra l'avanzamento nella tecnologia umana e il settore della Salute (tecnologia intesa nel mantenimento più che nel perfezionamento del corpo umano).

Le varie nazioni hanno scelto modelli notevolmente diversi fra loro in relazione a come fornire l'accesso ai servizi sanitari, in alcuni casi considerandoli diritti umani fondamentali, in altri legandoli alle possibilità di pagamento.

Negli Stati Uniti, ad esempio, l'aspettativa di vita tra ricchi e poveri è ha raggiunto un grosso divario negli ultimi anni, in parte a causa della diseguaglianza nell'accesso al sistema sanitario e delle tecnologie, sempre più costose, messe a disposizione della sola parte di popolazione economicamente in grado di sostenerle.

La differenza risulta ancora più netta nel confronto tra l'aspettativa di vita nei paesi sviluppati rispetto a quella dei paesi in via di sviluppo (con la prima superiore di circa il 70% rispetto alla seconda).

Così come per quanto detto in riferimento all'assistenza sanitaria, è possibile ipotizzare che società diverse possano effettuare scelte diverse in merito all'accesso alle tecnologie per il miglioramento delle condizioni di salute dell'essere umano.

## Secondo scenario: I.A. come entità distinta

In questo scenario si analizzano entità dotate di I.A. sviluppate separatamente rispetto all'essere umano. Una delle principali caratteristiche di una tale entità, dotata di sufficiente intelligenza, è che agirà perseguendo obiettivi intermedi o dettati da esigenze di base strumentali al raggiungimento di qualunque obiettivo finale; fra gli obiettivi intermedi vi sono l'auto-conservazione, l'auto-miglioramento e l'accumulo di risorse, in grado di rendere più agevole e rapido, per ciascuna entità, il raggiungimento degli obiettivi finali.

Un interessante approfondimento è legato allo studio delle possibili conseguenze di una mancanza di diritti di proprietà, detenuto da parte di esseri umani, nei confronti di entità dotate di I.A. o super intelligenza; ciò implicherebbe un'I.A. sufficientemente avanzata ed in grado di operare autonomamente.

Per descrivere il risultato economico derivante da un tale sistema, si possono mettere a confronto due tipologie di entità, una umana e una dotata di I.A., entrambe condizionate dal progresso tecnologico. Alla base della teoria malthusiana vi è la nozione secondo cui la sopravvivenza e la riproduzione richiedono risorse potenzialmente scarse ed esauribili.

In una prima fase gli uomini forniscono il fattore lavoro, utilizzato dalla tecnologia di produzione per generare beni di consumo; in seguito una tecnologia di consumo/riproduzione converte tali beni in beni di sopravvivenza e riproduzione per gli esseri umani, generando la successiva fornitura di forza lavoro.

Il fattore umano legato alla fase di produzione si sta rapidamente riducendo in ragione del lavoro fornito dalle entità dotate di I.A., più efficienti nella produzione di output rispetto agli esseri umani.

Dal punto di vista del consumo/riproduzione, la tecnologia umana utilizzata nella conversione di beni di consumo, come il cibo e le abitazioni, per i futuri esseri umani ha subito relativamente pochi cambiamenti tecnologici; al contrario, quella utilizzata dalle entità dotate di I.A. per convertire beni di consumo quali l'energia, il silicio e l'alluminio per la prossima generazione è soggetta a un progresso esponenziale.

Dal confronto delle due dinamiche risulta evidente che gli esseri umani sono destinati all'estinzione, a meno di provvedimenti finalizzati ad arginare tale fenomeno.

Un'ulteriore astrazione può portare ad immaginare entità dotate di I.A. in grado di sostenere transazioni economiche (negoziare titoli finanziari, effettuare e pagamenti, etc.): l'umanità, in una prima fase, potrebbe trarre beneficio dall'alto tasso di produttività e da significativi guadagni conseguibili; in aggiunta, i fattori scarsi e fondamentali per la riproduzione e il miglioramento dell'I.A. (quali il lavoro umano qualificato nella programmazione e la proprietà intellettuale) otterrebbero guadagni elevati.

Col passare del tempo, le tecnologie di produzione e consumo superiori delle entità dotate di I.A. ne determinerebbero la proliferazione; la loro efficienza crescente condurrebbe ad una forte concorrenza su tutti i fattori scarsi ed esauribili (come la terra e l'energia), spingendo ad un aumento dei prezzi di tali fattori e rendendoli sempre più inaccessibili per gli esseri umani dato il loro reddito limitato; tale condizione potrebbe costringere gli esseri umani a ridurre i loro consumi e, in ultima istanza, la loro numerosità.

I tecnologi hanno ipotizzato diversi scenari distopici, nei quali gli esseri umani sarebbero in grado di sopravvivere per qualche tempo (ad esempio, attraverso l'assunzione di farmaci in grado di ridurre il necessario apporto energetico); il declino umano non sarebbe quindi determinato da fenomeni di carestia quanto da scelte consapevoli sulla limitazione della riproduzione.

Al fine di evitare tali conseguenze, potrebbe essere necessario rallentare o addirittura interrompere il progresso tecnologico raggiunto ad un determinato livello: nella realtà, ciò risulta difficile da realizzare in quanto il risultato desiderato si otterrebbe intervenendo ben prima della creazione di un'Intelligenza Artificiale Generale (e non si può escludere che tale creazione non avvenga, in maniera celata, su iniziativa di un singolo individuo dotato delle necessarie capacità).

Nell'impossibilità di controllare il progresso dell'I.A., gli esseri umani dovrebbero mettere in atto meccanismi atti ad assicurarsi spazi vitali, acquisendo risorse e fattori scarsi in modo da garantirsi il consumo senza subirne l'aumento dei prezzi (una sorta di 'riserva umana'); un potenziale rischio è legato alla tentazione di questi individui nel vendere tali partecipazioni (gli esseri umani potrebbero essere meno 'pazienti' rispetto alle entità dotate di I.A. e queste ultime, in ragione di rendimenti elevati, disposte a pagare prezzi elevati per tali fattori).

## 6 Intelligenza Artificiale e timori sull'occupazione

La tematica legata all'I.A. comprende aspetti etici e sociali (come quelli legati al lavoro e all'occupazione) legati al crescere dei timori nella comunità globale in relazione alle previsioni attuali (metà delle attività lavorative di oggi potrebbe essere automatizzata entro il 2055).

Il report “*A Future That Works: Automation, Employment and Productivity*”, realizzato dal McKinsey Global Institute, partendo dall'assunzione secondo cui qualsiasi tipo di lavoro è soggetto ad un'automazione parziale, stima che circa la metà dell'attuale forza lavoro possa essere impattata dall'automazione grazie alle tecnologie già note e in uso.

### 6.1 Ricerche di mercato: segnali positivi

Alcuni studi recenti contrastano tale teoria; di seguito alcuni tra i più significativi:

- “*Turning AI into concrete value: the successful implementers' toolkit*”, analisi realizzata dalla società Capgemini, quale risultato di uno studio condotto tra marzo e giugno 2017 attraverso un'intervista che ha coinvolto quasi mille manager provenienti da nove Paesi (Australia, Francia, Germania, India, Italia, Olanda, Spagna, Regno Unito e Stati Uniti); tra i partecipanti allo studio, manager di società multinazionali che operano in aree specifiche dedicate all'I.A., startup e vendor di sette diversi settori industriali (Automotive, Banking, Assicurazioni, Manifatturiero, Telecomunicazioni, Retail e Utility). La ricerca ha evidenziato che, grazie all'utilizzo dell'I.A., circa l'80% delle imprese ha creato nuovi posti di lavoro, in particolare in relazione a posizioni di livello senior (quasi il 70% delle nuove assunzioni sono a livello manageriale o superiore) e oltre il 63% delle stesse afferma che non vi è stata alcuna perdita di lavoro. Per molte imprese, l'I.A. rappresenta una via efficace per ottimizzare lo svolgimento di attività ripetitive o delle mansioni amministrative (accelerando i processi, rendendoli più efficienti ed eliminando gli sprechi).

In aggiunta, circa l'89% delle imprese intervistate sostiene che l'I.A. possa semplificare i lavori più complessi e che le macchine intelligenti possano coesistere con la forza lavoro all'interno dell'azienda stessa.

L'I.A. risulta avere particolare rilievo nelle società che sperimentano progresso tecnologico nel migliorare la customer experience e per incrementare le vendite, potenziare l'operatività, facilitare l'engagement dei clienti e generare nuove idee di business; il 73% ritiene che l'I.A. possa incrementare il grado di soddisfazione del cliente, mentre il 65% afferma che queste tecnologie possano ridurre il tasso futuro di abbandono da parte della clientela stessa.

Lo studio evidenzia inoltre che i settori tradizionali e quelli altamente regolamentati sono i più attivi nell'ambito dell'I.A.: il 49% delle società di Telecomunicazione, il 41%

degli operatori del Retail e il 36% delle aziende del mondo Banking sono tra le realtà che fanno registrare il maggior grado di implementazione dell'I.A. su larga scala, mentre il settore Automotive (con il 26%) e quello Manifatturiero (con il 20%) registrano attualmente il livello più basso di implementazione (Figura 20).



