

**UNIVERSITA' TELEMATICA "e-Campus"**

Facoltà di Scienze dell'Economia

Corso Di Laurea Magistrale in Scienze Economiche

INTELLIGENZA ARTIFICIALE, PROGRESSO TECNICO E SVILUPPO  
ECONOMICO.

Relatore: Chiar.mo Prof. Gaetano Lisi

Tesi di laurea di:

Davide Nalin

Matricola numero 3289985

Anno Accademico 2021 / 2022

«Questo giardino è bellissimo» disse P.D.

G.P. annuì. «E l'abbiamo trovato solo perché abbiamo sbagliato strada un sacco di volte».

L'introduzione ad una tesi dovrebbe essere preceduta da una breve presentazione da parte dell'autore del proprio lavoro, nonché dalla narrazione delle proprie fatiche.

Consapevole, per esperienza diretta, dei rischi che si corrono navigando controcorrente, preferisco non abdicare ai miei ideali e spiegare *perché* questa tesi esiste.

Mi sono laureato in giurisprudenza nel non troppo lontano 29.10.2003. Ho sempre amato il diritto e sino a qualche anno fa lo consideravo la scienza per eccellenza, sia perché in grado di razionalizzare i comportamenti umani sia perché strumento ottimale per tutelare i soggetti più deboli.

Ad un certo punto della mia vita, tuttavia, il diritto – o forse dovrei dire la sua fantasiosa interpretazione e applicazione – mi si è come rivoltato contro, costringendo a confrontarmi con categorie non più giuridiche, ma frutto di alcune storture del sistema. Ho allora provato un senso di smarrimento così forte da sentire l'esigenza di ampliare i miei orizzonti e di rivolgermi verso altre branche del sapere.

Un giorno, sbagliando strada, mi sono imbattuto in una grande insegna dell'università che ho frequentato e mi sono domandato: *“perché non “tornare” a studiare scienze dell'economia?”*.

Dico *“tornare”* perché, prima di iscrivermi alla facoltà di giurisprudenza, il mio sogno era di diventare un economista e di scoprire nuove teorie per contribuire ad un miglioramento del mondo. Per una questione di ideali di *“giustizia”*, invece, scelsi di intraprendere una strada differente.

Posso concludere di avere sbagliato strada quando nel 1998 decisi di diventare un giurista? Presto per dirlo, perché i conti si fanno sul letto di morte.

Ciò che è certo è che nella vita, grazie agli insegnamenti di mia madre e di mio padre, ho deciso di non avere rimpianti e di rimettermi alla prova.

E scelta migliore non potevo fare, perché, al termine di questo percorso di studi, le scienze economiche mi hanno restituito quel senso di sicurezza di cui l'erronea applicazione del diritto mi aveva privato.

Infatti, in economia, a differenza di quanto purtroppo sta accadendo sempre più negli ultimi anni nell'applicazione della legge, A significa A, non B o, peggio, C.

Gli economisti, inoltre, a differenza di molti giuristi, argomentano le loro tesi dal punto di vista logico e sono lontani da preconcetti e da derive moralistiche (dove prevale evidentemente la morale soggettiva, spesso utilizzata per colpire le persone ritenute scomode o, peggio, i "nemici" del sistema).

Queste poche parole sono il *perché* della mia tesi: desiderio di recuperare la centralità della scienza, di ripudiare il soggettivismo ed il moralismo e, non da ultimo, entusiasmo nell'esplorare nuove frontiere dello studio per poter raggiungere il prossimo "*giardino bellissimo*" nel quale fermarmi per un po' di tempo, prima di rimettermi in viaggio.

Venendo al capitolo ringraziamenti, vorrei ringraziare innanzitutto San Leopoldo Mandic, per aver consentito di riposare serenamente sulla barca mentre il mare era tempestoso.

Un sentito grazie anche a chi mi ha perseguitato, perché questa seconda laurea, senza il contributo di Lor Signori, non esisterebbe. E chissà quante altre belle avventure potrò intraprendere grazie a Costoro!

Grazie anche a chi è saltato giù dalla barca quando il mare era in tempesta: una barca con marinai scarsi non può che andare alla deriva. Così, per Divina Provvidenza e grazie alla mia resilienza, non è stato.

Dedico, infine, questa tesi a chi c'è sempre stato (pochissimi ma ottimi), anche quando si naviga(va) in acque tempestose.

*«Quando si chiude una porta, si può riaprire di nuovo, perché di solito è così che funzionano le porte». A. Einstein*

## INDICE

### CAPITOLO I. L'Intelligenza Artificiale.

1. Premessa metodologica.
2. L'Intelligenza Artificiale: che cosa è esattamente?
3. Le origini dell'Intelligenza Artificiale.
4. Intelligenza Artificiale e le sue applicazioni (rinvio).
5. Intelligenza Artificiale e ambienti.
6. L'attività di ricerca.
7. La soluzione dei problemi tramite l'Intelligenza Artificiale: un esempio pratico.
8. Intelligenza Artificiale: la quarta rivoluzione industriale?
9. Conclusioni.

### CAPITOLO II. Intelligenza Artificiale e applicazioni tecniche.

1. Il ruolo dell'Intelligenza Artificiale nella tecnologia: inquadramento.
2. Intelligenza Artificiale e scienze del I tipo.
  - 2.1. Matematica.
  - 2.2. Ingegneria informatica.
  - 2.3. Cibernetica.
  - 2.4. Neuroscienze.

3. Intelligenza Artificiale e scienze del II tipo.

3.1. Economia.

3.2. Diritto.

3.3. Psicologia.

3.4. Linguistica.

4. Intelligenza Artificiale e scienze del III tipo.

5. Conclusioni.

CAPITOLO III. Intelligenza Artificiale e crescita economica.

1. La crescita economica: prospettive introduttive.

2. La funzione aggregata di produzione.

2.1. Produttività marginale.

2.2. I rendimenti di scala.

3. Il modello di crescita economica di Harrod-Domar.

4. I cinque fatti stilizzati di Kaldor.

5. Il modello di crescita economica di Solow.

6. Crescita esogena e crescita endogena

7. Intelligenza artificiale e funzione di produzione.

7.1. Il rapporto tra lavoro, capitale e l'intelligenza artificiale.

7.2. Una possibile rilettura del modello di crescita di Solow.

7.3. Una possibile rilettura del modello di Harrod-Domar.

7.4. Intelligenza Artificiale e *New growth theory*.

8. Conclusioni.

#### CAPITOLO IV. Intelligenza Artificiale, sviluppo economico e diseguaglianze.

1. Il futuro del progresso tecnologico.

2. La disoccupazione tecnologica.

3. La teoria del “rimescolamento” e disuguaglianza.

3.1. La disuguaglianza salariale e le sue cause.

3.2. La disuguaglianza ed il top 1%.

4. Intelligenza Artificiale, disuguaglianza e concorrenza.

5. Intelligenza Artificiale e surriscaldamento globale.

6. Intelligenza Artificiale e Indice di Sviluppo Umano.

7. Conclusioni.

#### CAPITOLO V. Il futuro dell’Intelligenza Artificiale

1. Le macchine possono realmente pensare?

2. Intelligenza Artificiale ed etica.

3. I possibili rischi dell'Intelligenza Artificiale.

3.1. Armi letali autonome

3.2. Intelligenza Artificiale, sorveglianza, sicurezza e possibili conflitti con la *privacy*.

3.3. Le disuguaglianze (rinvio).

4. I diritti dei *robot*.

5. La *robot*-apocalisse: fantascienza o realtà prossima?

6. Conclusioni.

## **CAPITOLO I. L'Intelligenza Artificiale.**

### **1. Premessa metodologica.**

Negli ultimi anni il dibattito sulla Intelligenza Artificiale sta affollando le prime pagine dei principali quotidiani e delle riviste specializzate in materia di economia, scienza (*in primis* fisica, informatica, ingegneria, biologia e medicina) e diritto.

E', tuttavia, sufficiente, leggere attentamente alcuni articoli e contributi per rendersi conto che, salvo rare eccezioni, l'approccio degli studiosi è più orientato verso l'analisi di *cosa possa fare* l'Intelligenza Artificiale, anziché sulla comprensione esatta di *cosa essa sia* e di *quali effetti*, in termini anche di esternalità, possa produrre nel mondo (e, volendo adottare un approccio ancor più pionieristico, nell'universo intero).

Il presente lavoro si prefigge la finalità di ripristinare un corretto approccio scientifico, seguendo la sequenza *causa-effetto* e falsificando di volta in volta le varie conclusioni che si esporranno.

Si ritiene, pertanto, necessario partire dalla analisi delle origini della Intelligenza Artificiale, ovvero dalla sua nascita, per fornirne successivamente una definizione e spiegare le modalità con le quali essa opera (Capitolo I).

Successivamente, si procederà ad una disamina delle applicazioni tecniche dell'Intelligenza Artificiale (Capitolo II), al fine di comprendere quali effetti essa sia in grado di produrre sui principali modelli di crescita economica e sulla funzione di produzione (Capitolo III).

Un siffatto studio servirà per rispondere ad uno dei principali quesiti che la comunità scientifico-economica si sta attualmente ponendo: si può impiegare l'Intelligenza Artificiale per assicurare anche lo sviluppo economico e la crescita economica – e, dunque, per ridurre le disuguaglianze (Capitolo IV) – oppure essa diventerà uno strumento non più controllabile dall'uomo (Capitolo V)?

Prima di iniziare la trattazione, occorre effettuare un'ultima, ma non meno importante, notazione metodologica.

Nel presente lavoro si impiegheranno leggi di copertura di origine rigorosamente scientifica e ricavate da una analisi condotta esclusivamente su testi riconosciuti e validati dalla comunità scientifica. Infatti, in un'epoca sempre più orientata verso il sapere “*mainstream*”, si è deciso di prendere nettamente le distanze dal metodo di ricerca induttivo – e, si passi il termine, “banale” – condotto tramite *internet* o fonti equiparate (ragion per cui non sarà riportata alcuna sitografia) e di (ri)mettere al centro dello studio il sapere scientifico, unico in grado di garantire il progresso dell'umanità, grazie anche alla Intelligenza Artificiale.

## **2. L'Intelligenza Artificiale: che cosa è esattamente?**

Il termine Intelligenza Artificiale, meglio noto con l'acronimo “I.A.”, fu coniato per la prima volta da John McCarthy del Dartmouth College nel 1955 e fu utilizzato nel corso di un *workshop* tenutosi nel 1956 a Dartmouth ed avente per oggetto lo studio degli automi, delle reti neurali e della stessa Intelligenza Artificiale.

L'I.A. si compone del sostantivo “intelligenza” e dell'aggettivo “artificiale.

La definizione formale del sostantivo “intelligenza” coincide con il concetto di razionalità, da intendersi, da un punto di vista generale, come quel processo di pensiero e di ragionamento che, attraverso l’ applicazione di leggi di copertura appartenenti alle scienze naturali (ad esempio fisica o matematica), sociali (si pensi all’ economia) o morali (ad esempio: estetica), permette al soggetto agente di comprendere con precisione la realtà e di realizzare una o più azioni che siano conformi alle finalità che ne giustificano il loro compimento. L’essere “intelligente”, dunque, governa il mondo reale e, in presenza di certe condizioni, può orientarlo in senso conforme ai propri obiettivi.

La scienza specifica tale definizione e qualifica come razionale l’agente che, per ogni possibile sequenza di percezioni, agisce tramite appositi sensori, sceglie un’azione da compiere attraverso alcuni attuatori, che massimizzi il valore atteso della sua misura di prestazione, date le informazioni fornite dalla sequenza percettiva e da ogni ulteriore conoscenza dell’agente.

Razionalità non significa, tuttavia, perfezione, in quanto la razionalità massimizza un risultato atteso, mentre la perfezione massimizza quello reale.

Un agente razionale, per massimizzare il risultato atteso, dovrebbe anzitutto procedere ad una corretta attività di *information gathering*, ovvero esplorare l’ambiente circostante e raccogliere informazioni coerenti con i propri obiettivi.

In secondo luogo, esso dovrebbe essere in grado di apprendere il più possibile dalle informazioni raccolte sulla base delle proprie percezioni.

Infine, l’agente dovrebbe essere autonomo, ovvero capire il più possibile, al fine di compensare la presenza di una conoscenza parziale o erronea.

Un agente capace di apprendere può essere suddiviso in quattro componenti astratte:

- 1) elemento critico;
- 2) elemento di apprendimento;
- 3) generatore di problemi;
- 4) elemento esecutivo.

Le varie componenti interagiscono con l'ambiente esterno (in entrata tramite i sensori ed in uscita tramite gli attuatori) e sono in relazione tra di loro.

Più precisamente, l'elemento di apprendimento è responsabile del miglioramento interno, mentre l'elemento esecutivo si occupa della selezione delle azioni esterne, da realizzarsi tramite appositi attuatori.

L'elemento di apprendimento, a sua volta, utilizza informazioni provenienti dall'elemento critico e determina se e come modificare l'elemento esecutivo, affinché in futuro operi meglio.