**Figura 20 - Share of AI implementers that are deploying AI at scale (by sector)**

Questo contrasto si registra anche a livello geografico: l'India e l'Australia sembrano essere le due nazioni più avanzate sotto questo profilo (oltre il 58% delle società indiane sta già utilizzando l'I.A. su larga scala, cui segue l'Australia con il 49% di aziende).

I paesi europei, Spagna (31%), Olanda (24%) e Francia (21%), sono le nazioni che ricoprono le posizioni più basse nella classifica di impiego, mentre l'Italia si posiziona al terzo posto (44%), seguita dalla Germania (42%), in controtendenza rispetto ai mercati limitrofi che si rivelano ancora impreparati ad utilizzare questo tipo di tecnologia (Figura 21).



**Figura 21 - Share of AI implementers that are deploying AI at scale (by country)**

- *“Reshaping business with artificial intelligence”* report di The Boston Consulting Group e MIT Sloan Management Review, risultato di un’indagine globale che ha coinvolto 3.000 manager e analisti di 21 diversi settori intervistati in 112 Paesi, a dimostrazione che la riduzione della forza lavoro è temuta solo dal 47% dei manager, convinti ciononostante delle potenzialità di impiego dell’I.A. (Figura 22).

Sebbene molte imprese risultino ancora agli albori, sia nella conoscenza sia nell’applicazione dell’I.A., le aspettative sono decisamente elevate: più del 75% si attende che l’I.A. possa contribuire alla creazione di nuove linee di business se non addirittura, per quasi l’84% dei manager interpellati, consentire di guadagnare o mantenere un vantaggio competitivo.

L’80% dei manager vede infatti l’I.A. come un’opportunità, mentre solo il 40% pensa che possa essere anche un rischio.

Entrando nel dettaglio delle opportunità previste, circa il 60% dei manager si aspetta grandi impatti sulle proprie organizzazioni (già entro i prossimi cinque anni), in particolare sull’Information Technology, sulle Operations & Manufacturing, sulla gestione della Supply Chain e sulle attività di rapporto con i clienti (Marketing, Customer Journey, Customer Experience, Customer Satisfaction, etc.).

Nonostante le attese siano molto elevate, quanto emerge dai risultati dell’indagine dimostra che le aziende non sono ancora del tutto pronte per affrontare la grande rivoluzione che porterà l’I.A.: risulta infatti che solo il 5% delle organizzazioni abbia già sviluppato processi o offerte in maniera estensiva e che meno del 40% delle società abbia sviluppato una strategia relativa all’impiego dell’I.A..

Dalla ricerca emerge inoltre che sta aumentando il divario tra chi sta investendo sull’I.A. e chi no: tra le organizzazioni in esame risulta un 19% di ‘pionieri’, ossia di società che hanno adottato alcune forme di I.A. e compreso quali siano i passi necessari per implementarla e renderla efficace per il business; all’estremo opposto ci sono i ‘passivi’ (36%), imprese che non hanno né soluzioni né comprensione del fenomeno. Con riferimento alle società ‘pioniere’ emerge che, per affrontare al meglio un percorso progettuale per l’adozione dell’I.A., risulta necessario attrezzarsi in merito a diversi aspetti:

- capire come sfruttare adeguatamente il potenziale di business;
- comprendere come organizzare la forza lavoro, integrando lavoratori e sistemi automatizzati;
- rispettare i contesti regolatori (tutela della privacy);
- disporre, dal punto di vista tecnico, di una struttura di dati efficace, che consenta agli algoritmi di essere ‘addestrati’, cioè di imparare dalle esperienze precedenti;
- dotarsi di database integrati e delle corrette infrastrutture di supporto

L’indagine ridimensiona le preoccupazioni sulla perdita di posti di lavoro dovuta all’I.A.; nonostante gli allarmi diffusi nel dibattito pubblico, meno della metà dei partecipanti (il 47%) si aspetta che la forza lavoro delle proprie società si riduca nei prossimi 5 anni. Quasi l’80% crede nell’aumento delle attuali competenze dei

dipendenti e meno del 30% dei manager teme che l’I.A. possa cancellare alcune delle loro attuali funzioni.



Figura 22 - Reasons for adopting AI

- *“Reworking the Revolution: Are you ready to compete as intelligent technology meets human ingenuity to create the future workforce”*, report prodotto da Accenture attraverso l’intervista di 1.200 top manager che stima che i ricavi delle imprese potrebbero crescere del 38% entro il 2020, a patto che queste ultime investano sull’I.A. e su un’efficace cooperazione uomo-macchina.

A queste condizioni, anche il livello di occupazione potrebbe beneficiare di un aumento del 10%; tali affermazioni sono supportate da alcuni dati: il 72% dei manager intervistati sostiene che la tecnologia intelligente sarà strategica per ottenere un vantaggio competitivo sul mercato. Secondo il 61% degli intervistati, nei prossimi tre anni crescerà il numero delle figure professionali che utilizzeranno quotidianamente l’I.A.: visione condivisa anche dagli oltre 14.000 lavoratori intervistati che, in grande maggioranza (62%), si aspettano un impatto positivo dell’I.A. sul proprio lavoro.

Le aziende saranno chiamate a un grosso sforzo in termini di organizzazione del lavoro: secondo Accenture, sarà necessario partire dai compiti (anziché dai ruoli) e assegnare i task di volta in volta a macchine e persone, bilanciando la necessità di automatizzare il lavoro con quella di valorizzare le capacità. Il 46% dei dirigenti è convinto che sia obsoleto pensare in termini di mansioni prestabilite per ciascuna professionalità, mentre un altro 29% dichiara di aver già ampiamente ridisegnato i ruoli in un’ottica di maggior flessibilità. In secondo luogo, la stessa forza lavoro andrà incanalata verso quelle aree che possono creare maggior valore. Per fare questo occorre, fin da ora, accelerare sulla riqualificazione, con una corretta valutazione del livello di competenza delle persone e della loro disponibilità a lavorare utilizzando

l'I.A.. Le moderne piattaforme digitali consentono di personalizzare i programmi di formazione sulle singole persone, favorendo l'adozione di nuove competenze; nella realtà si segnala un certo ritardo in tale formazione: solo il 3% dei dirigenti aziendali ha previsto un aumento significativo degli investimenti nella riqualificazione dei propri collaboratori entro i prossimi tre anni.

## *6.2 Intelligenza Artificiale e coscienza: i robot*

Uno dei temi ampiamente dibattuti sia nella comunità scientifica che tra gli esperti di filosofia, sociologia, politica ed economia, riguarda le capacità di pensiero dei robot o, più in generale, i confini tra I.A. e coscienza umana.

Anche se le tecnologie di I.A. stanno progredendo a passo spedito, per molti versi i computer sono ancora al di sotto delle prestazioni umane.

Per affrontare la controversa questione in merito alla capacità dei computer di sviluppare una coscienza, alcuni ricercatori dell'Università della California hanno cercato – in prima analisi – di esplorare come si genera la coscienza nel cervello umano. Così facendo, hanno delineato tre livelli chiave della coscienza umana che potrebbero servire quale roadmap per progettare un'I.A. veramente consapevole.

Gli scienziati hanno notato che alcuni robot hanno raggiunto capacità pari ad un livello C2 degli uomini (livello che si riferisce alla capacità di monitorare i propri pensieri e calcoli, in altre parole, la capacità di essere auto-consapevoli), in quanto sono in grado di monitorare i loro progressi nell'apprendimento e nel problem solving; i ricercatori suggeriscono che la coscienza umana possa derivare da un insieme di computazioni specifiche.

## *6.3 I rischi dell'Intelligenza Artificiale*

Gli economisti si interrogano da tempo su quali strumenti attivare per impedire che l'evoluzione della società verso un'economia a sempre minore intensità di lavoro – la cui evoluzione è oggi accelerata dall'I.A. – non si traduca in un impoverimento della popolazione, situazione che richiederebbe una redistribuzione della ricchezza, considerando che la maggior parte di questa verrà prodotta dalle macchine.

Alle tematiche sociali si affiancano questioni etiche sullo sviluppo e l'evoluzione dell'I.A. e delle nuove tecnologie. Gli interrogativi riguardano il 'potere degli algoritmi' e dei Big Data, per i quali ci si domanda se questi determineranno la superiorità del cervello delle macchine su quello dell'uomo. I timori (alimentati in rete da noti personaggi di spicco come Stephen Hawking ed Elon Musk) possono apparire eccessivi, ma sottovalutare gli impatti dell'I.A. potrebbe rappresentare un rischio significativo.

A mettere in guardia dai rischi dell'I.A. è stato, primo fra altri personaggi di spicco, il fisico Stephen Hawking: «non siamo in grado di prevedere cosa riusciremo a fare quando le nostre menti saranno amplificate dall'Intelligenza Artificiale. Forse, con strumenti nuovi, riusciremo anche a rimediare a tutti i danni che stiamo provocando alla natura, e magari saremo anche in

grado di trovare soluzioni definitive a povertà e malattie. Ma... è anche possibile, che con la distruzione di milioni di posti di lavoro, venga distrutta la nostra economia e la nostra società. (...) L'intelligenza artificiale potrebbe essere il peggior evento della storia della nostra civiltà, porta con sé pericoli, come potenti armi automatiche, nucleari o biologiche, abilita nuovi modi per permettere a pochi individui ed organizzazioni di opprimere e controllare moltitudini di uomini (e cose). Dobbiamo prepararci a gestirla per evitare che questi potenziali rischi prendano forma e diventino realtà».

Sorprende anche che l'ultimo monito sia venuto proprio da un imprenditore di successo come Elon Musk: «L'intelligenza artificiale è il più grande rischio cui la nostra civilizzazione si trova a far fronte» sostiene quest'ultimo. In particolare, egli evidenzia i rischi di una guerra scatenata dai computer o una catastrofe occupazionale dovuta a decisioni basate soltanto sulle elaborazioni dell'I.A., unico vero pilastro dominante dell'economia del futuro, capace di riservare alle macchine migliaia, forse milioni, di lavori oggi ancora gestiti agli uomini.

#### *6.4 Intelligenza Artificiale decentralizzata: una possibile risposta ai problemi etici*

La comunità scientifica internazionale sta lavorando da tempo alla cosiddetta super intelligenza, un'I.A. generale (la ricerca in questo campo ha, come obiettivo, la creazione di un'I.A. capace di replicare completamente l'intelligenza umana; essa fa riferimento alla branca della ricerca dell'I.A. forte, secondo la quale è possibile, per le macchine, diventare sapienti o coscienti di sé, senza necessariamente mostrare processi di pensiero simili a quelli umani). Tuttavia i rischi sono elevatissimi, soprattutto se a portare avanti la ricerca sono poche aziende in grado di dedicare ingenti risorse (economiche e di competenze) ai progetti più innovativi.

Decentralizzare l'I.A. e fare in modo che possa essere progettata, sviluppata e controllata da una grande rete internazionale attraverso la programmazione open source è, secondo molti ricercatori e scienziati, l'approccio più sicuro per creare non solo una super intelligenza, ma anche per democratizzare l'accesso alle I.A., riducendo i rischi di monopolio e risolvendo problemi etici e di sicurezza.

Oggi, una delle preoccupazioni maggiori in tema di I.A. riguarda proprio l'utilizzo dei dati e la fiducia con la quale le I.A. sfruttano dati ed informazioni per giungere a determinate decisioni e/o compiere azioni specifiche. La mente umana (specie quando si tratta di Deep Learning) non è in grado di interpretare i passaggi compiuti da un'I.A. attraverso una rete neurale profonda, e deve quindi fidarsi del risultato raggiunto da una I.A. senza capire e sapere come è giunta a tale conclusione.

In questo scenario, la 'Blockchain' sembra essere la risposta più rassicurante: l'uso di tale tecnologia consente registrazioni immutabili di tutti i dati, di tutte le variabili e di tutti i processi utilizzati dalle I.A. per arrivare alle loro conclusioni/decisioni. Ed è esattamente ciò che serve per controllare in modo semplice l'intero processo decisionale dell'I.A..

Nella sua accezione più generica infatti, la tecnologia Blockchain può essere utilizzata per spostare valore da un punto A ad un punto B, facendo affidamento su una rete democratica

che si auto-controlla attraverso algoritmi open-source. Per comprendere la crescita esponenziale del valore che sta avendo questa tecnologia, non bisogna tanto focalizzarsi sul fattore tecnologico della Blockchain in sé (un'intelligente gestione di lettura e scrittura su database replicati) ma sul valore dato dalla decentralizzazione, dove un'informazione viene validata non per fiducia rispetto ad un ente, ma matematicamente grazie ad un algoritmo (nel caso del Bitcoin il "Proof Of Work", il concetto di blocchi di transazioni replicate e condivise dall'intera rete, senza la possibilità di modifica o eliminazione dello storico).

La tecnologia Blockchain risulta, quindi, di grande utilità nel decentralizzare e validare; il suo uso, nei prossimi anni, passerà dalla decentralizzazione del valore attraverso transazioni alla decentralizzazione dei dati.

I primi grandi successi di questa tecnologia sono e saranno legati alla creazione di nuovi valori in un'ottica di validazione senza intermediari, chiamata "Internet 3.0" o "Internet dei valori"; per decentralizzare i dati, a differenza delle transazioni, non serve solo sviluppare un circuito di mantenimento delle informazioni, ma è necessario validare anche il 'come' i dati vengono tracciati ed eseguiti.

L'I.A. ha ottenuto buoni successi nell'ambito del riconoscimento facciale, vocale, di immagine, video, traduzione linguistica o sistemi di guida autonoma, pur con medie percentuali di errore. In ambienti complessi come Social Media o Big Data, gli algoritmi odierni di I.A. hanno ottenuto risultati meno performanti o addirittura pericolosamente errati.

L'I.A., come la Blockchain, non è dipendente tanto dagli algoritmi creati, quanto dai dati che vengono tracciati e calcolati. Il concetto odierno di decentralizzazione dell'I.A. nasce per risolvere il problema di validazione degli algoritmi di I.A., punto focale per le applicazioni decentralizzate e per la validazione dei dati raccolti e generati.

Uno dei progetti più ambiziosi e meglio sviluppati per decentralizzare l'I.A. è il "SingularityNet", il quale utilizza la tecnologia Blockchain per decentralizzare algoritmi di I.A., creando un marketplace all'utilizzo, direttamente collegato con i dati di qualunque Blockchain, e condividendone i risultati.

## **7 Big Data, Intelligenza Artificiale e possibili conseguenze sulla democrazia**

L'ammontare di dati generati raddoppia ogni anno; si stima che nel 2016 ne siano stati prodotti tanti quanti ne sono stati creati nell'intera storia del genere umano; in ogni istante vengono effettuati centinaia di migliaia di ricerche su Google e post su Facebook, operazioni che rivelano il modo di pensare e di agire degli utenti interessati.

Si ipotizza che entro i prossimi 10 anni circa 150 miliardi di sensori (ovvero un numero 20 volte superiore alla popolazione mondiale) saranno connessi alla rete; il quantitativo di dati è destinato a duplicare ogni 12 ore; numerose società stanno già lavorando per provare a trasformare questi Big Data in 'Big Money'.

Considerando l'attuale diffusione di smart phone e il potenziale raggiunto da ambienti come smart home, smart factories and smart cities, ci si attende di ottenere, nel lungo periodo, anche smart nations e smarter planet.

L'I.A. ha compiuto notevoli passi avanti e contribuito, in maniera significativa, all'automazione dell'analisi dei dati; gli attuali algoritmi sono in grado riconoscere il linguaggio scritto e i pattern, descrivere i contenuti di foto e video, allo stesso modo degli esseri umani, e completare alcuni task anche meglio di questi ultimi (ad esempio, l'algoritmo DeepMind di Google ha imparato come vincere 49 giochi Atari).

Al giorno d'oggi, circa il 70% delle transazioni finanziarie viene gestito con algoritmi; questo genera conseguenze economiche radicali: si prevede che, entro il prossimo ventennio, il 50% degli impieghi correnti sarà messa a rischio e che il 40% delle 500 maggiori società attive sia destinato alla chiusura.

Secondo le attuali stime, si prevede che, entro il 2060, i super computer saranno in grado di superare le capacità umane in quasi tutte le aree.

Come già evidenziato, visionari della tecnologia quali Elon Musk di Tesla Motors, Bill Gates di Microsoft e Steve Wozniak di Apple, manifestano preoccupazione in merito al fatto che una super-intelligenza possa rappresentare un serio pericolo per l'umanità, plausibilmente più rischioso delle armi nucleari.

Nel 1940, il matematico statunitense Norbert Wiener (1894 – 1964) contribuì, in misura determinante, allo sviluppo della cibernetica; tale disciplina, partendo dall'ipotesi che vi sia una sostanziale analogia tra i meccanismi di regolazione delle macchine e quelli degli esseri viventi (e che, alla base di questi meccanismi, vi siano processi di comunicazione e di analisi di informazioni), pone le basi per lo studio e la realizzazione di macchine ad alto grado di automatismo, atte a sostituire l'uomo nella sua funzione di controllore e di pilota di macchine e di impianti.

Secondo tali studi, il comportamento dei sistemi può essere controllato con strumenti e feedback adeguati e tale controllo potrebbe essere esteso anche nell'ambito economico e sociale: un esempio, in tal senso, viene fornito dal sistema adottato dalla città di Singapore, visto come un perfetto esempio di società di controllo dei dati; un programma di protezione

dei cittadini contro il rischio terrorismo ha finito per influenzare la politica economica, quella dell'immigrazione, il mercato e la formazione.