Il generatore di problemi è un elemento il cui scopo è suggerire azioni che portino ad esperienze nuove e significative. Se si programmasse l'agente garantendo la prevalenza dell'elemento esecutivo, esso continuerebbe a ripetere le azioni che ritiene migliori date le conoscenze attuali.

Tuttavia, se si consente all'agente di esplorare altre possibilità e di compiere nel breve termine qualche azione subottimale, potrebbe scoprire l'esistenza di azioni migliori a lungo termine.

Venendo alla analisi dell'aggettivo "artificiale", esso presuppone che l'Intelligenza, come più sopra definita, sia imputabile ad una entità differente dall'uomo o, più in generale, da qualsiasi essere vivente e pensante (ammesso e non concesso, ad oggi, che alle macchine sia precluso di pensare).

La sfida principale dell'I.A. risiede nell'individuare il modo di scrivere programmi che, nella misura massima possibile, producano un comportamento razionale con una piccola quantità di codice, anziché con un'enorme tabella contenente una complessa sequenza percettiva.

L'Intelligenza Artificiale è spesso confusa con l'"apprendimento automatico", noto anche con il termine "*machine learning*".

Il rapporto tra le due entità, tuttavia, non è di identità, ma di genere a specie, nel senso che l'apprendimento automatico è uno dei rami dell'I.A. Infatti, alcuni sistemi di I.A. usano metodi di apprendimento automatico per raggiungere livelli di competenza richiesti, altri no.

La definizione di Intelligenza Artificiale rischierebbe di rimanere un mero contenitore, una veste quindi formale, se non si comprendesse appieno anche la sua origine, la sua evoluzione e come essa opera nei vari ambienti (da quelli asettici a quelli reali, da quelli meno complessi a quelli più complessi).

Ma procediamo con ordine, principiando la disamina dalla storia dell'I.A., in quanto, come ricorda Tucidide, *«bisogna conoscere il passato per capire il presente ed orientare il futuro»*.

### **3. Le origini dell'Intelligenza Artificiale.**

L'Intelligenza Artificiale è uno straordinario risultato la cui evidenza si è manifestata negli ultimi 60 anni. Essa, tuttavia, è il frutto di un percorso piuttosto lungo, iniziato ancora prima della nascita di Cristo.

In questo paragrafo si passeranno in breve rassegna alcune invenzioni che hanno contribuito alla creazione della I.A., attraverso l'elaborazione di idee e processi tecnici, lasciando invece al prosieguo della trattazione l'analisi delle sue principali applicazioni.

Aristotele (384-322 a.C.) fu il primo filosofo a sviluppare un sistema di sillogismi deputati al governo del ragionamento corretto. L'applicazione di tali regole avrebbe consentito a chiunque, date alcune premesse iniziali, di pervenire in modo meccanico alle conclusioni.

Il sillogismo aristotelico maggiormente noto ha natura deduttiva. Esso, in presenza di un fatto noto (premessa minore), a cui si applica una regola (premessa maggiore), permette di pervenire a conseguenze (conclusione) certe e coerenti con le premesse.

La tabella 1) illustra le modalità di funzionamento del sillogismo deduttivo, con un esempio.

1)

PREMESSA MINORE	PREMESSA MAGGIORE	CONCLUSIONE
Socrate è uomo	Tutti gli uomini sono morali	Socrate è un uomo mortale

Il sillogismo deduttivo, tuttavia, consegna conclusioni sicure soltanto quando si dispone di una regola universale, ovvero valida nel 100% dei casi.

Nel mondo reale, tuttavia, è difficile rinvenire tali regole, in quanto le leggi di governo della realtà, anche se esatte, devono prendere in considerazione anche un numero  $n$  di variabili, che possono minarne il funzionamento.

Tale problema verrà risolto molti anni più tardi da Rudolf Carnap (1891-1970) e da Carl Hempel (1905-1997), i quali hanno elaborato la teoria della conferma, grazie alla quale è

possibile falsificare determinate ipotesi, rafforzando la validità delle conclusioni cui si perviene nella costruzione dei sillogismi (tecnica della *corroboration* e della *cumulative redundancy*).

Si deve, invece, a David Hume (1711-1776) l'elaborazione e lo studio preciso del sillogismo induttivo, il quale consente di inferire regole generali da ripetute associazioni tra gli elementi che le compongono.

I sillogismi sono alla base della I.A., in quanto consentono, a quella che per ora chiameremo entità intelligente, di:

- 1) raccogliere informazioni coerenti con le premesse minori del sillogismo;
- 2) apprendere il più possibile dalle informazioni raccolte sulla base delle proprie percezioni, alla cui base sono poste le regole elaborate grazie ai sillogismi;
- 3) essere autonoma, ovvero massimizzare la curva di apprendimento, al fine di compensare la presenza di una conoscenza parziale o erronea.

Raimondo Lullo (1232-1315), grazie alla sua opera intitolata "*Ars Magna*", è stato il primo a tradurre in un'opera tangibile un sistema di ragionamento. Egli, infatti, costruì un dispositivo meccanico costituito da una serie di ruote di carta che potevano girare in diverse permutazioni.

L'obiettivo consisteva nel collegare, anche tramite schemi e figure, una serie di concetti fondamentali, in modo tale da elaborare un'enciclopedia universale, in grado di ottenere conclusioni vere in ogni campo scientifico.

Nel 1500 Leonardo da Vinci (1452-1519) progettò un calcolatore meccanico, senza tuttavia riuscire a tradurlo in un'opera concreta. Alcune ricostruzioni recenti hanno

dimostrato che il progetto era corretto ed il calcolatore funzionava in modo conforme alle aspettative del suo Ideatore.

Sillogismi (Aristotele), sistemi meccanici di ragionamento (Raimondo Lullo) e calcolatori (Leonardo da Vinci) rappresentano i primi antenati della I.A., la quale, tuttavia, deve la sua esistenza soprattutto agli algoritmi.

Il termine *algoritmo* risale a Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi, un matematico del IX secolo. Tuttavia, secondo i più recenti studi, il primo algoritmo non banale è stato elaborato da Euclide, per il calcolo del massimo comune denominatore.

George Boole (1815-1864) analizzò gli algoritmi per lo studio della logica e dei sillogismi. A tali studi si ispirò anche Kurt Godel (1906-1978), il quale dimostrò che esisteva una procedura di calcolo atta a dimostrare ogni enunciato vero nella logica di prim' ordine di Frege e Russel, ma che tale logica non può esprimere il principio di induzione matematica necessario per definire i numeri naturali.

Nel teorema della incompletezza, Godel affermò che all'interno di qualsiasi teoria formale di potenza pari almeno a quella dell'aritmetica di Peano (teoria elementare dei numeri naturali) esistono enunciati necessariamente veri ma che non sono dimostrabili restando all'interno della teoria. Tale conclusione si può anche interpretare nel senso che la dimostrazione enunciata funzioni sui numeri interi che non possono essere rappresentati per via algoritmica e, pertanto, non sono computabili.

Si deve ad Alan Turing (1912-1954) la definizione di quali funzioni siano computabili, ovvero calcolabili con una procedura di calcolo. La sua tesi propose di individuare il concetto generale di calcolabilità utilizzando una serie di funzioni computate da una macchina, denominata "macchina di Turing".

Essa rappresenta un modello astratto, ideale, la quale permette di definire una macchina in grado di eseguire algoritmi e dotata di un nastro di lunghezza potenzialmente infinita. Si deve sempre a Turing la dimostrazione dell'esistenza di funzioni che la sua macchina non è in grado di calcolare.

A titolo esemplificativo, nessuna macchina è in grado di stabilire se, *in generale*, un determinato programma, ricevuto uno specifico *input*, consegnerà un risultato o continuerà la esecuzione per un tempo infinito.

Il concetto di computabilità è fondamentale per capire le origini ed il funzionamento della I.A. Ancora più importante, tuttavia, è il concetto di trattabilità, che ha avuto un impatto ancora maggiore.

Semplificando al massimo concetti alquanto complessi, si può affermare che un problema è intrattabile qualora il tempo necessario per risolvere una determinata istanza cresca esponenzialmente con la dimensione dell'istanza medesima.

Un' applicazione di quanto illustrato si rinviene nella teoria della NP-completezza, riconducibile a Cook (1971) e Karp (1972), secondo cui ogni classe di problemi a cui si può ridurre quella dei problemi NP-completi è con elevato grado di probabilità intrattabile.

Un esempio aiuterà meglio a chiarire i termini della questione. Una ipotesi di problema NP-completo è quello delle somme parziali, ovvero: dato un insieme finito di numeri parziali intero, occorre determinare se esiste un sottoinsieme tale per cui la somma dei suoi elementi sia zero.

È evidente che è facile verificare se un sottoinsieme sia o meno una soluzione del problema, ma non è noto alcun metodo per individuare una soluzione che sia più veloce

rispetto a quella consistente nel provare tutti i possibili sottoinsiemi, tranne i due che contengono tutti i numeri concordi.

La teoria della NP-completezza sembra rappresentare ad oggi un limite per la I.A., poiché, nonostante la potenza sempre più crescente dei calcolatori, i sistemi intelligenti dovranno effettuare un uso molto accurato delle risorse computazionali disponibili.

Come si avrà modo di vedere nel prosieguo, le reti neurali e, in particolare, i *computers* neurali potrebbero rappresentare in un futuro non troppo lontano un efficace strumento di soluzione dei problemi NP-completi, la cui elaborazione rappresenta, dunque, un passaggio fondamentale nello sviluppo della I.A.

#### **4. Intelligenza Artificiale e le sue applicazioni (rinvio).**

Una corretta comprensione di *cosa sia* l'Intelligenza Artificiale richiede altresì di studiare le sue applicazioni nelle scienze, ovvero *come* essa opera e *quali effetti* produce.

La tematica, tuttavia, richiede una trattazione dedicata in un apposito capitolo, cui pertanto si rinvia (Capitolo II), in quanto essa si salda in maniera inscindibile con le questioni relative alla crescita economica (Capitolo III) ed allo sviluppo economico (Capitolo IV).

#### **5. Intelligenza Artificiale e ambienti.**

La definizione sopra fornita di Intelligenza Artificiale consente ora di passare dalla dimensione astratta a quella concreta e, conseguentemente, di introdurre alcune regole

che devono presiedere alla *creazione* di un soggetto agente destinato ad operare nel mondo reale.

Tale creazione, tuttavia, postula anzitutto l'individuazione degli *ambienti operativi*, i quali coincidono essenzialmente con i *problemi* di cui gli agenti razionali rappresentano le soluzioni.

Il primo passaggio da compiere è dunque, la creazione di un ambiente operativo.

Da un punto di vista generale gli ambienti operativi possono essere così classificati:

- 1) ambiente completamente osservabile e parzialmente osservabile, a seconda che i sensori di un agente diano o meno accesso allo stato completo dell'ambiente in ogni momento;
- 2) ambiente ad agente singolo e multiagente, a seconda che vi operino uno o più agenti. A titolo esemplificativo, il gioco degli scacchi è un ambiente competitivo multiagente;
- 3) ambiente deterministico e non deterministico: se lo stato successivo dell'ambiente è completamente determinato dallo stato corrente e dall'azione eseguita dall'agente (o dagli agenti), allora si può dire che l'ambiente è deterministico; in caso contrario, non lo è;
- 4) ambiente episodico e sequenziale: soltanto in un ambiente operativo episodico, l'esperienza dell'agente è suddivisa in episodi atomici;
- 5) ambiente statico e dinamico;
- 6) ambiente discreto e continuo;
- 7) ambiente noto e ignoto.

L'individuazione degli ambienti operativi è strumentale alla corretta creazione degli algoritmi di ricerca, come si vedrà a breve nel §6.

## **6. L'attività di ricerca.**

L'Intelligenza Artificiale deve agire in determinati ambienti operativi, attraverso appositi strumenti, i quali prendono il nome di **algoritmi di ricerca**.

Un algoritmo di ricerca riceve in *input* un problema di ricerca e restituisce una soluzione o un indicatore di fallimento.

Si può rappresentare l'algoritmo di ricerca ricorrendo alla tecnica della sovrapposizione tra albero di ricerca ed il grafo dello spazio degli stati, formando in tal modo vari cammini a partire dallo stato iniziale, al fine di trovarne uno che raggiunga uno stato obiettivo.

Ciascun nodo nell'albero di ricerca rappresenta uno stato nello spazio degli stati e i rami dell'albero di ricerca sono le azioni. La radice dell'albero, invece, corrisponde allo stato iniziale del problema.

Lo spazio degli stati va tenuto distinto dall'albero di ricerca. Il primo, infatti, descrive l'insieme, che può essere anche infinito, degli stati nel mondo e le azioni che permettono di passare da uno stato all'altro. L'albero di ricerca, invece, descrive i cammini tra siffatti stati per raggiungere l'obiettivo.

È facile comprendere che in ogni albero di ricerca possono esserci più cammini per raggiungere qualsiasi stato (e, conseguentemente, più nodi corrispondenti allo stesso stato), tuttavia per ogni nodo dell'albero c'è un unico cammino per tornare alla radice del problema.

Un esempio può aiutare a meglio comprendere il meccanismo di funzionamento di quanto illustrato.

Si immagini che un agente si trovi ad Arad in Romania e debba recarsi all'aeroporto di Bucarest.