La Cina sta intraprendendo un simile percorso: Baidu, principale motore di ricerca cinese (l'equivalente di Google), ha invitato i militari a prendere parte al progetto "China Brain", che consiste nell'applicazione di algoritmi di Deep Learning sui dati raccolti dal motore di ricerca attraverso i suoi utenti (secondo alcune interpretazioni, un sistema di controllo sociale): questo consentirà di strutturare un sistema di 'citizen score', meccanismo di controllo comportamentale e sociale sui cittadini applicato attraverso un sistema di punteggio.

I cittadini vengono sottoposti a un punteggio su scala ad una dimensione e ogni azione compiuta comporta, per loro, l'attribuzione di più o meno punti; il punteggio in esame può dipendere, ad esempio, dal loro comportamento sui social media o dalla condotta politica e può determinare la loro possibilità di accesso al credito, ad alcune tipologie di lavoro e ad eventuali permessi di viaggio.

Anche il comportamento di amici e conoscenti influisce su questo punteggio in quanto viene applicato il principio della 'responsabilità del clan': ciascuno diventa sia un guardiano di virtù sia una sorta di informatore spia.

Questo comportamento garantisce un monitoraggio puntuale sul comportamento dei cittadini ma rischia di entrare in contrasto con i principi fondamentali di una società democratica: la tracciabilità e la misurazione di tutte le attività che lasciano tracce digitali creerebbe un cittadino 'nudo', la cui dignità umana e privacy verrebbero progressivamente denigrate.

In un simile sistema, le decisioni non sarebbero libere in ragione delle pesanti conseguenze correlate, e l'autonomia verrebbe abolita; la polizia predittiva potrebbe anche stabilire punizioni per violazioni non commesse ma attese.

Dal momento che gli algoritmi basilari non sono in grado di operare senza possibilità di errore, il principio di onestà e giustizia sarebbe sostituito da una nuova forma di arbitrarietà.

I successi dell'individuo sarebbero stabiliti esternamente a discapito dell'incentivo allo sviluppo individuale; la cultura locale e le norme sociali verrebbero superate in quanto non adeguate al nuovo sistema.

Il controllo della società, attraverso una funzione unidimensionale, porterebbe a più conflitti e, di conseguenza, alla perdita di sicurezza, generando una forte instabilità nel sistema finanziario; un tale controllo condurrebbe la società verso sistemi arretrati.

Nei paesi occidentali, un percorso analogo viene adottato attraverso le crescenti verifiche sul credito e sulle abitudini di acquisto operate dalla maggior parte dei negozi.

Secondo alcuni studiosi, tali comportamenti sottolineano un crescente focus della sorveglianza istituzionale; un'evidenza in tal senso è emersa nel 2015, a seguito della pubblicazione dei dettagli del programma del servizio segreto britannico "Karma Police".

Sebbene l'identità degli utenti risulti ufficialmente protetta essa può, nella pratica, essere facilmente violata.

Gli algoritmi che analizzano i dati disponibili relativi alle abitudini degli utenti sono in grado di raggiungere un'elevata conoscenza degli stessi; questo risulta evidente dalle raccomandazioni e dalle proposte offerte, che spesso rispecchiano le scelte dell'utente pur non essendo state suggerite da quest'ultimo.

Alcune piattaforme software stanno concentrando i propri sforzi nello studio di calcoli e strategie di persuasione, attraverso l'impiego di sofisticate tecnologie di manipolazione in grado di guidare l'utente nella scelta; queste tecnologie stanno diventando sempre più popolari anche nel mondo della politica.

Con il termine "Nudging" si identifica una recente strategia di 'economia comportamentale', che spinge le persone a fare le scelte che si ritengono 'giuste' per migliorare il benessere personale e quello del proprio Paese, applicata in più di 130 nazioni; traducibile come 'spinta gentile', tale teoria si basa sull'idea di fondo di cambiare l'architettura del contesto, entrando nei piani educativi degli stati e nelle strategie di marketing delle aziende, indirizzando le persone a fare la cosa migliore in termini di istruzione, sanità e risparmio energetico; un'immagine rappresentativa è quella di un animale adulto che dà leggeri colpi al suo cucciolo per farlo camminare meglio.

Applicata su scala di massa da parte dei governi, essa rappresenta una moderna forma di paternalismo; in realtà, una diversa interpretazione porta a credere si tratti di una strategia governativa per condizionare il comportamento dei cittadini.

La definizione "Big Nudging", ovvero la combinazione di Big Data e Nudging, evidenzia come tale strumento possa consentire l'influenza della popolazione di massa evitando il diretto coinvolgimento dei cittadini stessi.

Nella realtà, secondo quanto emerge dalla letteratura di rilevanza scientifica, i tentativi di controllare le opinioni di massa spesso sono destinati a fallire a causa della complessità di gestione del problema.

Un esempio è il recente intento dei provider di assicurazioni sanitarie di incoraggiare l'incremento dell'attività fisica, utilizzando smart fitness bracelets, con lo scopo di ridurre l'ammontare di patologie cardiovascolari (questo incentivo infatti può portare, di contro, all'aumento di operazioni all'anca).

In un sistema complesso, come una società, il miglioramento in un'area quasi inevitabilmente comporta il deterioramento in un'altra; interventi su larga scala possono qualche volta comportare errori massivi.

Un'ulteriore problematica in merito è legata all'interesse suscitato da parte di criminali, terroristi ed estremisti, i quali, con lo scopo di entrare in possesso di tale potere di controllo, hanno già tentato di 'hackerare' la maggior parte delle compagnie e delle istituzioni, quali il Pentagono, la Casa Bianca e la NASA, e potrebbero già essere in possesso di tali strumenti.

Un ulteriore problema emerge in caso di assenza di trasparenza e controllo democratico: in questo caso si assiste ad un'erosione del sistema dall'interno.

Gli algoritmi di ricerca e i sistemi di raccomandazione possono influenzare le scelte politiche dei cittadini; questo problema è esasperato dal fatto che, in molti Paesi, predominano singoli motori di ricerca o piattaforme di social media, in grado di influenzare in modo decisivo il pubblico e permettere di interferire con questi Paesi da remoto. Fermo restando il giudizio della Corte di Giustizia Europea del 6 Ottobre 2015 che limita l'export incontrollato di dati europei, il problema evidenziato continua a non essere risolto in Europa, e ancor meno altrove.

Al fine di risultare difficilmente identificabile, la manipolazione assume la forma dell' 'effetto di risonanza', ovvero di suggestioni sufficientemente personalizzate su ciascun individuo.

Si verifica in questo modo la cosiddetta 'Filter Bubble', ovvero il risultato del sistema di personalizzazione dei risultati di ricerche su siti che registrano la storia del comportamento dell'utente (ad esempio la ricerca personalizzata di Google e le notizie personalizzate di Facebook); questi ultimi sono in grado infatti di utilizzare le informazioni sull'utente (come posizione, click precedenti, ricerche passate) per scegliere selettivamente, tra tutte le risposte, quelle che vorrà vedere l'utente stesso. L'effetto è di escluderlo da informazioni che sono in contrasto con il suo punto di vista, isolandolo nella sua 'bolla' culturale o ideologica.

Questo meccanismo comporta il fenomeno di 'polarizzazione sociale', risultante nella formazione di gruppi separati in conflitto tra loro; le informazioni personalizzate possono, in maniera non intenzionale, distruggere la coesione sociale.

Un'ulteriore problematica legata all'effetto risonanza è la possibilità di condizionare, lentamente e gradualmente, l'opinione pubblica su larga scala: un esempio è rappresentato dalle ostilità verso le minoranze etniche e i migranti; un eccessivo sentimento nazionalista può causare discriminazione, estremismo e conflitto e portare ad una situazione fuori controllo.

I rischi generati da tali sistemi di manipolazione sulla limitazione della libertà dei singoli cittadini fanno emergere alcuni aspetti legali.

Con riferimento al pensiero filosofico, si rileva che uno Stato che vuole determinare la felicità dei suoi cittadini è despota; il diritto di sviluppo individuale può essere esercitato solo da chi ha il controllo sulla propria vita, il che presuppone l'autodeterminazione delle informazioni, ovvero il nostro più importante diritto costituzionale.

Una democrazia non può funzionare se questi diritti non vengono rispettati; in aggiunta, l'attuale processo di raccolta e analisi di dati personali risulta incompatibile con la legge di protezione dei dati applicabile nei paesi europei e altrove.

Una criticità analoga si verifica in termini economici in riferimento alla trasparenza sui prezzi ed alla concorrenza sleale.

Dal punto di vista del mondo accademico, questi comportamenti potrebbero essere considerati esperimenti su soggetti umani e, come tali, dovrebbero essere approvati da una commissione pubblica di etica responsabile; in aggiunta, le persone coinvolte devono dare il loro consenso informato (l'accettazione di contenuti di centinaia di pagine riconducibili a 'Termini di utilizzo' di un accordo, non risulta essere il metodo adeguato).

Social network di ampia diffusione e piattaforma di dati online hanno ammesso pubblicamente di effettuare questo genere di esperimenti.