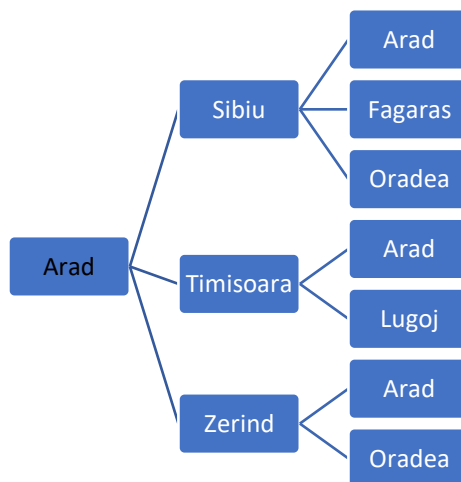
L'agente osserva la segnaletica stradale e vede che ci sono tre strade che partono da Arad: una verso la città di Sibiu, una verso Timisoara ed una verso Zerind. Nessuna di queste tre città, tuttavia, è l'obiettivo.

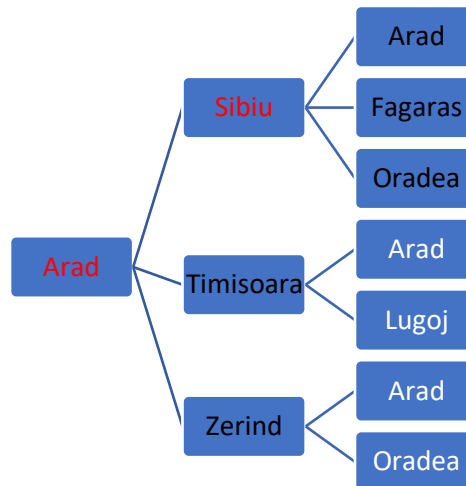
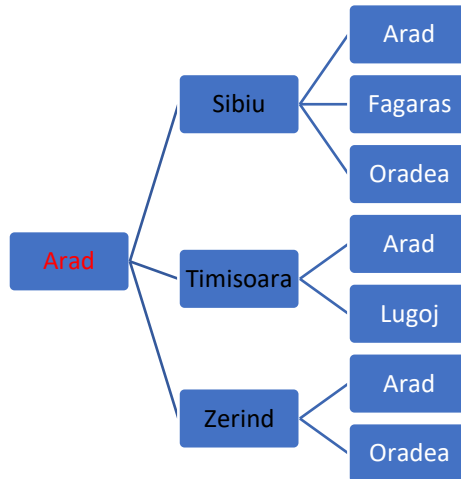
Supponiamo, altresì, che il soggetto disponga di una mappa cartacea, altrimenti si sarebbe in presenza di un ambiente ignoto e l'unica possibilità, *rebus sic stantibus*, consisterebbe nell'affidarsi ad una scelta casuale.

Onde evitare di appesantire la trattazione, si ometterà in tale sede di riportare la mappa semplificata delle strade della Romania, per soffermarsi sulla elaborazione concettuale dell'algoritmo.

Il soggetto agente, come illustrato nella figura 2), elaborerà tre alberi di ricerca parziali per trovare l'itinerario da Arad a Bucarest.

2)





Nei tre alberi di ricerca parziale, i nodi già espansi sono indicati in caratteri di colore rosso; quelli della frontiera, che sono stati generati ma non ancora espansi, sono indicati

con caratteri di colore nero. Infine, i nodi che potrebbero essere generati al passo successivo sono rappresentati dal carattere di colore bianco.

Applicando la sequenza di alberi di cui alla figura 2) al grafo della mappa stradale della Romania, si ottiene l'algoritmo di ricerca. Ciascuna città indicata negli alberi di ricerca rappresenta un nodo nella mappa (ovvero uno stato nello spazio) e i vari rami che collegano le città (ovvero le reti stradali ed autostradali) corrispondono ad azioni ("spostarsi" verso precisi punti cardinali).

Nel corso della ricerca, occorre scegliere quali nodi figli considerare e, quindi, espandere.

Come si decide quale nodo della frontiera espandere? Un approccio molto generale, cui è sufficiente far riferimento in tale sede, consiste nella ricerca first-best, nella quale si sceglie un nodo  $n$  che corrisponde al valore minimo di una funzione di valutazione  $f(n)$ .

## **7. La soluzione dei problemi tramite l'Intelligenza Artificiale: un esempio pratico.**

L'illustrazione dei concetti basilari che presiedono al funzionamento dell'Intelligenza Artificiale consente ora di porsi un'altra fondamentale domanda: quali problemi si possono risolvere tramite l'I.A.? La risposta è semplice: potenzialmente tutti.

L'impiego dell'avverbio "potenzialmente" dipende dalla circostanza che, attualmente, la scienza è riuscita ad elaborare numerosi algoritmi, il cui funzionamento, tuttavia, richiede l'impiego di macchine con capacità di calcolo – e di "ragionamento" – ancor oggi di difficile realizzazione.

L'avvento del computer neurale – il cui funzionamento si ispira alle reti neurali del cervello umano – e la sua diffusione su larga scala consentiranno di pervenire a risultati in termini di ricerca e di *problem solving* ad oggi impensabili.

Senza correre troppo in là con la immaginazione nel futuro, si può affermare che l'I.A. consente già ora di risolvere numerosi problemi.

In tale capitolo ci si limiterà ad analizzare il problema della mobilità, in quanto strettamente connesso con gli algoritmi di ricerca di cui si è parlato nel §6, rinviando invece al Capitolo 2 l'analisi delle applicazioni tecniche della I.A.

Una notazione preliminare è tuttavia necessaria, al fine di chiarire la differenza tra soluzione di un problema tramite la I.A. e la sua applicazione tecnica.

La soluzione di un problema è il fine, la *causa* giustifica l'elaborazione di un algoritmo di ricerca, il quale riceve in *input* un problema di ricerca e restituisce una soluzione o un indicatore di fallimento.

L'applicazione tecnica della I.A., invece, è la soluzione al problema, realizzata tramite le regole del sapere scientifico (per l'appunto *tecniche*).

Ciò precisato in termini generali, poniamoci ora la seguente domanda: come si può *migliorare* la mobilità urbana? Il concetto di *miglioramento* implica nel nostro progetto:

- 1) efficienza: ridurre al minimo il tempo di percorrenza del tragitto dal luogo A al luogo B;
- 2) efficacia: raggiungere il luogo prescelto nell'ora prestabilita, senza incorrere in incidenti;

- 3) economicità: ridurre al minimo l'esborso economico richiesto per completare il tragitto programmato.

L'ambiente nel quale l'agente è chiamato ad operare è rappresentato dalle strade urbane e presenta le seguenti caratteristiche:

- 1) è un ambiente completamente osservabile, in quanto si dispone delle conoscenze tecniche per elaborare un macchinario (ad esempio: sensori e telecamere), dotato di sensori che danno accesso allo stato completo dell'ambiente in ogni momento;
- 2) è multiagente, in quanto vi operano più agenti, alla guida dei rispettivi veicoli;
- 3) è non deterministico, poiché lo stato successivo dell'ambiente non è completamente determinato dallo stato corrente e dall'azione eseguita dall'agente (o dagli agenti);
- 4) è tendenzialmente sequenziale: la scelta di una determinata azione dipende tendenzialmente dalle scelte fatte negli stati precedenti;
- 5) è dinamico;
- 6) è discreto, perché la mappa di una città, al pari di una scacchiera, può formare oggetto di semplificazione e discretizzazione (esempio: suddivisione in paralleli e meridiani);
- 7) è, infine, un ambiente noto.

Il problema, come è facile comprendere, è alquanto più complesso di quello illustrato nel §6, in cui il soggetto agente doveva semplicemente recarsi da Arad a Bucarest. Nel caso che si sta illustrando, invece, nel progetto di ricerca sono introdotti altri elementi caratterizzanti (ovvero l'obiettivo di migliorare la mobilità urbana e non solo spostarsi

dal luogo A al luogo B). Gli algoritmi da impiegare, pertanto, saranno numerosi e di complessa elaborazione.

Una possibile soluzione al problema che ci si è posti è rappresentata dalla adozione di auto a guida completamente autonome, in grado di “dialogare” tra di loro (evitando in tal modo collisioni) e di apprendere le abitudini degli altri automobilisti e, quindi, scegliere l’orario ed il percorso meno trafficati, compatibilmente con le esigenze dei soggetti.

Come si vede, dunque, esiste un rapporto di proporzionalità diretta tra difficoltà dei problemi e grado di complessità dei algoritmi.

## **8. Intelligenza Artificiale: la quarta rivoluzione industriale?**

Secondo la maggior parte degli studiosi delle scienze economiche, definiti *trasformativisti*, la crescente diffusione dell’Intelligenza Artificiale, unitamente alle sue applicazioni tecniche, consente di affermare che oggi si è al cospetto di una vera e propria quarta rivoluzione industriale – dominata dagli *algoritmi* – e destinata a produrre importanti effetti favorevoli sull’occupazione e, più in generale, sullo sviluppo economico e, non da ultimo, sulla sostenibilità dell’attività di impresa.

A tale corrente di pensiero si contrappongono gli *scettici*, ovvero coloro i quali ritengono che l’economia globale stia procedendo con un *trend* sostanzialmente identico rispetto alla terza rivoluzione industriale, caratterizzata, come noto, dal largo impiego dei *computers* e della robotica.

Chi scrive ritiene di aderire alla prima impostazione, con le precisazioni che seguono.

Come si è avuto modo di argomentare nel corso della presente trattazione, l'Intelligenza Artificiale, grazie agli algoritmi, ha raggiunto oramai un grado di sviluppo e di autoapprendimento degli ambienti circostanti che consente di affermare senza timore di smentita che essa rappresenti non solo un semplice passo in avanti rispetto all'impiego della robotica e dei *computers* nelle attività tecniche, ma anche e soprattutto un nuovo modello di soluzione dei problemi.

Tuttavia, non si è ancora pervenuti a quel grado di *perfezione* raggiungibile con l'invenzione di macchine neurali, che rappresenteranno il vero salto generazionale rispetto agli enormi passi in avanti compiuti con la terza rivoluzione industriale.

Alla luce di quanto detto, può ritenersi a ragion veduta che si è al cospetto di una rivoluzione industriale 3.5, in quanto ci si trova in uno stato di transizione verso una nuova era, che sarà caratterizzata da un largo impiego della I.A. giunta ad uno sviluppo talmente avanzato da essere equiparabile al funzionamento del cervello umano.

## **9. Conclusioni.**

Nel corso del presente capitolo si è cercato di fornire le nozioni basilari e strumentali alla comprensione di *cosa* sia e *come* operi la Intelligenza Artificiale.

Tali concetti devono ora essere misurati con gli *effetti* che l'I.A. produce nel mondo esteriore.

Prima di valutare gli *effetti economici* è tuttavia operazione preliminare soffermarsi sulle applicazioni tecniche, le quali costituiscono un *prius* logico rispetto allo studio dei primi.

## **CAPITOLO II. Intelligenza Artificiale e applicazioni tecniche.**

### **1. Il ruolo dell'Intelligenza Artificiale nella tecnologia: inquadramento.**

Il termine tecnologia indica un settore di ricerca piuttosto ampio, nel quale si studia l'applicazione delle più variegate discipline tecniche e scientifiche al fine di risolvere problemi pratici caratterizzati da un elevato grado di complessità.

L'Intelligenza Artificiale, così come definita nel Capitolo I, ha un ruolo preminente nella tecnologia, consentendone uno sviluppo avanzato e, dunque, in grado di fornire soluzioni alla portata di qualsiasi soggetto che abbia accesso ai sistemi di I.A.

Il presente capitolo adotta un approccio innovativo rispetto a quello tradizionalmente seguito nei testi tradizionali. Si è, infatti, deciso di non procedere ad una (sterile) elencazione delle applicazioni tecniche della I.A., facilmente rinvenibile anche nelle fonti di cognizione “*mainstream*”, ma di riportare, anche in tal caso, al centro del dibattito la *scienza applicata*.

Pertanto, dapprima si definiranno le scienze impiegate nella presente trattazione, suddivise in scienze del I, del II e del III tipo, per poi analizzare la interazione tra di esse e l'Intelligenza Artificiale.

### **2. Intelligenza Artificiale e scienze del I tipo.**

Le scienze del I tipo si affidano a modelli matematici, che servono per la loro elaborazione, come ad esempio la matematica (aritmetica, algebra, geometria), l'informatica, la fisica, la chimica e la cibernetica.

Tali scienze, dette anche “pesanti”, sono esatte poiché elaborano leggi dotate di natura universale, ovvero con un grado di validità pari ad 1.

Tali leggi, a loro volta, costituiscono la base di altre scienze, che pure presentano un elevato grado di formalizzazione, come l’economia, la statistica, la biologia, l’astronomia, le scienze della terra.

Alla luce di quanto detto, si sarebbe portati a ritenere che l’interazione tra Intelligenza Artificiale e scienze esatte conduca a risultati validi nel 100% dei casi. Ciò non è sempre vero, poiché, come si è già avuto modo di vedere nel corso dell’analisi condotta nel Capitolo I, il funzionamento di una legge esatta deve essere sempre valutato in base alle numerose variabili presenti negli ambienti nei quali la I.A. opera.