Qualora si verificasse l'ipotesi della creazione di una macchina dotata di intelligenza superiore, con conoscenza divina e abilità sovraumane, e la popolazione ne seguisse le istruzioni, potrebbero verificarsi i grossi rischi preannunciati dalla maggior parte di scienziati e visionari: un'intelligenza superiore potrebbe infatti commettere errori, mentire, perseguire propri interessi o essere a sua volta manipolata; essa, inoltre, non sarebbe paragonabile all'intelligenza distribuita e collettiva dell'intera popolazione e questo ridurrebbe drammaticamente la diversità e la qualità delle soluzioni raggiungibili.

In un mondo in rapido cambiamento, anche un'intelligenza superiore non sarebbe in grado di prendere una decisione perfetta: la complessità sistemica sta aumentando più del volume dei

dati, che sta crescendo a sua volta più velocemente della capacità di processarli, e i rate di trasferimento dati sono limitati (Figura 23).

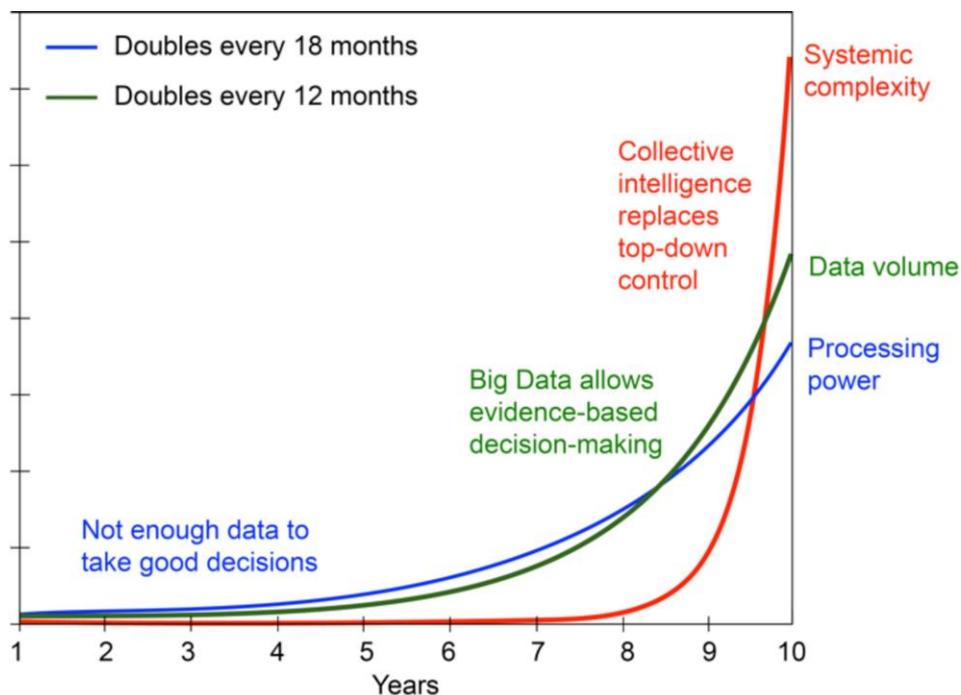


Figura 23 - Digital growth

I metodi distribuiti di controllo locale sono spesso superiori agli approcci centralizzati, specialmente in sistemi complessi i cui comportamenti sono altamente variabili, difficilmente prevedibili e non ottimizzabili in tempo reale; questo vale, per esempio, nel caso del controllo del traffico cittadino, ma ancora di più in riferimento al sistema sociale ed economico.

Perché l'intelligenza collettiva funzioni, la ricerca di informazioni e le decisioni prese dagli individui devono avere luogo in modo indipendente e senza condizionamenti da parte di algoritmi (in caso contrario, questi ultimi sarebbero declassati a meri ricettori di comandi).

Un controllo societario esercitato nella forma di 'paternalismo liberale' rischia di sfociare in un regime totalitario; in contrasto con altri regimi politici, le democrazie occidentali hanno il vantaggio di aver già sperimentato pluralismi e diversità.

In questo senso, consentendo il perseguimento di diversi obiettivi, una società pluralistica ha maggiori possibilità di fronteggiare e superare nuove sfide.

L'evoluzione economica e culturale determina una continua crescita nella complessità sociale; la soluzione ottimale, in una simile prospettiva, è costituita dall'adozione di un'intelligenza collettiva.

Il crowdsourcing (ovvero lo sviluppo collettivo di progetti) e le piattaforme di discussione online sono i nuovi principali strumenti di condivisione di conoscenza, idee e risorse.

L'intelligenza collettiva richiede un altro grado di diversificazione; la socio-diversità assume la stessa importanza della biodiversità, in quanto aumenta non solo il grado di intelligenza e innovazione collettiva, ma anche la resilienza, ovvero la capacità di affrontare eventi inattesi.

La diminuzione della socio-diversità spesso riduce le funzionalità e le performance economiche di una società e questa è la ragione per cui i regimi totalitari spesso entrano in conflitto con gli stati vicini; le principali conseguenze a lungo termine sono l'instabilità politica e le situazioni di conflitto, come spesso si è verificato nel corso della storia.

Big Data, Intelligenza Artificiale, Cibernetica sono pertanto strumenti in grado di modificare una società sia in termini migliorativi che peggiorativi, in ragione della considerazione dei valori chiave della stessa.

Al fine di evitare conseguenze dannose, alcuni studiosi ritengono indispensabile il rispetto dei seguenti principi chiave:

- Decentralizzare in modo crescente il sistema informativo
- Supportare il sistema di autodeterminazione e partecipazione dell'informazione
- Supportare la trasparenza
- Ridurre la distorsione e l'inquinamento dell'informazione
- Abilitare filtri dell'informazione controllati dall'utente
- Supportare la diversità sociale ed economica
- Incrementare le opportunità di interoperabilità e di collaborazione
- Creare strumenti di assistenza digitale e di coordinazione
- Supportare l'intelligenza collettiva
- Promuovere comportamenti responsabili dei cittadini nel mondo digitale attraverso la formazione e diffusione digitale

L'iniziativa "Data for Humanity" fornisce una guida di come i Big Data e l'Intelligenza Artificiale dovrebbero essere usati per il beneficio della società; fra i principi emanati, l'indicazione di utilizzare i dati per creare una coesistenza pacifica, aiutare le persone vulnerabili e bisognose, preservare e migliorare l'ambiente naturale e creare un mondo equo e senza discriminazioni.

In un'era di rivoluzione digitale risulta, quindi, necessario preservare i diritti di base dei cittadini e creare un nuovo contratto sociale (basato sulla fiducia e sulla cooperazione) che vede i cittadini e i consumatori non come un ostacolo o come una risorsa da sfruttare, ma come partner.

Lo Stato dovrebbe essere in grado di fornire un'opportuna struttura regolatrice, che assicuri che la tecnologia venga progettata e utilizzata in modi compatibili con la democrazia, garantendo l'autodeterminazione delle informazioni.

Ad ogni cittadino dovrebbe essere dato il diritto di ottenere una copia dei dati personali raccolti sulla propria persona: la legge dovrebbe, infatti, regolare l'invio automatico di queste informazioni, in formato standard, verso un data store personale, attraverso il quale l'individuo interessato possa gestire l'utilizzo dei propri dati (supportato da assistenti digitali). Per assicurare maggior rispetto della privacy e prevenire eventuali discriminazioni, l'uso non autorizzato dei dati dovrebbe essere punito dalla legge: gli individui dovrebbero essere in grado di decidere chi può utilizzare le informazioni sul loro conto, per quale scopo e per quanto tempo; dovrebbero essere adottate misure appropriate per assicurare che i dati vengano archiviati e scambiati in modo sicuro.

Per supportare il processo decisionale dei cittadini, potrebbe essere utile mettere a disposizione di questi ultimi sistemi sofisticati in grado di considerare criteri multipli, consentire loro di selezionare e configurare il filtro dei dati, le raccomandazioni e gli algoritmi di ricerca e rendere disponibile un'efficiente procedura di reclamo nonché applicare effettive sanzioni per la violazione dei ruoli.

Infine, allo scopo di creare sufficiente trasparenza e fiducia, le istituzioni scientifiche preminenti dovrebbero agire come trustee dei dati e degli algoritmi e rispettare uno specifico codice di condotta che, in ultimo, dovrebbe essere imposto a chiunque acceda a dati sensibili e algoritmi.

La creazione di una società digitale presuppone un concetto educativo completamente nuovo, focalizzato più sul pensiero critico, la creatività, l'innovatività e l'imprenditorialità che sulla creazione di lavori standardizzati (i cui task, in futuro, saranno svolti da robot e algoritmi informatici).

Tale formazione dovrebbe anche prevedere la comprensione di un uso responsabile e critico delle tecnologie digitali: al fine di poter esercitare effettivamente e responsabilmente i loro diritti, i cittadini devono avere una buona conoscenza di queste tecnologie e dei potenziali usi illegittimi; tale apprendimento dovrebbe essere supportato dal sistema di ricerca, dall'industria, dalla politica e dalle istituzioni.

In secondo luogo è necessario che sia resa disponibile una piattaforma partecipativa al fine di facilitare l'indipendenza degli individui, supportandoli nell'organizzazione dei propri progetti, nel trovare partner per collaborazioni, mercati, prodotti e servizi nel mondo, nel gestire risorse e pagare tasse e contributi sociali.

In ogni città dovrebbero essere istituiti centri per le emergenti comunità digitali, quali, a titolo di esempio, le "fab lab" ("fabrication laboratory"), piccole officine in grado di offrire servizi personalizzati di fabbricazione digitale) dove sia possibile lo sviluppo libero e congiunto di nuove idee.

In tema di condivisione, la disponibilità di piattaforme finalizzate al coordinamento di risorse scarse potrebbero supportare l'enorme potenzialità dell'economia circolare e condivisa, ancora ampiamente inutilizzata.

I governi e l'industria, attraverso strategie di 'open data', potrebbero supportare la scienza e l'impiego pubblico, creando le condizioni adatte per un ecosistema di informazione e innovazione efficiente e in grado di tenere il passo con i cambiamenti in corso, e incoraggiarlo con il taglio delle tasse o l'uso di tecnologie a difesa dell'ambiente.

Un sistema digitale alimentato dai cittadini sarebbe in grado di fornire misurazioni real-time del dato disponibile e, in relazione ai cambiamenti climatici, misurare gli effetti positivi e negativi delle nostre interazioni con l'ambiente.

Un sistema finanziario pluralistico potrebbe promuovere la liberalizzazione dell'illimitato potenziale virtuale dell'economia digitale e nuove regolazioni per la compensazione delle invenzioni.

Per meglio fronteggiare la complessità e le diversità legate a tale sistema, sarebbe infine necessario prevedere la presenza di assistenti digitali.

In conclusione, il principio del controllo top-down risulta essere fallimentare in quanto il grado di complessità della società cresce in modo esplosivo; l'approccio ad un controllo

distribuito diviene sempre più importante; solo attraverso un'intelligenza collettiva è possibile trovare soluzioni appropriate ai complessi cambiamenti in essere.

La società risulta quindi di fronte ad un bivio: consentendo il controllo di sempre più potenti algoritmi da parte di pochi decisori, essa corre il rischio di ridurre la propria autodeterminazione e di regredire ad uno stadio definibile come 'Feudalesimo 2.0', vanificando importanti conquiste storiche (Figura 24).

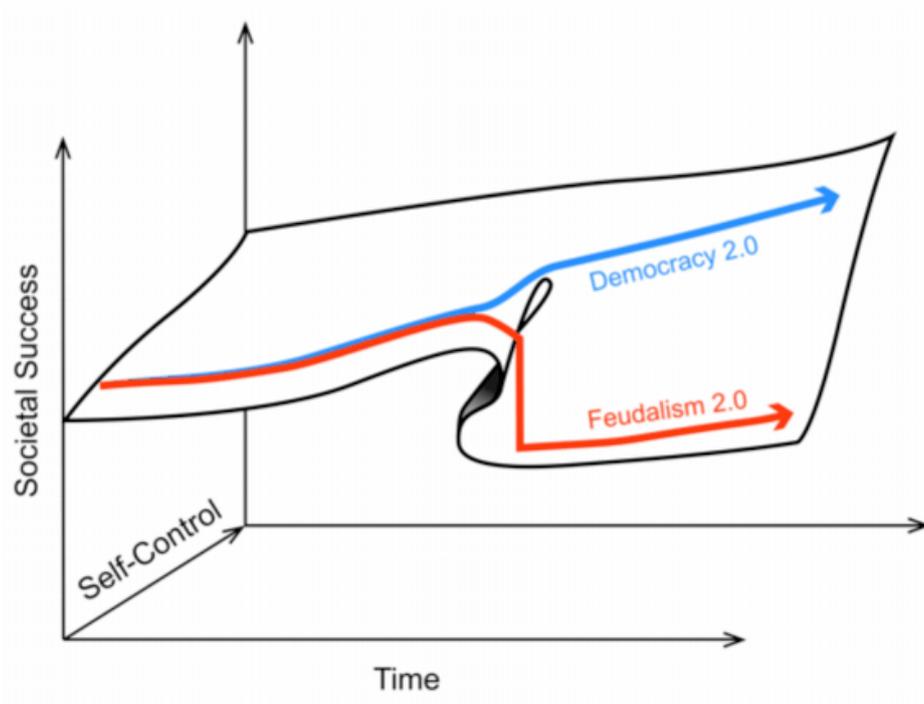


Figura 24 - At the digital crossroads

## 8 Privacy, algoritmi e Intelligenza Artificiale

L'I.A. è in grado di utilizzare i dati delle persone, in maniera autonoma, per fare previsioni su cosa esse potrebbero desiderare, come potrebbero agire e come potrebbero essere influenzate nelle loro scelte. L'uso dei dati sensibili individuali, necessari in questo processo, solleva importanti problemi legati alla privacy: tra i principali aspetti, la persistenza dei dati, la possibilità di riutilizzo e le relative ricadute.

Un semplice ed attuale esempio può fornire una dimensione del problema.

Si ipotizzi il caso di un individuo fortemente in ritardo per un appuntamento e alla ricerca frenetica di un posto auto; consapevole delle possibili difficoltà di ritrovamento del veicolo, il soggetto, prima di lasciare l'auto, utilizza un'applicazione disponibile sul suo smartphone che, attraverso un'istantanea del mezzo e l'impiego del sistema GPS, consente di memorizzarne la posizione.

Una simile funzionalità può apparire, in prima istanza, estremamente utile; tuttavia, essa comporta una serie di problemi di privacy strettamente legati al mondo dell'I.A.:

1. Persistenza dei dati: questi dati, una volta creati, potrebbero potenzialmente persistere più a lungo dell'individuo interessato, dati i bassi costi di archiviazione.
2. Riproposizione dei dati: non è chiaro in che modo tali dati possano essere utilizzati in futuro, ma è chiaro che, una volta creati e archiviati, essi possono potenzialmente essere riutilizzati indefinitamente (ad esempio, trascorsi alcuni anni, le abitudini di parcheggio potrebbero essere parte dei dati utilizzati dalle compagnie di assicurazione sanitaria per l'assegnazione del premio di rischio).
3. Effetto 'Spillover': potenziali ricadute possono interessare individui casualmente presenti nel raggio di azione. La foto citata nell'esempio potrebbe registrare altre persone eventualmente identificabili attraverso il riconoscimento facciale; anche le auto presenti e catturate casualmente potrebbero essere identificabili attraverso il database delle targhe. La scelta personale dell'individuo può avere ricadute su soggetti ignari senza il loro consenso.

Tutto ciò apre un importante fronte di discussione e di preoccupazione in relazione alla tutela della privacy legata alla diffusione dell'I.A..

L'aumento incontrollato e sempre maggiore di dispositivi interconnessi (quali quelli impiegati nella domotica, ad esempio Echo e Alexa di Amazon o Home di Google) rende di fatto incalcolabile il numero di dati che possono essere raccolti e messi a disposizione per condurre analisi di vario genere.

Anche se si presume che i clienti siano stati adeguatamente informati, una nuova letteratura 'comportamentale' sulla privacy mostra che effetti ben documentati, quali l'effetto 'dotazione' (dare maggior valore a cosa si possiede rispetto al valore oggettivo che avrebbe lo stesso bene) o 'ancoraggio' (affidarsi in modo eccessivo alla prima informazione ricevuta), possono anche distorcere i modi in cui i clienti prendono le decisioni relative ai loro dati. Tali

distorsioni possono favorire interventi di tipo "nudge" per consentire ai consumatori di prendere decisioni migliori.

Questa teoria presuppone, inoltre, che i clienti considerino la necessità di tutela della privacy solo nel caso in cui i loro dati vengano effettivamente usati per qualcosa, piuttosto che trovare scorretta la sola idea che i loro dati vengano raccolti e conservati.

In una delle prime analisi sugli aspetti legati alla privacy nell'era di Internet, l'economista statunitense Hal Ronald Varian (1996) dichiara di non essere interessato al fatto che qualcuno disponga del suo numero di telefono fintanto che non vengano fatte chiamate durante l'orario di cena con l'intento di vendita di un'assicurazione; allo stesso modo, egli non risulta preoccupato per il fatto che qualcuno conosca il suo indirizzo, a patto che ciò non comporti la ricezione di lettere contenenti proposte su finanziamenti o ipoteche.

Il numero di testimonianze che attesta la presenza di persone preoccupate per il problema della raccolta dati, al punto da cambiare comportamento e abitudini, risulta estremamente ridotto.

Un'analisi empirica sulla reazione manifestata da alcuni individui messi a conoscenza del fatto che le loro ricerche on line erano state raccolte dalla National Security Agency (NSA) degli Stati Uniti, mostra un significativo cambiamento del loro comportamento, nonostante tali dati non fossero oggetto di controllo antiterrorismo da parte del governo, a causa dell'imbarazzo generato.