Così, a titolo esemplificativo, le auto a guida autonoma impiegano algoritmi che si caratterizzano anche per l’impiego di scienze esatte, prime tra tutte le leggi della fisica.

Si potrebbe, tuttavia, obiettare che le leggi della fisica sono “perfette” soltanto in laboratorio, poiché nel mondo reale devono necessariamente tenere conto di numerose variabili, prime tra tutte le azioni delle altre auto a guida autonome.

Un siffatto approccio, tuttavia, non solo sarebbe non corretto, ma rischierebbe di essere fuorviante, in quanto, tornando all’esempio delle auto a guida autonoma, l’algoritmo considererà le leggi della fisica, assumendole come “perfette” (si pensi, a titolo esemplificativo, alla equazione  $F=ma$ , ovvero Forza uguale massa moltiplicata per la accelerazione) e le altre variabili, acquisite mediante appositi sensori.

Sarà, successivamente, compito dell’algoritmo elaborare una corretta chiave di interazione tra tali elementi, consentendo all’automobile di accelerare, sterzare ed

arrestarsi (leggi della fisica) in piena sicurezza (considerando, cioè, le variabili dell'ambiente nel quale la I.A. opera).

Ciò precisato in linea generale, procediamo ora con la analisi di alcune delle principali scienze esatte.

### **2.1. Matematica.**

La matematica ha svolto – e tuttora svolge – un ruolo cruciale nell'elaborazione della Intelligenza Artificiale, come si è ampiamente argomentato nel precedente capitolo, specie grazie alla creazione degli algoritmi, alla logica formale e alla teoria della probabilità, la cui nascita si deve a Thomas Bayes (1702-1761) e successivamente perfezionata.

L'I.A., debitrice della matematica, può oggi saldare il proprio “debito” attraverso la sua applicazione nella soluzione di problemi particolarmente complessi.

Recenti studi scientifici condotti presso l'Università di Oxford, infatti, hanno dimostrato, a titolo esemplificativo, che l'Intelligenza Artificiale è in grado di scoprire nuovi teoremi e di risolvere alcuni problemi NP-completi.

La matematica, come noto, è anche la base formalistica di numerose scienze, tra cui la chimica; dunque, è facilmente intuibile che tali scoperte potranno avere straordinari effetti nel campo della farmaceutica e, dunque, anche della scienza medica.

### **2.2. Ingegneria informatica.**

L'ingegneria informatica, sin dal suo esordio come scienza autonoma, ha cercato di dare risposta al seguente quesito: come è possibile costruire un *computer* efficiente?

I primi *computers* furono inventati indipendentemente e, dato alquanto singolare, quasi simultaneamente da alcuni scienziati appartenenti alle tre maggiori nazioni coinvolte nella Seconda Guerra Mondiale.

Da allora in poi, ogni generazione di *hardware* per *computers* ha portato ad un incremento di velocità e potenza e ad un abbassamento di prezzo. Tale tendenza è spiegata dalla legge di Moore.

La legge di Moore illustra graficamente come la complicatezza dei circuiti di una struttura informatica raddoppia in un periodo pari a circa 18 mesi.

Infatti, se sull'asse delle ascisse si pone la variabile tempo e sull'asse delle ordinate si inserisce il logaritmo relativo al numero ed alla densità delle componenti che costituiscono il *microchip*, la legge di Moore condurrà alla costruzione di una retta, potenzialmente infinita, crescente, la cui pendenza è pari al raddoppio della complicatezza dei circuiti in un periodo pari a 18 mesi.

Oggi giorno si sta assistendo alla introduzione dei primi *hardware* messi a punto per le applicazioni di I.A., come GPU (*graphical processing unit*), TPU (*tensor processing unit*) e WSE (*wafer scale engine*).

Dagli anni 60 sino a circa l'anno 2012, la potenza di calcolo impiegata per addestrare i sistemi per le principali applicazioni di apprendimento automatico ha seguito la legge di Moore.

A partire dal 2012, sino all'epoca odierna, la situazione ha subito un cambiamento notevole, in quanto il raddoppio della legge di Moore si è ridotto da 18 mesi a 100 giorni. Un modello di apprendimento automatico, che richiedeva un giorno intero di addestramento nel 2014, richiede oggi soltanto qualche minuto (in alcuni casi, persino alcuni secondi).

L'avvento del *computer* quantistico e l'impiego dei *bits* quantistici (meglio noti come *Qubits*), nei quali potranno essere inseriti molti più dati caratterizzati da una maggiore precisione, consentirà di realizzare eccezionali accelerazioni per alcune importanti categorie di algoritmi su cui si basa la I.A.

L'Intelligenza Artificiale, con i suoi algoritmi, è destinata ad avere, quindi, importanti ricadute anche sulla legge di Moore, poiché è evidente che la creazione di macchine quantistiche potrà produrre una diminuzione della variabile tempo ed un aumento della densità dei *microchips* e, quindi, farà aumentare bruscamente la pendenza della retta, a beneficio per progresso tecnico e scientifico.

### **2.3. Cibernetica.**

La migliore definizione di cibernetica si deve a N. Wiener, secondo cui tale ramo della scienza si prefigge la finalità di analizzare «*i processi riguardanti la comunicazione e il controllo nell'animale e nella macchina*».

La cibernetica, dunque, studia e realizza macchinari caratterizzati da un elevato livello di automatismo, destinati a sostituire l'uomo nelle operazioni che richiedono un alto grado di specializzazione ed apprendimento dell'ambiente di riferimento.

La cibernetica è il campo di applicazione elettivo dell'Intelligenza Artificiale. Basti pensare, a titolo esemplificativo, agli impieghi in ambito aerospaziale, con particolare riferimento ai lanci di sonde programmati senza la presenza dell'uomo a bordo e gestiti interamente da *computers* dotati di un elevato grado di sviluppo della I.A. Oppure, si pensi agli avanzati sistemi di pilota automatico di alcuni aerei di linea, in grado di permettere decollo e atterraggio automatici.

#### **2.4. Neuroscienze.**

Le neuroscienze si occupano dello studio del sistema nervoso centrale e periferico e, in particolar modo, del cervello.

Sebbene le modalità con le quali abbia origine il pensiero rimanga ad oggi una delle più grandi domande alle quali non si è riusciti a fornire una adeguata risposta, è un dato acquisito che le alterazioni del cervello (dipendenti da traumi o da patologie) possono portare a *deficit* mentali.

Gli studi aventi ad oggetto la struttura funzionale del cervello iniziarono a partire dalla seconda metà dell'800 grazie alle ricerche di Paul Broca (1824-1880), il quale si occupò delle afasie (ovvero dei *deficit* linguistici) nei pazienti con danni cerebrali. Egli individuò un'area – chiamata oggi area di Broca – in grado di generare il linguaggio.

Gli studi si sono notevolmente evoluti da quel momento ed oggi si possiedono numerosi dati relativi alla corrispondenza tra aree del cervello e parti del corpo da esso controllate.

Grazie all'evoluzione della scienza medica, le neuroscienze hanno potuto sviluppare interfacce cervello-macchina (Lebedev e Nicolelis, 2006) per la percezione sensoriale ed il controllo motorio, le quali hanno consentito, attraverso la creazione di sistemi neurali per mezzo dell'Intelligenza Artificiale, di ripristinare, parzialmente, alcune funzioni basilari nelle persone diversamente abili.

L'Intelligenza Artificiale, dunque, unitamente allo studio dei sistemi neurali ad opera delle neuroscienze, in un prossimo futuro consentirà di elaborare, per mezzo di appositi algoritmi, nuove soluzioni per compensare i *deficit* del sistema nervoso centrale e restituire alle persone affette da gravi patologie genetiche uno stile di vita il più possibile vicino alla normalità.

### **3. Intelligenza Artificiale e scienze del II tipo.**

Le scienze del secondo tipo, dette anche sociali o umane, sono caratterizzate dall'impiego di regole che non appartengono alla categoria delle scienze esatte, così come definite nel §2.

Sono scienze sociali e umane quelle che studiano l'uomo nelle sue diverse manifestazioni e relazioni con il mondo esterno, quali l'economia, il diritto, la psicologia, la linguistica, le scienze politiche, l'antropologia, la sociologia, le scienze dell'educazione e della comunicazione.

Chi scrive ritiene, tuttavia, che l'economia non possa a pieno titolo annoverarsi tra le scienze del secondo tipo, al pari, ad esempio, della psicologia o del diritto.

L'economia, infatti, impiega sempre più di frequente schemi formalistici, caratterizzati da un elevato grado di precisione, nell'analisi della realtà e i suoi teoremi si fondano spesso su rigorose dimostrazioni matematiche.

Le scienze economiche, tuttavia, impiegano in alcuni casi leggi di copertura che non sono caratterizzate dal crisma della certezza (ovvero validità pari al 100% o, meglio, ad 1), ragion per cui si può mantenere la sua convenzionale classificazione nell'alveo delle scienze del secondo tipo, avendo ben presente che, a stretto rigore, esse si pongono in una virtuale "terra di mezzo" tra queste ultime e le scienze del primo tipo.

### **3.1. Economia.**

L'impiego dell'Intelligenza Artificiale nell'economia si rinviene principalmente nell'ambito della teoria delle decisioni.

La teoria delle decisioni è la risultante della combinazione tra la teoria della probabilità e quella della utilità. Più precisamente, essa si prefigge la finalità di elaborare una infrastruttura formale completa, che deve fungere da supporto alle decisioni (economiche e non) che un operatore è chiamato ad assumere in condizioni di incertezza, ovvero in quei casi in cui l'ambiente decisionale è dominato da leggi soltanto probabilistiche e non controllabili *in toto* dall'uomo.

Per riprendere uno degli esempi fatti nel Capitolo I, la circolazione stradale è un ambiente probabilistico, in quanto le leggi della fisica devono necessariamente coordinarsi con le azioni umane, le quali sono caratterizzate da leggi non certe.

La teoria dei giochi, elaborata da von Neumann e Morgenstern, è una delle principali applicazioni della teoria delle decisioni ed ha consentito di dimostrare che, in alcuni giochi, un agente razionale deve adottare strategie che siano (o, almeno, appaiano) casuali.

Nello studio della I.A., le decisioni che coinvolgono una pluralità di soggetti agenti prendono il nome di sistemi multiagente.

Le decisioni nei sistemi multiagente, la cui *summa divisio* è tra giochi cooperativi e non cooperativi, richiede necessariamente una pianificazione multiagente, grazie alla quale si possono costruire piani congiunti, che devono essere accompagnati da qualche forma di coordinamento se i due agenti devono concordare sulla scelta del piano congiunto da seguire.

Per alcune importanti classi di decisioni multiagente esistono tecniche specifiche nelle quali l'Intelligenza Artificiale ed i suoi algoritmi giocano un ruolo fondamentale. Si pensi, a titolo esemplificativo, al *contract net protocol* (sistema di assegnazione dei compiti) oppure alle aste elettroniche per allocare in modo efficiente le risorse scarse, gestite attraverso avanzati algoritmi di I.A.

### **3.2. Diritto.**

Intelligenza Artificiale e diritto possono sembrare un ossimoro, ma in realtà così non è.

In via preliminare occorre rilevare che numerosi giuristi si occupano oggi dell'impatto dell'Intelligenza Artificiale sul mondo del diritto, con esiti alquanto

insoddisfacenti, a causa della scarsa propensione degli operatori del settore a misurarsi con un approccio scientifico del tema.

Tale circostanza si verifica in quanto si fa (troppo) spesso confusione tra I.A. ed algoritmi. I concetti, infatti, come ampiamente illustrato nel Capitolo I, devono essere tenuti distinti.

Così, a titolo esemplificativo, un conto è analizzare l'impiego degli algoritmi nella decisione amministrativa, altro è valutare come l'I.A. possa avere effetti sull'analisi del diritto e sulle decisioni giudiziarie.

La prima ipotesi ricorre, a titolo esemplificativo, nei casi in cui la Pubblica Amministrazione abbia indetto una procedura selettiva (concorso o procedura ad evidenza pubblica) ed utilizzi specifici algoritmi per attribuire i punteggi alle offerte dei concorrenti.

In tal caso l'Intelligenza Artificiale riveste un ruolo pressoché nullo, poiché la decisione finale (aggiudicazione) sarà comunque assunta da una persona fisica-organo attraverso autonome valutazioni e l'algoritmo assumerà una rilevanza alquanto limitata (ovvero l'attribuzione di punteggi) nel segmento relativo all'esercizio della discrezionalità tecnica.

L'I.A., invece, riveste un ruolo predominante nei casi in cui essa sia in grado di sostituire gli operatori del diritto – giudici *in primis* – nella adozione delle decisioni.

A ben vedere, questo è il fine ultimo cui tende l'impiego della I.A. nelle scienze giuridiche: subentrare definitivamente all'uomo decisore, eliminando in tal modo i troppi errori e l'eccessiva opinabilità del diritto, causata da una giurisprudenza (troppo) spesso ondivaga e soggetta alle pressioni del mondo esterno, stampa in primo luogo (si pensi, a titolo esemplificativo, al fenomeno dei processi mediatici, nei quali la “verità” costruita

artatamente dai media finisce per entrare nel circuito delle aule giudiziarie, con tutte le conseguenze negative in termini di accertamento della *verità nel processo*).