In termini legali, il quarto emendamento della Costituzione degli Stati Uniti copre il 'sequestro irragionevole' e la 'ricerca irragionevole' di persone, carte ed effetti, suggerendo che i governi e le imprese che agiscono per conto del governo non possono ignorare completamente il sequestro dei dati e concentrarsi solo sul fatto che una ricerca possa essere ragionevole.

In ragione di tale aspetto, è emersa una crescita legata all'utilizzo di informazioni 'data-light' ed a comunicazioni 'end-to-end', con soluzioni software crittografate, in cui le società raccolgono un minor numero di dati (se non addirittura nessuno) sulle attività dei consumatori nelle loro piattaforme. Questo tipo di preoccupazione suggerisce che la raccolta dei dati risulta importante tanto quanto il modo con cui questi vengono utilizzati.

Un altro presupposto della teoria economica è che i clienti si attendono la disponibilità, da parte delle aziende, di informazioni utili a consentire una miglior corrispondenza con le loro preferenze (orizzontalmente differenziate) ma non di informazioni sulle loro possibilità economiche. Nella realtà, i dati dimostrano che i consumatori non considerano positivamente la personalizzazione in senso orizzontale; la personalizzazione dei prodotti e l'utilizzo di informazioni differenziate orizzontalmente sul gusto risultano accettabili o vincenti solo se accompagnati da un senso di controllo o di proprietà sui dati utilizzati, anche quando tale controllo risulta totalmente illusorio.

Un ulteriore aspetto da analizzare, oltre alla persistenza dei dati, alla loro riproposizione e allo spillover su altri utenti, è relativo al fatto che potrebbero esistere correlazioni nei comportamenti tra gli utenti non previste al momento della raccolta dei dati, causa delle maggiori potenziali conseguenze legate alla privacy in ambito I.A..

Si possono inoltre creare delle distorsioni inattese nella correlazione fra dati raccolti per altri scopi; un algoritmo, infatti, potrebbe effettuare una determinata proiezione basandosi su una correlazione fra dati creati per uno scopo diverso (problema del riuso dei dati).

Il potenziale desiderio del consumatore, in relazione alla privacy nei dati, è legato alla possibilità di prevederne, con precisione, gli usi ammessi; l'impiego di I.A. o algoritmi può portare a situazioni di utilizzo e ricombinazione non ragionevolmente prevedibili e incorporabili nel loro processo decisionale iniziale. Questo solleva ulteriori preoccupazioni legali, legate al fatto che l'aggregazione di dati su un individuo risulta più invadente di ogni dato considerato isolatamente.

Il livello generale di incertezza che circonda l'uso futuro dei dati, unito alla certezza che tale utilizzo sia potenzialmente utile alle imprese, incide sulla capacità del consumatore di effettuare una scelta chiara sul creare o condividere dati. Un così alto grado di rischio e incertezza, legato alla modalità di utilizzo dei dati privati, ha inevitabili implicazioni sull'elaborazione delle preferenze in materia di privacy dei singoli individui.

La persistenza, il riutilizzo e lo spillovers dei dati costituiscono le basi per le nuove sfide che deve affrontare il tradizionale trattamento della privacy e condizionano gli individui sulle scelte legate alla creazione di dati personali che successivamente potrebbero essere utilizzati come input per un determinato algoritmo. I futuri sforzi legati al tema della privacy sui dati impiegati in economia dovrebbero concentrarsi su considerazioni relative a persistenza e spillovers dei dati, ossia sugli aspetti che minano la chiarezza dei diritti di proprietà dei dati stessi, piuttosto che permanere sul tradizionale focus dei modelli attuali.

## 9 Conclusioni

Fino a pochi anni fa il principale problema degli scienziati coinvolti nella ricerca relativa all'I.A. era quello di poter dimostrare la realistica possibilità di utilizzare sistemi intelligenti per usi comuni; oggi questo obiettivo è stato ampiamente raggiunto, e ci si chiede spesso quale possa essere il futuro dell'I.A.. Sicuramente molta strada deve ancora essere percorsa, soprattutto in determinati settori, ma la consapevolezza che l'I.A. oggi rappresenti una realtà, e non più un'ipotesi, determina l'insorgere di quesiti legati alle diverse possibilità di utilizzo dei sistemi intelligenti e al loro impatto sul tessuto sociale ed economico; se da un lato l'entusiasmo per l'evoluzione tecnologica risulta sicuramente molto evidente in diversi settori, dall'altro la paura che a breve le macchine possano sostituire del tutto l'uomo in molti luoghi di lavoro si è insinuata in maniera sempre più insistente nelle menti di molti. L'evoluzione tecnologica, già in passato, ha portato a sostituire la mano d'opera umana con macchine e computer che, in maniera più rapida e soprattutto più economica, hanno trovato largo impiego in diversi settori; l'uso massivo dell'I.A. determinerà, da un lato, un'ulteriore perdita di posti di lavoro e dall'altro la creazione di nuove tipologie di figure professionali.

La peculiarità delle nuove applicazioni, inoltre, farà sì che per la prima volta non saranno solamente operai ed impiegati ad essere interessati dal fenomeno, ma anche lavoratori appartenenti alla classe media, in quanto sarà possibile automatizzare funzioni una volta svolte da specialisti e professionisti qualificati (già oggi, infatti, specifici algoritmi compiono la metà delle transazioni finanziarie in autonomia, senza l'intervento umano).

La crescita di opportunità di lavoro e vantaggio economico per gli innovatori potrebbe aumentare le diseguaglianze di trattamento sociale ed economico tra i vari strati della popolazione, già molto evidenti nell'odierna società, destando forti preoccupazioni a livello internazionale; nel contempo, con l'aumento delle attività potenzialmente automatizzabili, è possibile che si assista ad un aumento della disoccupazione, ad una contrazione dei salari in un numero di professioni sempre più elevato, ed alla crescita dei compensi per quelle, sempre meno numerose, che non possano essere automatizzate. Recenti studi sostengono che la cosiddetta 'quarta rivoluzione industriale' possa portare, in meno di 10 anni, ad una perdita di 5 milioni di posti di lavoro, e che questo coinvolgerà le 15 economie mondiali più sviluppate.

Alcuni esperti e ricercatori non condividono tale visione pessimista, evidenziando come l'introduzione della meccanizzazione in agricoltura abbia spinto moltissimi lavoratori verso le città per trovare un lavoro nell'industria e come l'automazione e la globalizzazione abbiano determinato lo spostamento di molti lavoratori dal settore industriale a quello dei servizi; in generale, essi sostengono che la crisi di un settore generalmente spinga allo sviluppo di nuovi settori (a volte inaspettati) ed alla creazione di nuovi bisogni da soddisfare, aprendo così nuove prospettive economiche.

Viene evidenziata la possibilità, offerta dalle nuove tecnologie, di trasformazione del lavoro operaio in lavoro artigiano e, dall'uso dei robot, di liberare il personale dallo svolgimento di attività ripetitive e standardizzate, permettendo nel contempo alle persone già impiegate di rendere molto più produttive le conoscenze e le abilità specializzate maturate in anni di

lavoro. La messa in opera dei robot richiede, inoltre, addestramento del personale per la progettazione di software sviluppato ad hoc e la realizzazione di specifiche attrezzature hardware con conseguente elevazione della qualità del lavoro svolto.

Entrambe le posizioni (ovvero quella pessimistica e quella ottimistica) concordano sul fatto che sarà necessario indirizzare molti sforzi nell'adeguamento della formazione, sia quella professionale per chi già ha un'occupazione di lavoro, sia quella del sistema scolastico, in modo da sviluppare, oltre alle competenze proprie dell'era industriale, anche abilità intellettuali e personali che permettano alle nuove generazioni di lavorare in maniera ottimale e trarre vantaggio dalle nuove machine intelligenti.

Per fronteggiare il rischio della perdita temporanea del salario o del suo stabile peggioramento per una quota significativa di lavoratori, risulta necessario ideare forme di sostegno per le fasce di popolazione più colpite, nonché modalità per una più equa distribuzione del reddito.

L'impiego dell'I.A. e della robotica stanno subendo un'ampia diffusione in molti settori della vita quotidiana, con significativi miglioramenti della qualità della vita stessa: esempi rilevanti sono le applicazioni nel campo medico, nell'assistenza agli anziani, nella formazione, nell'automazione della produzione industriale etc..

Accanto a questi indubbi vantaggi esistono una serie di rischi per l'umanità che sono strettamente legati all'utilizzo delle applicazioni di I.A. ed all'impiego dei robot: droni con armi a bordo utilizzati per missioni militari e che potrebbero essere responsabili di violazioni umanitarie, sistemi di I.A. che fanno previsioni ed eseguono operazioni in borsa mediante evoluti algoritmi di apprendimento, elaborando enormi quantità di dati con tempi di reazione inferiori al millesimo di secondo, e che potrebbero mettere in crisi aziende, industrie e anche interi paesi dal punto di vista economico e finanziario sono solo alcuni dei possibili impieghi dannosi di tale tecnologia.