Così, in alcuni paesi del Nord Europa, l'Intelligenza Artificiale, grazie ad appositi algoritmi, ha sostituito i magistrati in alcune decisioni caratterizzate da un basso grado di complessità, quali ad esempio controversie derivanti dall'applicazione del codice della strada.

I giuristi italiani si oppongono inspiegabilmente all'impiego della Intelligenza Artificiale nelle decisioni giudiziarie, argomentando che il nostro ordinamento è caratterizzato da una complessità normativa non dominabile da un soggetto diverso dall'uomo, a causa anche del largo impiego nella formulazione delle norme di clausole generali (esempio: buona fede) o di concetti giuridici indeterminati.

In disparte il fatto che l'impiego nella legge di parole dai confini incerti consente interpretazioni spesso arbitrarie, l'obiezione trascura di considerare che, se *ad oggi* lo stato della evoluzione della I.A. non consente di pervenire ad una radicale sostituzione del magistrato nella attività giurisdicente, *in futuro* ciò sarà possibile e, anzi, auspicabile, al fine di recuperare la tanto decantata nei vari convegni, quanto nella pratica tristemente disapplicata, "*prevedibilità delle decisioni giudiziarie*".

### **3.3. Psicologia.**

La psicologia cognitiva ha elaborato le prime basi per l'applicazione della I.A. nelle scienze psicologiche.

Kenneth Craik (1914-1945) elaborò tre requisiti fondamentali per un agente basato sulla conoscenza:

- 1) lo stimolo proveniente dal mondo esteriore deve essere tradotto in una rappresentazione cognitiva interna;
- 2) la rappresentazione deve essere manipolata da processi cognitivi per ottenere nuove rappresentazioni interne;
- 3) le nuove rappresentazioni interne devono essere a loro volta trasformate in azioni.

Lasciamo alle parole di Craik, prematuramente scomparso a causa di un incidente in bicicletta causato da una macchina, la spiegazione della ragione per la quale il suo sarebbe stato – come poi in effetti si è rivelato – un progetto fondamentale nella evoluzione della I.A.:

*«Se l'organismo porta nella sua testa un "modello in scala" della realtà esterna e delle proprie possibili azioni, sarà in grado di provare varie alternative, decidere quali di esse sia la migliore, reagire a situazioni future prima che si manifestino, utilizzare la conoscenza di eventi passati per gestire quelli presenti e futuri, e sotto ogni aspetto reagire in modo molto più ricco, affidabile e competente alle emergenze che si troverà a fronteggiare».*

Successivamente, i lavori di George Miller (*The Magic Number Seven*), di Noam Chomsky (*Three Models of Language*) e di Newell-Simon (*The Logic Theory Machine*) hanno dimostrato come i modelli basati sui *computers* possono essere impiegati per affrontare, rispettivamente, la psicologia della memoria, del linguaggio e del pensiero logico.

Doug Engelbart (1925-2013) è stato uno dei pionieri della interazione uomo-*computer* ed ha promosso il concetto di intelligenza aumentata, sostenendo che i *computers* dovevano contribuire all'incremento delle capacità umane anziché automatizzare le attività dell'uomo.

Seguendo tale linea di pensiero, nel 1968 Engelbart presentò per la prima volta il *mouse*, un sistema a finestre (non inventato, come comunemente si crede, da Bill Gates), l'ipertesto e la videoconferenza, al fine di dimostrare l'implementazione dell'efficienza e dell'efficacia delle azioni umane grazie alla intelligenza aumentata.

La moderna scienza tende oggi a ritenere che l'intelligenza aumentata e l'Intelligenza Artificiale si comportino come un "Giano bifronte": la prima pone l'accento sul controllo dell'uomo, mentre la seconda enfatizza il comportamento intelligente della macchina, la quale tende a sostituirsi al primo. Entrambe, tuttavia, sono necessarie affinché le macchine possano produrre utilità all'uomo.

### **3.4. Linguistica.**

Esiste un invisibile collegamento tra linguaggio, pensiero e Intelligenza Artificiale: tanto invisibile quanto fondamentale per capire il funzionamento di quest'ultima.

B.F. Skinner (1904-1990) pubblicò nel 1957 un libro intitolato *Verbal Behavior*, nel quale analizzava l'approccio *behaviorista* – ovvero orientato allo studio delle misurazioni delle percezioni fornite a un essere vivente e delle corrispondenti risposte – all'apprendimento del linguaggio.

Noam Chomsky (1928), nel recensire il libro di Skinner, evidenziò che la teoria *behaviorista* non si soffermava sull'aspetto creativo del linguaggio, decretando in tal modo la sua fine. Ad esempio, essa non spiegava come fosse possibile che i bambini potessero comprendere e creare frasi mai sentite in precedenza.

La teoria di Chomsky, fondata su modelli sintattici elaborati dal linguista indiano Panini (vissuto nel IV secolo a.C.), era in grado di spiegare la creatività ed era dotata di un sufficiente grado di formalizzazione da poter diventare oggetto di programmazione e di applicazione nell'ambito delle scienze informatiche.

La linguistica moderna e l'Intelligenza Artificiale sono nate nello stesso periodo storico e ciò ha consentito ad entrambe di crescere insieme, fondendosi in un campo di studi ibrido denominato linguistica computazionale o elaborazione del linguaggio naturale.

La linguistica computazionale elabora formalismi descrittivi relativi ad un determinato linguaggio, al fine di poter creare algoritmi strumentali al funzionamento della I.A. Si pensi, a titolo esemplificativo, alle frasi pronunciate da alcuni dispositivi elettronici, in grado di dar vita a veri e propri dialoghi, ad oggi basilari, con l'uomo.

#### **4. Intelligenza Artificiale e scienze del III tipo.**

Le scienze del III tipo sono denominate anche “deboli”, in quanto il loro funzionamento dipende dall'applicazione di leggi di copertura caratterizzate da un elevatissimo tasso di opinabilità.

Sono, a titolo esemplificativo, scienze deboli:

- 1) la religione, in quanto spiega i fenomeni del mondo attraverso il ricorso a scritture sacre, non validate dalla comunità scientifica;
- 2) l'arte, poiché lo stile di raffigurazione dipende da canoni estetici largamente soggettivi (ad esempio: l'impressionismo, l'astrattismo, il barocco, il decadentismo);
- 3) la letteratura, espressione più alta di una determinata cultura o civiltà;
- 4) l'estetica, la quale studia e classifica il fenomeno artistico.

Come si vede, si versa nel campo del puro soggettivismo e del gusto estetico. A stretto rigore, quindi, l'Intelligenza Artificiale non dovrebbe trovare applicazione in tali settori.

Una conclusione così tranciante, tuttavia, merita una parziale rivisitazione, alla luce del notevole sviluppo a cui sono pervenuti gli algoritmi impiegati dall'I.A.

Così, a titolo esemplificativo, la linguistica computazionale e l'I.A. potrebbero essere impiegate nella letteratura, al fine di elaborare opere letterarie caratterizzate dall'impiego di una precisa metrica. Oppure, precorrendo i tempi, esse potrebbero anche servire per elaborare e scrivere in modo automatico versi o frasi destinati a suscitare determinate emozioni in chi li legge (ad esempio: nostalgia, paura e altri sentimenti).

Lo stesso dicasi per l'arte, dove l'impiego degli algoritmi e della I.A. potrebbe consentire la realizzazione di determinate opere artistiche capaci di generare particolari emozioni negli utenti.

## **5. Conclusioni.**

Nel corso del Capitolo I si sono fornite le nozioni basilari strumentali alla comprensione di *cosa* sia e *come* operi la Intelligenza Artificiale.

Nel presente capitolo, invece, abbiamo visto quali sono le applicazioni in ambito tecnico della Intelligenza Artificiale, dimostrando che essa si interfaccia e si relaziona con numerose altre discipline.

I tempi sono ora maturi per occuparsi di quello che rappresenta il nodo cruciale del lavoro che si sta svolgendo, ovvero il rapporto esistente tra Intelligenza Artificiale e crescita economica.

## **CAPITOLO III. Intelligenza Artificiale e crescita economica.**

### **1. La crescita economica: prospettive introduttive.**

Disastri naturali, epidemie e guerre sono eventi che si ripetono ciclicamente nella storia del mondo. Ciononostante, da quando è iniziata l'analisi scientifica della crescita economica, essa ha subito un costante incremento, tant'è che alcuni studiosi l'hanno parificata ad una legge esatta della natura.

Nel corso degli ultimi due secoli (fonte: Maddison, 2007, in *Historical Statistics for the World Economy: 1-2003 AD*, OCSE), nelle economie più avanzate del mondo, il PIL reale è cresciuto tra le 30 e le 60 volte, mentre il PIL pro capite, principale indicatore di crescita economica e dato dal rapporto tra il PIL totale e la popolazione di un paese di riferimento, è cresciuto tra le 12 e le 30 volte.

Se queste conclusioni sono corrette nel lungo periodo, nel breve periodo, invece, il processo di crescita non è stato regolare, in quanto su di esso hanno impattato eventi catastrofici (epidemie, disastri naturali, guerre) e profondi cambiamenti demografici avvenuti nel tempo. A ciò si aggiunga il fatto che il progresso tecnico e quello scientifico hanno portato ad un maggiore stato di benessere e, dunque, ad un incremento della popolazione, con effetti rilevanti sul PIL pro capite.

Il presente capitolo si prefigge, dunque, la finalità di analizzare anzitutto i principali modelli di crescita economica, al fine di valutare se ed in che termini l'Intelligenza Artificiale sia in grado di produrre alcuni effetti su di essi.

Le conclusioni cui si perverrà saranno destinate ad essere impiegate nel Capitolo IV, dove si affronterà la nevralgica tematica del rapporto tra Intelligenza Artificiale, sviluppo economico e disuguaglianze.

## **2. La funzione aggregata di produzione.**

La teoria della crescita economica si prefigge la finalità di illustrare la ragione per la quale una determinata economia abbia un tasso di crescita duraturo nel tempo.

La funzione aggregata di produzione è il principale strumento di cui si avvale la teoria in esame per spiegare il fenomeno della costante crescita economica e può essere così formalizzata:

$$Y=f(K, L).$$

In tale equazione  $Y$  rappresenta il PIL,  $K$  il capitale fisico (macchinari, impianti, fabbricati ed altri *inputs*), mentre  $L$  è il lavoro.  $K$  ed  $L$  sono i principali fattori utilizzati nell'attività produttiva.

L'equazione in esame, dunque, implica che il PIL è funzione del capitale e del lavoro e che esso aumenta qualora uno o entrambi i fattori di produzione subiscano un incremento.

Infatti, le derivate parziali di  $K$  ed  $L$ , rispettivamente rappresentate come  $\partial f(K, L)/\partial K$  e  $\partial f(K, L)/\partial L$ , devono essere necessariamente positive, in quanto, in caso contrario, essi cesserebbero di essere fattori di produzione e diverrebbero fattori di "distruzione".

La funzione di produzione, che consente di ridurre le complesse variabili di capitale e lavoro a due *inputs* che possono ritenersi omogenei, è una *relazione tecnica* e, dunque, consente di studiare esclusivamente la combinazione di fattori produttivi che dà luogo

alla produzione di determinati *outputs* (beni), senza tuttavia fornire alcuna indicazione sulla qualità della vita oppure sulla desiderabilità del lavoro erogato.

Vi possono essere, dunque, paesi (specie in via di sviluppo) con un elevato PIL ma una bassissima qualità di vita.

Ci si occuperà di tale aspetto nel Capitolo IV. Nei due paragrafi seguenti si esamineranno, invece, le due principali proprietà fondamentali della funzione di produzione: la produttività marginale (§2.1) ed i rendimenti di scala crescenti (§2.2).

## **2.1. Produttività marginale.**

Da un punto di vista generale, la produttività marginale può essere definita come la quantità aggiuntiva di produzione ( $Y=PIL$ ) che si ottiene qualora si incrementi di una unità uno dei due fattori di produzione ( $K, L$ ). Essa si distingue in produttività marginale del capitale o del lavoro, a seconda che si incrementi il capitale o il lavoro.

Da un punto di vista matematico, data la funzione  $Y=f(K, L)$ , se lo *stock* di capitale  $K$  aumenta in misura pari a  $\Delta K$ , dato  $f(L)=k$  (ovvero costante), la quantità prodotta  $Y$  aumenterà in misura pari a  $\Delta Y$ . Il rapporto  $\Delta Y/\Delta K$  rappresenta la **produttività marginale del capitale**, ovvero la quantità di produzione che si ottiene variando in aumento un'unità di capitale.

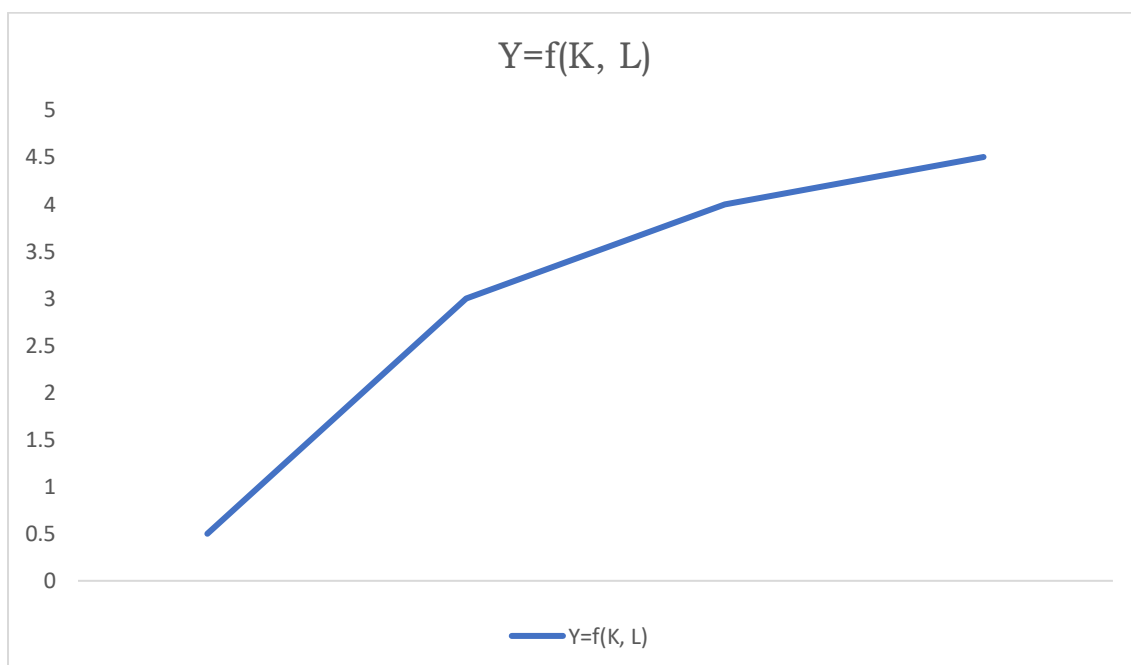
Analogo ragionamento può essere svolto ipotizzando che vari il fattore di produzione rappresentato dal lavoro ( $L$ ), dato  $f(K)=k$  (ovvero costante), ottenendo in tal modo la **produttività marginale del lavoro**, pari al rapporto  $\Delta Y/\Delta L$ .

Supponendo che aumenti soltanto  $K$  e  $f(L)=k$  (ma le conclusioni valgono *mutatis mutandis* qualora aumenti solo  $L$  con  $K$  costante), occorre domandarsi se la quantità prodotta è destinata ad aumentare sempre nella stessa misura per ogni incremento di *stock* di capitale.

La risposta è negativa, in quanto, a titolo esemplificativo, qualora si verifichi un incremento della variabile  $K$ , rappresentata da attrezzature, aggiuntiva al processo di produzione, ferme restando le ore di lavoro, a ogni nuova unità di macchinario potrà essere conferita una parte via via minore della costante  $L$ .

Da quanto detto consegue che la produzione  $Y$  diminuirà sempre di più. Tale conclusione prende il nome di principio della produttività marginale decrescente.

Graficamente, la funzione della produttività marginale decrescente può essere così raffigurata, ponendo  $Y$  (il prodotto) sull'asse delle ordinate e  $K$  sull'asse delle ascisse.



Come si vede, la linea, che rappresenta la funzione di produzione, tenderà a diventare una retta parallela all'asse delle ascisse, così confermando la validità del principio illustrato.

## 2.2. I rendimenti di scala.

Nel precedente paragrafo si è analizzata l'ipotesi in cui si verifica un aumento della produzione in presenza di un incremento di uno dei due fattori di produzione.

Occorre ora domandarsi cosa accada qualora lavoro ( $L$ ) e capitale ( $K$ ) aumentino nella stessa proporzione, ovvero di una variabile che chiameremo convenzionalmente  $k$ .

Se anche il prodotto  $Y$  aumenta in una misura pari a  $k$ , la funzione di produzione presenta **rendimenti di scala costanti**. Se, invece,  $Y$  aumenta in una misura superiore a  $k$ , la funzione di produzione presenta **rendimenti di scala crescenti**. Viceversa, se  $Y$  aumenta in misura inferiore a  $k$ , la funzione di produzione presenta **rendimenti di scala decrescenti**.

La scienza economica si è concentrata maggiormente nello studio dei rendimenti di scala costanti, in quanto sono generalmente considerati maggiormente interessanti.

La funzione di produzione con rendimenti di scala costanti, che prende il nome di funzione di produzione in forma intensiva, può essere così formalizzata:

$$y = f(k)$$

dove  $y = Y/L$ , ovvero rappresenta il rapporto tra produzione e lavoro (prodotto per unità di lavoro) e  $k = K/L$ , ovvero il rapporto tra capitale e lavoro (capitale utilizzato per unità – ovvero ora – di lavoro).

Il rapporto  $Y/L$  prende anche il nome di produttività media del lavoro, in quanto serve per indicare la quantità di *output* che si produce *in media* con una unità di lavoro. Il rapporto  $K/L$  misura la intensità dell'impiego del capitale nella attività produttiva.

### 3. Il modello di crescita economica di Harrod-Domar.

Gli economisti Roy Harrod (1900-1978) ed Evsej Domar (1914-1997) hanno lavorato in modo separato e hanno dato vita a modelli distinti. La scienza economica tradizionale analizza i due modelli assieme, sicché si procederà ad una loro illustrazione congiunta, al fine di comprendere le importanti conseguenze cui sono pervenuti i due economisti.

Harrod e Domar hanno studiato i fenomeni di crescita di lungo periodo, partendo dal modello di crescita di breve periodo elaborato da Keynes e procedendo ad una sua integrazione attraverso l'analisi dell'incremento apportato al potenziale produttivo degli investimenti delle imprese, grazie alla quale è possibile adottare un' ottica di lungo periodo.

Il modello è stato costruito attraverso tre equazioni fondamentali.

La prima equazione rappresenta la **tecnologia**. Si parte dall' ipotesi che essa presenti coefficienti fissi e che nei processi di produzione esista un rapporto costante tra il capitale ( $K$ ) e l'ammontare della produzione ( $Y$ ). Il simbolo  $\nu$  indica il rapporto (da assumersi costante) tra  $K$  e  $Y$ , mentre il pedice  $t$  indica il momento temporale:

$$K_t/Y_t = \nu, \nu > 0.$$

L'equazione in questione può essere riscritta alla stregua di una funzione di produzione, nella quale assume rilevanza esclusivamente  $K$ :

$$Y_t = (1/\nu)K_T$$

dove  $(1/\nu)$  indica la produttività marginale e la media del capitale. Al crescere di  $\nu$ , definito anche “intensità capitalistica della produzione”, maggiore sarà la quantità di capitale necessaria per produrre ogni unità di *output*.

La seconda equazione serve per descrivere i comportamenti di consumo e di risparmio di una determinata economia, assumendo, in un’ottica *keynesiana*, che il risparmio sia una frazione costante del reddito:

$$S_t = sY_t, 0 < s < 1$$

Il parametro  $s$  rappresenta la propensione marginale al risparmio e, secondo tale modello, coincide con la propensione media.

La terza equazione permette di illustrare l’equilibrio macroeconomico in un’economia chiusa, dove, per definizione, l’eguaglianza tra domanda e offerta aggregata equivale all’eguaglianza tra investimenti e risparmio programmati:

$$S_t = I_t$$

Semplificando notevolmente passaggi complessi non necessari ai fini del presente lavoro, lo sviluppo del modello conduce alla seguente equazione:

$$\frac{dY_t/dt}{Y_t} = s/\nu$$

La parte a sinistra dell’equazione indica il tasso di crescita del reddito, compatibile con l’equilibrio macroeconomico. Questo tasso prende il nome di tasso di crescita garantito e si indica con il simbolo  $g_w$ .

Occorre rilevare che, a parità di tutto il resto, quanto più alta è la propensione al risparmio, tanto più elevato risulterà il tasso di crescita garantito; quanto più cresce l'intensità capitalistica della produzione, tanto minore sarà il tasso di crescita garantito.

Sinora il tasso di crescita garantito è stato elaborato considerando soltanto il lato della domanda, ignorando dunque il lato dell'offerta e, quindi, anche l'evoluzione delle capacità produttive di una economia.

Se si impiega nella costruzione del modello anche l'evoluzione delle capacità produttive di un'economia, è possibile individuare il tasso di crescita naturale  $g_n$ . Esso esprime, più precisamente, la crescita del prodotto potenziale ed è pari alla somma del tasso di crescita della produttività del lavoro e del tasso di crescita delle forze di lavoro.

Un semplice modo per razionalizzare il risultato cui si è pervenuti è interpretare la produzione aggregata come uguale al prodotto tra lavoro e produttività:  $Y_t = L_t (Y_t/L_t)$ .

Passando da tale relazione ai tassi di crescita, si ottiene che il tasso di crescita del reddito è pari alla somma del tasso di crescita delle forze lavoro ( $n$ ) e del tasso di crescita della produttività ( $\lambda$ ). Formalizzando, si ottiene la seguente equazione:

$$g_n = n + \lambda$$

Se  $g_n > g_w$ , ossia  $n + \lambda > s/v$ , significa che le forze di lavoro e le conoscenze tecnologiche crescono ad un tasso più elevato di quello che è idoneo ad assicurare l'equilibrio macroeconomico, con la conseguenza che tale situazione genera disoccupazione strutturale.

Se, invece,  $g_n < g_w$ , ossia  $n + \lambda < s/v$ , l'economia si trova in una situazione di sostanziale depressione, in quanto è insufficiente la crescita delle forze di lavoro o, il che è lo stesso, si è al cospetto di un eccesso di risparmio.

Pertanto, a parte l'ipotesi invero di difficile realizzazione in cui  $g_n = g_w$ , sarà necessario un intervento esogeno affinché si realizzi l'uguaglianza tra tasso di crescita garantito e tasso di crescita naturale.

Ai fini della presente trattazione, occorre soffermare l'attenzione principalmente sulla variabile  $\lambda$ , la quale rappresenta nel modello il tasso di crescita della produttività del lavoro, legato principalmente a innovazioni di tecnologia e, quindi, anche all'Intelligenza Artificiale. Ci si occuperà di tale aspetto nel §7.3.

#### **4. I cinque fatti stilizzati di Kaldor.**

Nicholas Kaldor (1908-1986) ha a lungo studiato alcune economie nel lungo periodo e ha elaborato in via induttiva i **cinque fatti stilizzati**, i quali rappresentano regolarità empiriche riscontrate nello studio dei dati economici.

I cinque fatti stilizzati sono importanti poiché permettono di comprendere alcune dinamiche relative alla crescita economica e saranno utili nel prosieguo della trattazione al fine individuare l'impatto che l'Intelligenza Artificiale produce su di essa.

Il **primo fatto stilizzato** riguarda il rapporto  $Y/L$  e  $K/L$  e consiste nella considerazione secondo cui il prodotto pro-capite e l'intensità del capitale continuano ad aumentare. Dal momento che il reddito pro-capite è strettamente connesso con il prodotto per ora di lavoro  $Y/L$ , la crescita economica presuppone un incremento continuo del tenore di vita.

Il **secondo fatto stilizzato** prevede che il rapporto capitale prodotto ( $K/Y$ ) non mostra alcun *trend* o un *trend* piuttosto debole nel tempo.

In base al **terzo fatto stilizzato** i salari orari continuano ad aumentare. L'aumento tendenziale di  $Y/L$  e  $K/L$  postula che un'ora di lavoro utilizza uno *stock* di attrezzature sempre maggiori al fine di realizzare quantità di prodotto sempre maggiori. Pertanto, i lavoratori diventano più produttivi e, dunque, occorre remunerarli con salari più elevati.

Il **quarto fatto stilizzato** prevede che il tasso di profitto non mostra alcun *trend*. L'assenza di un *trend* nell'andamento del rapporto  $K/Y$  presuppone che lo stesso valga anche per il tasso di profitto.

In base al **quinto fatto stilizzato**, le quote di PIL destinate ai redditi da lavoro e ai redditi da capitale non mostrano alcun *trend*.

## 5. Il modello di crescita economica di Solow.

Il modello di Rober Solow (1924) è di matrice neoclassica ed è stato elaborato in origine al fine di mostrare come l'introduzione dell'ipotesi di lavoro relativa alla sostituibilità tra i fattori produttivi consistenti in capitale ( $K$ ) e lavoro ( $L$ ) permettesse di superare la instabilità del modello di Harrod-Domar.

Detto altrimenti e impiegando la simbologia tipica del modello di Harrod-Domar, nel modello di Solow la sostituibilità tra  $K$  e  $L$  consente che il rapporto  $K/L$  sia tale da garantire in via endogena l'eguaglianza tra il tasso di crescita di equilibrio macroeconomico ed il tasso di crescita naturale.

Si procede ora ad illustrare le quattro principali caratteristiche del modello di Solow e le relative conclusioni. Onde evitare di appesantire eccessivamente la trattazione, si ometteranno i passaggi matematici necessari per pervenire all' equazione del modello in esame, anche perché non necessari ai fini della presente trattazione.