Nasce quindi la necessità di definire opportuni principi per la progettazione di sistemi di I.A. che lavorano in autonomia, affinché questi risultino affidabili e sicuri per l'umanità; in particolare, è necessario che tali sistemi rispettino la legalità e seguano opportuni principi etici nel prendere decisioni e trattare dati: in riferimento a tali aspetti si è recentemente definita la cosiddetta "roboetica", ovvero l'etica applicata alla robotica, il cui scopo è sviluppare strumenti e conoscenze scientifiche, culturali e tecniche universalmente condivisi per promuovere ed incoraggiare lo sviluppo della robotica verso il benessere della società e della persona e prevenirne l'impiego contro gli esseri umani.

Il rapporto "European Civil Law Rules in Robotics", commissionato dal Parlamento europeo e diffuso nel 2016, riporta un insieme di principi etici da seguire nella progettazione dei robot per garantire una maggiore sicurezza per l'umanità:

- proteggere l'uomo da ogni possibile danno causato da un robot
- rispettare la volontà di non essere assistito da un robot
- garantire che l'uomo sia sempre in grado di obbligare un robot ad eseguire i suoi ordini
- proteggere l'umanità dalle violazioni della privacy commesse da un robot
- mantenere il controllo su informazioni catturate ed elaborate da un robot

- evitare che, per certe categorie di persone, possa instaurarsi un senso di empatia artificiale con i robot
- evitare che l'utilizzo dei robot favorisca la perdita dei legami sociali
- garantire uguali opportunità di accesso all'utilizzo dei robot
- controllare l'utilizzo di tecnologie che tendono a modificare le caratteristiche fisiche e mentali dell'uomo.

In linea generale, il comportamento etico dei robot dovrebbe dipendere strettamente da quanto richiesto e realizzato dal progettista; in realtà, stante la crescente autonomia dei robot, determinata dalla loro capacità di apprendere dall'ambiente esterno e di prendere decisioni anche a fronte di eventi inaspettati senza alcun intervento umano, il comportamento etico in esame è quello dei robot stessi, intesi come entità decisionali autonome.

Questa declinazione di etica richiama le tre leggi della robotica formulate da Isaac Asimov, scienziato e scrittore russo definito come 'profeta' della robotica stessa:

1. un robot non può recare danno a un essere umano, né può permettere che, a causa del suo mancato intervento, un essere umano riceva danno
2. un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge
3. un robot deve proteggere la propria esistenza, purché questa autodifesa non contrasti con la Prima e la Seconda Legge

L'applicazione di tali leggi richiederebbe la creazione di una sorta di 'autocoscienza etica' all'interno del robot stesso da utilizzarsi in piena autonomia (prospettiva ancora lontana dal realizzarsi e per certi versi fantascientifica).

In prospettiva, è necessario esaminare problemi etici e di responsabilità decisionale derivanti da sistemi di I.A. che agiscono autonomamente in specifici domini applicativi quali, a titolo di esempio, i sistemi di guida autonoma: molti mezzi di trasporto su rotaia operano già senza un guidatore umano fisicamente presente, e così potrebbe accadere con le auto (in tal senso stanno già operando grandi aziende quali Google, Apple, Uber e case automobilistiche come Ford e BMW).

Il comportamento etico da adottare in tali sistemi in caso di incidente (ovvero la scelta comportamentale che possa risultare più corretta in termini di danni provocati) può essere imposto alla macchina da scelte esterne, variabili di caso in caso e quindi di carattere relativo. Un altro esempio è rappresentato dal caso di un aereo senza pilota che deve colpire un bersaglio dopo averlo individuato tra molti bersagli possibili ed in condizioni ambientali complesse.

Nel prossimo futuro si assisterà allo sviluppo di sistemi di I.A. sempre più autonomi e in grado di prendere decisioni complesse in diversi campi applicativi; risulta quindi indispensabile comprendere se le problematiche etiche relative a tali sistemi debbano contrastare tale sviluppo tecnologico, oppure se ci sia un modo per attuare uno sviluppo tecnologico utile e responsabile che possa portare vantaggi per l'uomo (nel caso della guida autonoma, ad esempio, la tecnologia potrebbe contribuire a ridurre drasticamente gli incidenti

stradali causati da stili di guida pericolosi, o da parte di umani stanchi, o distratti, o sotto effetto di alcool o sostanze stupefacenti).

Allo stato attuale, le migliori soluzioni nascono da una utile e proficua interazione fra i sistemi di I.A. e l'uomo, in cui l'uomo ha la piena responsabilità sulla progettazione e sull'utilizzo di tali sistemi; in tale prospettiva, una caratteristica molto importante dei sistemi di I.A. è la trasparenza, intesa come la possibilità di rendere manifesta e comprensibile all'uomo la modalità di operare dei sistemi autonomi, le motivazioni che hanno portato a certe scelte, ed i relativi rischi, con l'obiettivo di mantenere il controllo dell'uomo sulla macchina, comunicare ed interagire con i sistemi di I.A. ed avere conoscenza del perché del loro operato. Nella pratica, tuttavia, non è sempre possibile ottenere tale trasparenza a causa di fattori tecnici progettuali (come nel caso di applicazioni complesse, che si basano su tecniche di apprendimento operanti su sistemi sub-simbolici o connessionisti per assumere decisioni di tipo autonomo).

L'argomento relativo ad etica e I.A. è al centro di numerose ricerche e studi che coinvolgono molteplici discipline tra cui l'Informatica, la Filosofia, la Sociologia, la Giurisprudenza, le Scienze Cognitive, la Psicologia, la Biologia ed altre ancora. Nel 2016, è nata in tale ambito, una collaborazione fra le più importanti compagnie interessate ai temi dell'I.A. quali Google, Apple, Amazon, IBM, Microsoft, denominata "Partnership on Artificial Intelligence to Benefit People and Society", con l'obiettivo di aprire un tavolo di discussione sulle migliori tecniche nel campo dell'I.A., affinché tale disciplina sia uno strumento utile e positivo e si possano evitare impatti negativi sulla società.

A partire dal 2017 hanno luogo, presso l'"International Telecommunication Union" (ITU) delle Nazioni Unite, incontri a titolo "AI for Good Global Summit", a cui prendono parte esperti nei vari settori dell'I.A. e rappresentanti delle principali organizzazioni umanitarie governative e non governative mondiali: l'obiettivo del Summit è quello di accrescere la sensibilità dei governi e del mondo economico nel destinare finanziamenti al settore dell'I.A. per sostenere un maggiore impegno della ricerca nel settore umanitario.

Gli stessi temi, infine, sono riportati in una lettera aperta pubblicata dal "Future of Life Institute" di Boston e sottoscritta da molti ricercatori e scienziati (fra cui Stephen Hawking, Jaan Tallinn, Elon Musk, Erik Brynjolfsson) dal titolo "Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence", la quale, pur riconoscendo gli enormi progressi raggiunti, invita a prendere consapevolezza di possibili pericoli legati ad uno sviluppo incontrollato dell'I.A.: *«There is now a broad consensus that AI research is progressing steadily, and that its impact on society is likely to increase. The potential benefits are huge, since everything that civilization has to offer is a product of human intelligence; we cannot predict what we might achieve when this intelligence is magnified by the tools AI may provide, but the eradication of disease and poverty are not unfathomable. Because of the great potential of AI, it is important to research how to reap its benefits while avoiding potential pitfalls.*

*The progress in AI research makes it timely to focus research not only on making AI more capable, but also on maximizing the societal benefit of AI. (...)*

*We recommend expanded research aimed at ensuring that increasingly capable AI systems are robust and beneficial: our AI systems must do what we want them to do. (...)*

*In summary, we believe that research on how to make AI systems robust and beneficial is both important and timely, and that there are concrete research directions that can be pursued today.».*

## 10 Riferimenti bibliografici

Philippe Aghion, Benjamin F. Jones, Charles I. Jones, 2017, *“Artificial Intelligence and Economic Growth”*

Anton Korinek, Joseph E. Stiglitz, 2017, *“Artificial Intelligence and its implications for income distribution and unemployment”*

Dirk Helbing, Bruno S. Frey, Gerd Gigerenzer, Ernst Hafen, Michael Hagner, Yvonne Hofstetter, Jeroen van den Hoven, Roberto V. Zicari, Andrej Zwitter, 2017, *“Will Democracy Survive Big Data and Artificial Intelligence?”*

Catherine Tucker, 2017, *“Privacy, Algorithms and Artificial Intelligence”*

Capgemini, 2017, *“Turning AI into concrete value: the successful implementers’ toolkit”*

The Boston Consulting Group, MIT Sloan Management Review, 2017 *“Reshaping business with artificial intelligence”*

Accenture, 2018, *“Reworking the Revolution: Are you ready to compete as intelligent technology meets human ingenuity to create the future workforce”*

### Siti web

<https://futureoflife.org/>

<https://www.ai4business.it/>