- 1) Il sistema economico converge verso uno stato, detto *steady state*, raggiunto il quale il reddito pro-capite cresce ad un tasso pari alla crescita delle conoscenze tecniche. Lo *steady state*, dunque, è stabile ed è raggiunto in modo automatico da forze di mercato tipiche dei regimi di concorrenza perfetta.
- 2) La crescita del reddito pro-capite dipende necessariamente dal tasso di crescita tecnologico (indicato come  $g$  nell' equazione che si riporterà a breve). L'aumento sostenuto nel tempo del reddito pro-capite è, quindi, riconducibile a  $g$ . Il progresso tecnologico, tuttavia, nel modello di Solow è esogeno, in quanto il suo aumento è dato per assodato ma non è spiegata la ragione per cui ciò si verifica.
- 3) Quanto più è alta la propensione al risparmio, tanto maggiore sarà il livello di reddito di *steady state* a cui l'economia converge.
- 4) Un aumento del tasso di crescita demografica determina un decremento del livello di reddito di *steady state* a cui il sistema converge. Esiste, dunque, a parità degli altri fattori, una relazione negativa tra tasso di crescita demografico e livello del reddito.

La formalizzazione dei principi illustrati avviene tramite l'equazione fondamentale del modello di Solow, che è la seguente:

$$dk_{ue} = s \cdot k_{ue}^a - (n + \delta + g) \cdot k_{ue}$$

dove  $k_{ue}$  è il capitale pro capite per unità efficiente,  $dk_{ue}$  è il tasso di variazione del capitale pro capite per unità efficiente, l'esponente  $a$  indica l'elasticità,  $s$  è il risparmio,  $n$  è una costante e rappresenta il tasso di crescita della popolazione e della forza lavoro,  $\delta$  è il tasso di deprezzamento del capitale fisico e  $g$  è il tasso di crescita del progresso tecnologico, che, come si è più sopra detto, è un elemento esogeno.

L'equazione del modello di Solow permette di trarre le seguenti conclusioni:

- a) se  $s \cdot k_{ue}^a = (n + \delta + g) \cdot k_{ue}$  ci si trova nello *steady state*;
- b) se  $s \cdot k_{ue}^a > (n + \delta + g) \cdot k_{ue}$  significa che il capitale pro capite per unità efficiente aumenta nel tempo, quindi  $dk_{ue} > 0$ ;
- c) se  $s \cdot k_{ue}^a < (n + \delta + g) \cdot k_{ue}$  significa che il capitale pro capite per unità efficiente si riduce nel tempo, quindi  $dk_{ue} < 0$ .

## 6. Crescita esogena e crescita endogena.

L'analisi dei modelli di crescita di Harrod-Domar e di Solow consente di spiegare che l'aumento delle conoscenze tecnologiche produce un corrispondente incremento del prodotto e del prodotto pro-capite.

I due modelli, tuttavia, assumono come corollario che il progresso tecnologico aumenti nel tempo, ma non spiegano le cause di tale evento. Di tale aspetto si è occupata la corrente di ricerca che prende il nome di *New growth theory*, ovvero "Nuova teoria della crescita".

Gli studiosi che hanno aderito a tale corrente considerano la crescita come variabile endogena, ovvero spiegata attraverso il ricorso a variabili endogene, il cui valore postula

la soluzione di un modello matematico nel quale le variabili non sono assunte come date (si rinvia al §7.4 per gli ulteriori approfondimenti).

Quanto detto permette di addivenire ad una prima ed importante conclusione. Lo studio degli effetti prodotti dall' Intelligenza Artificiale dipende dai modelli utilizzati.

Se si opta per un modello di crescita esogena, lo studio ha per oggetto l'analisi dell'impatto della Intelligenza Artificiale sul progresso tecnologico – trattasi di concetti uguali o differenti? (si rinvia sul punto al §7.2) – e della conseguente crescita del prodotto e del prodotto pro capite, senza tuttavia comprendere le *cause* di tale concatenazione di eventi. Si badi bene, tuttavia, che lo studio di un modello esogeno non si risolve in uno “sterile” esercizio accademico, in quanto esso impiega come proprie fondamenta i modelli di Solow e di Harrod-Domar, che rappresentano le due pietre miliari della spiegazione della crescita economica.

Se, invece, si decide di impiegare un modello di crescita endogena, l'Intelligenza Artificiale diventa una variabile endogena, che deve essere inserita e risolta nei modelli matematici. Di tale aspetto ci si occuperà nel §7.3.

## **7. Intelligenza artificiale e funzione di produzione.**

Si è più sopra visto che la funzione di produzione può essere formalizzata nella seguente equazione:

$$Y=f(K, L).$$

Nei prossimi due paragrafi si procederà a studiare su quali variabili impatta l'Intelligenza Artificiale (§7.1), proponendo una possibile rilettura dei modelli tradizionali (§7.2), anche alla luce della “nuova teoria della crescita” (7.3.).

Prima di addentrarsi nell'analisi, è operazione preliminare procedere ad una formalizzazione matematica della funzione di produzione tramite la funzione di Cobb-Douglas.

L'equazione che viene in rilievo è la seguente:

$$Y=K^a N^{1-a}$$

dove  $a$  è un parametro compreso tra 0 e 1 e misura l'elasticità del prodotto rispetto al capitale. Dunque, un incremento dell'1 per cento nell' *input* di capitale comporta una variazione della quantità prodotta pari ad una percentuale  $a$ . Analogamente,  $(1-a)$  misura l'elasticità del prodotto rispetto al lavoro.

La funzione di produzione di Cobb-Douglas gode di tutte le proprietà più sopra descritte (produttività marginale decrescente e rendimenti di scala costante) e sarà utile per comprendere la relazione esistente tra Intelligenza Artificiale e funzione di produzione.

### **7.1. Il rapporto tra lavoro, capitale e l'intelligenza artificiale.**

L'Intelligenza Artificiale può produrre effetti sia sul capitale (K) sia sul lavoro (L) e, dunque, sul prodotto (Y).

Lo *stock* di capitale fisico è costituito principalmente da stabilimenti, attrezzature, edifici, macchinari, strade e reti autostradali. Attualmente, l'Intelligenza Artificiale ha un rilevante impatto su macchinari, attrezzature e stabilimenti. Non è escluso che in futuro

possa averlo anche su altre componenti (si pensi, a titolo esemplificativo, all'impiego per la costruzione del manto stradale di materiali in grado di autorigenerarsi, già ampiamente utilizzati nell'industria aerospaziale e, di recente, nell'industria automobilistica).

Con la variabile lavoro (L) si indica tradizionalmente il numero di ore lavorate o, più in generale, l'*input* rappresentato dal lavoro. L'Intelligenza Artificiale comporta un indubbio vantaggio sul lavoro, in quanto produce rilevanti effetti in termini di efficienza, efficacia ed economicità, come già ampiamente illustrato nei primi due capitoli.

È ora possibile procedere alla formalizzazione del modello della funzione di produzione con l'inserimento dell'I.A.

La base di partenza per la elaborazione della teoria è rappresentata dalla funzione di Cobb-Douglas:

$$Y=K^a N^{1-a}$$

Applicando all'equazione l'intelligenza artificiale (*i*) si ottiene:

$$Y=K^{a.i} N^{(1-a).i}$$

dove  $1 < i \leq +\infty$ .

L'Intelligenza Artificiale può assumere un valore superiore ad 1 e pari o inferiore  $+\infty$ , in quanto, in applicazione dei principi elaborati dalla legge di Moore (Cap. 2, §2.2.), essa è destinata ad uno sviluppo potenzialmente infinito.

La funzione da ultimo riportata, che potremmo ribattezzare "*funzione di produzione dell'Intelligenza Artificiale*", consente di dimostrare che l'I.A. (*i*), dato che assume valori necessariamente positivi, ha un effetto di *moltiplicatore* su *a*, che misura l'elasticità del

prodotto rispetto al capitale ( $K$ ) e su  $(1-a)$ , che a sua volta misura l'elasticità del prodotto rispetto al lavoro ( $L$ ).

È opportuno sin da ora avvertire il lettore che la funzione di produzione della I.A., così come ricostruita, ha carattere sperimentale e può presentare alcuni limiti, che, allo stato delle conoscenze scientifiche attuali, non è possibile rimuovere.

Più precisamente, inserire l'I.A. come moltiplicatore delle elasticità, date le condizioni  $1 < i \leq +\infty$ , implica in molti casi il venir meno dell'ipotesi dei rendimenti marginali decrescenti, circostanza che, a sua volta, presuppone una crescita non soggetta a vincoli. In sostanza, l'I.A. escluderebbe l'insostenibilità della crescita, che invece è ipotizzata dalla maggior parte della scienza economica.

L'I.A., inoltre, potrebbe provocare rilevanti effetti negativi sulla forza lavoro (i *robot* che sostituiscono gli uomini), come si avrà modo di vedere nel §2 del Capitolo IV.

L'esistenza di alcuni limiti (che andranno tenuti presente anche nella analisi contenuta nei successivi paragrafi), tuttavia, ad avviso di chi scrive, non può portare a rinunciare ad una elaborazione teorica che potrebbe costituire in futuro un valido modello su cui innestare la successiva ricerca.

Ciò precisato in linea generale, occorre ora domandarsi se, alla luce della funzione di produzione integrata dalla I.A., sia ancora valida la legge della produttività marginale.

Allo stato attuale, la risposta è necessariamente affermativa, ma non può escludersi che in un futuro nemmeno troppo remoto lo stato dell'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale raggiunga un livello tale da permettere al suo moltiplicatore di “infrangere” la legge in esame.

## 7.2. Una possibile rilettura del modello di crescita di Solow.

Il modello di crescita di Solow, così come ricostruito nel § 5, è un modello di crescita endogena, per cui ben si presta ad essere riletto attraverso il ricorso alla funzione di produzione e al moltiplicatore dell'Intelligenza Artificiale.

Si riporta per comodità di lettura l'equazione del modello di crescita di Solow:

$$dk_{ue} = s \cdot k_{ue}^a - (n + \delta + g) \cdot k_{ue}$$

Come si è più sopra rilevato, la variabile  $g$  è il progresso tecnologico, il quale subisce un incremento esponenziale per effetto della operatività della Intelligenza Artificiale, ragion per cui le due variabili sono strettamente dipendenti e possono essere formalizzate nella seguente maniera:

$$g^i.$$

Il modello di Solow può, dunque, essere riscritto nel seguente modo, applicando il moltiplicatore della Intelligenza Artificiale:

$$dk_{ue} = s \cdot k_{ue}^a - (n + \delta + g^i) \cdot k_{ue}$$

dove  $i$  è la Intelligenza Artificiale e  $1 < i \leq +\infty$ .

Secondo tale (nuovo) modello non è più soltanto il progresso tecnologico a garantire una crescita sostenuta della economia, ma ora opera anche la Intelligenza Artificiale, garantendo così una crescita ad effetto “*boost*”.

### 7.3. Una possibile rilettura del modello di Harrod-Domar.

Nel §3 si è analizzato il modello di Harrod-Domar, formalizzato nella seguente equazione:

$$g_n = n + \lambda.$$

Si è altresì detto che  $\lambda$  rappresenta nel modello il tasso di crescita della produttività del lavoro, legato principalmente a innovazioni di tecnologia e, quindi, anche all'Intelligenza Artificiale.

Anche in tal caso, dunque, il modello può essere studiato considerando l'effetto di moltiplicatore della Intelligenza Artificiale, che assume il valore di potenza  $i$ .

Formalizzando, l'equazione si può così riscrivere

$$g_n = n + \lambda^i.$$

Valgono, per il resto, le considerazioni e le regole già illustrate nel §3.

### 7.4. Intelligenza Artificiale e *New growth theory*.

Come anticipato nel §6, la “Nuova teoria della crescita” si riferisce ad un *corpus* di modelli formalizzati che considerano il progresso tecnologico come una variabile endogena, la quale consente di spiegare il tasso di crescita di lungo periodo di un sistema economico.

Semplificando passaggi matematici non utili ai fini della presente trattazione, si può ritenere che la funzione di produzione con la Intelligenza Artificiale come variabile endogena possa essere così riscritta:

$$Y=f(K, L, I)$$

Dove  $Y$  è il prodotto,  $K$  il capitale,  $L$  il lavoro e  $I$  la Intelligenza Artificiale, la quale può essere spiegata attraverso il ricorso ad una o più equazioni.

Le equazioni in esame assumeranno diversi gradi di complessità, a seconda degli algoritmi, opportunamente ridotti a funzioni tramite modelli matematici, di cui si avvale la I.A.

## **8. Conclusioni.**

Il capitolo che ci si accinge a chiudere, a quanto consta dalla copiosa letteratura consultata, è un primo tentativo di applicare la Intelligenza Artificiale alla funzione di produzione e alle principali teorie elaborate per spiegare la crescita economica, sia di matrice endogena che esogena.

Lo studio ha permesso di elaborare una nuova “funzione di produzione della Intelligenza Artificiale” e di studiare il “moltiplicatore dell’I.A.”.

Dal momento che il presente lavoro si prefigge la finalità di mantenere un elevato tasso di originalità, si è volutamente scelto di omettere alcune teorie, invero anche datate, che analizzano una limitata porzione di effetti della I.A. sulla produttività.

Si può ora procedere alla analisi dell’impatto della Intelligenza Artificiale sulla crescita economica, al fine di vagliare la tenuta dei modelli sino ad ora elaborati.

## **CAPITOLO IV. Intelligenza Artificiale, sviluppo economico e diseguaglianze.**

### **1. Il futuro del progresso tecnologico.**

Esiste una discrepanza tra la percezione del rapido progresso tecnologico ed i dati oggettivi sulla crescita della produttività.

È di empirica evidenza che la tecnologia, nell'ultimo decennio, ha avuto una crescita notevole. Basti pensare, a titolo esemplificativo, agli *smartphones*, alle auto a guida autonoma, ai *robot* e alle applicazioni della Intelligenza Artificiale illustrate nei primi due capitoli.

Era, quindi, lecito attendersi che il progresso tecnologico si sarebbe tradotto in una corrispondente crescita della produttività. Tuttavia, le recenti rilevazioni hanno messo in evidenza che, a titolo esemplificativo, negli Stati Uniti di America l'incremento della produttività ha subito un rallentamento dalla metà degli anni Duemila, con un tasso di crescita inferiore alla metà di quello dei decenni precedenti.

Come è possibile conciliare lo scollamento tra la percezione soggettiva del progresso tecnologico e dati così poco confortanti?

Una plausibile risposta è che si è al cospetto di errori di misurazione. In effetti, misurare il progresso tecnologico è una operazione alquanto complessa, perché implica l'impiego di numerose variabili.

A titolo meramente esemplificativo, risulta alquanto difficile stabilire *quanto* uno *smartphone* del 2020 sia migliore rispetto ad uno del 2021 o *quanto* una CPU del 2020 sia migliore rispetto ad una del 2021.

Gli istituti di statistica cercano di tener conto di questi cambiamenti, ma non sempre riescono a pervenire a risultati pienamente soddisfacenti.

Gli errori di misurazioni, siano essi fisiologici o “patologici”, spiegano in realtà solo in parte la diminuzione della crescita della produttività degli Stati Uniti, come dell’Europa.

Alcuni scienziati ritengono che le grandi innovazioni oggi siano meno radicali rispetto al passato. In particolare, Robert Gordon della Northwestern University ritiene che le due principali innovazioni che hanno determinato un incremento della produttività siano state la elettricità ed i motori a combustione interna.

L’elettricità, tra i tanti effetti positivi, ha consentito la diffusione dell’aria condizionata e, quindi, ad esempio, lo sviluppo del sud degli Stati Uniti.

Il motore a combustione interna ha consentito la diffusione della automobile e la conseguente costruzione delle reti stradali ed autostradali.

Altri scienziati, in particolare Eric Brynjolfsson del Massachusetts Institute of Technology (Mit), sostengono che la digitalizzazione e l’Intelligenza Artificiale trasformeranno radicalmente la vita dell’uomo, molto più della elettricità e del motore a combustione interna, producendo rilevanti effetti su tutte le branche del sapere umano.

La bassa crescita della produttività dell’ultimo decennio, in particolare, riflette il lento processo di diffusione della tecnologia.

È difficile stabilire quale delle due correnti di pensiero sia corretta, in quanto la storia del progresso tecnologico è foriera di errori di previsione, anche clamorosi. Ad esempio, nel 1943 Thomas Watson, ex Ceo di Ibm, errando, affermò testualmente: *«Penso che ci sia un mercato mondiale per forse cinque computer»*.

Chi scrive ritiene, tuttavia, che, in applicazione della teoria del rasoio di Occam («*a parità di fattori, la soluzione più semplice è da preferire*»), è verosimile che la Intelligenza Artificiale determinerà nel tempo un incremento della produttività, dal momento che tutte le innovazioni tecnologiche hanno avuto un siffatto effetto.

Ciò, tuttavia, potrebbe richiedere decenni, se non qualche secolo, poiché le tecnologie associate alla I.A. presuppongono investimenti anche ingenti e lo sviluppo di algoritmi piuttosto complessi.

Ciò precisato in linea generale, nel presente capitolo si deve procedere alla analisi degli effetti dell'incremento della produttività dovuto alla I.A. sullo sviluppo economico, evidenziando altresì i suoi limiti ed i potenziali attriti con regole riconosciute ad oggi universalmente valide dalla scienza economica.

## **2. La disoccupazione tecnologica.**

L'impatto dello sviluppo tecnologico sul livello di occupazione è sempre stato al centro del dibattito della scienza economica

Nella sua forma, che potremmo definire “grossolana”, l'argomento secondo cui l'incremento del progresso tecnologico *causa* un aumento della disoccupazione è falso, perché la conclusione cui si perviene non è *sempre* vera, in quanto manca la prova al di là di ogni ragionevole dubbio del nesso di implicazione necessaria tra progresso tecnologico e disoccupazione.

Vi sono, tuttavia, versioni più “s sofisticate” dell'ipotesi di disoccupazione tecnologica, le quali non possono essere risolte ricorrendo soltanto ad argomenti di logica applicata.

Infatti, il progresso tecnologico porta ad un aumento della produttività, con la conseguenza che ci si potrebbe ragionevolmente attendere che alcune aziende siano spinte a ridurre l'occupazione. Ci vorrà, dunque, del tempo prima che nuovi posti di lavoro sostituiscano quelli che vengono distrutti, portando ad un aumento della disoccupazione che, considerando anche il moltiplicatore della Intelligenza Artificiale (tendente a  $+\infty$ ; §7.1 del Capitolo III), potrebbe durare per un periodo di tempo non calcolabile.

I dati empirici, tuttavia, sembrano sconfiggere tale ricostruzione. In Europa e negli Stati Uniti, se si escludono gli anni Trenta (decennio della Grande Depressione), emerge una relazione positiva tra l'aumento della produttività ed il tasso di disoccupazione tecnologica.

Più precisamente, periodi storici di alta crescita della produttività, come ad esempio il periodo successivo alla Seconda Guerra Mondiale o gli anni Sessanta, hanno visto un corrispondente incremento del tasso di occupazione. Periodi di bassa crescita della produttività, invece, sono stati associati ad un tasso di disoccupazione più alto.

Se ciò è vero per il passato, non altrettanto potrebbe esserlo per il futuro.

I *robot* e, più in generale, le macchine la cui creazione costituisce una delle innumerevoli applicazioni della I.A. potrebbero sostituire non solo i lavoratori meno qualificati, ma anche i lavoratori con competenze più elevate, sino a determinare una progressiva “implosione” del mercato.

Uno studio di Daron Acemoglu e Pascual Restrepo del Mit, esaminando l'evidenza sull'effetto della introduzione dei *robot* sull'occupazione nei mercati del lavoro, conclude nel senso che effettivamente il progresso tecnologico distrugge posti di lavoro. Tuttavia, al contempo, grazie alla riduzione dei costi, le aziende che impiegano *robot* possono

vendere i loro prodotti a prezzi più bassi, aumentando in tal modo le vendite e la produzione.

I *robot* e l'Intelligenza Artificiale (algoritmi e loro applicazioni *in primis*), almeno ad oggi, non si creano da soli, ragion per cui occorre domandarsi se la necessità della loro progettazione e costruzione non porti alla creazione di posti di lavoro altrove, ovvero in altre imprese.

Tale dato, ad oggi, è difficile da valutare con precisione e la questione rimane ancora aperta. Permangono, dunque, a tutt'oggi le perplessità ed i dubbi sollevati nel §7.1 del Capitolo III relativi agli effetti della I.A. sulla funzione di produzione e sul mercato del lavoro.

### **3. La teoria del “rimescolamento” e disuguaglianza.**

Joseph Schumpeter (1883-1950) ha analizzato nei suoi studi come il processo di crescita economica fosse fondamentalmente un processo di distruzione creatrice. Lo sviluppo di nuovi beni rende obsoleti altri beni. L'introduzione di nuove tecniche di produzione, che richiedono nuove abilità, rendono altre abilità meno utili.

L'essenza di questo processo si chiama **rimescolamento** ed è efficacemente sintetizzata nella seguente citazione di un ex presidente della Fed di Dallas, nella sua introduzione ad un rapporto intitolato “*Il processo di rimescolamento: il paradosso del progresso*” (1993):

*«Mio nonno era un maniscalco, come suo padre. Mio padre, tuttavia, era parte del processo evolutivo di rimescolamento. Dopo aver lasciato la scuola media per lavorare*

*in una segheria, cominciò a maturare il desiderio di diventare un imprenditore. Prese così in affitto un capannone e aprì una stazione di rifornimento per quelle stesse automobili che avevano fatto perdere il lavoro a suo padre, mio nonno. Ebbe successo e così comprò dei terreni sulla cima di una collina dove costruì una stazione di servizio per i camion. La nostra stazione di servizio fu molto profittevole, fino a quando una nuova strada interstatale fu costruita 20 miglia a ovest. Il processo di rimescolamento sostituì la vecchia strada US411 con la nuova Interstate75, e i miei desideri di una vita agiata andarono in fumo».*

La scienza economica si è occupata della teoria del rimescolamento analizzando principalmente l'impatto dei *robot* sul mercato del lavoro.

La prospettiva, tuttavia, è oggi non più del tutto sufficiente, in quanto è lecito attendersi che l'Intelligenza Artificiale determinerà un incremento esponenziale del rimescolamento.

Tutto ciò non potrà non causare disuguaglianza, la cui complessità del fenomeno richiede una trattazione maggiormente analitica nei successivi paragrafi.

### **3.1. La disuguaglianza salariale e le sue cause.**

Il progresso tecnologico offre nuove opportunità e salari maggiori principalmente a coloro che hanno una occupazione in settori in crescita o a coloro che possiedono le abilità necessarie per lavorare nei settori interessati da una forte crescita economica.

Invece, per i lavoratori occupati in settori entrati in crisi o che possiedono abilità oramai divenute vetuste, il progresso tecnologico può implicare la perdita del posto di lavoro, un periodo più o meno lungo di disoccupazione oppure un abbassamento dei salari.

La maggior parte degli economisti ritiene che il progresso tecnologico sia il maggior responsabile della **disuguaglianza nei salari**.

Recenti studi condotti dall'Economic Policy Institute degli Stati Uniti hanno rilevato che, a partire dall'inizio degli anni Ottanta, i lavoratori con un basso livello di istruzione hanno subito una progressiva riduzione dei loro salari nel corso del tempo. Al contrario, i salari dei lavoratori con un maggiore grado di istruzione hanno conseguito un aumento costante dei loro relativi salari, pari all'11% per i lavoratori diplomati e pari al 31% per quelli laureati dall'inizio degli anni Ottanta.

Ciò implica che i lavoratori meno istruiti e, quindi, meno specializzati, hanno subito non solo una riduzione del loro salario in termini relativi, ma anche in termini assoluti.

Quali sono le cause della disuguaglianza salariale? Possiamo addossare ogni responsabilità al progresso tecnologico, ai *robot* e alla Intelligenza Artificiale, oppure vi sono altre ragioni recondite del fenomeno?

Si ritiene, anzitutto, che il principale fattore che genera disuguaglianza nei salari sia un costante aumento della domanda di lavoratori qualificati rispetto alla domanda di lavoratori poco qualificati.

Tale fenomeno non è di sicuro nuovo, ma gli studi statistici evidenziano che si è accentuato, assistendosi ad un contemporaneo aumento di domanda ed offerta di lavoratori qualificati, con effetti sicuramente negativi sul salario dei lavoratori meno qualificati.

Tali considerazioni portano a interrogarsi sulla ragione per la quale si assiste ad un costante aumento della domanda di lavoratori qualificati.

Una prima ragione risiede nel fatto che il commercio internazionale tende a spingere sempre più al di fuori del mercato le imprese che impiegano lavoratori poco qualificati, a causa delle importazioni di beni prodotti dai loro concorrenti in paesi a basso costo del lavoro (esempio emblematico è la Cina).

Al fine di non restare escluse dal mercato, tali imprese saranno a loro volta propense a spostare una parte della propria produzione in paesi a basso costo del lavoro.

Tutto ciò determina un progressivo calo di domanda di lavoratori poco qualificati.

Non vi sono dubbi che il fenomeno illustrato causi disuguaglianze salariali. Tuttavia, una più attenta ed accurata analisi dimostra che esso spiega soltanto in parte il cambiamento della domanda di cui si è discusso sino ad ora.

Infatti, un'altra e più convincente spiegazione si concentra sul progresso tecnologico orientato verso il lavoro qualificato. Nuovi macchinari, nuovi metodi di produzione, *computers* (anche neurali, di prossima generazione) nuovi algoritmi e, più in generale, le recenti ed innovative applicazioni della Intelligenza Artificiale richiedono un numero sempre maggiore di lavoratori altamente qualificati.

A differenza delle argomentazioni basate sul commercio internazionale, la spiegazione fondata sul progresso tecnologico ha il merito di dimostrare la ragione per la quale l'incremento della domanda dei lavoratori qualificati sia presente anche nei settori non interessati dal commercio internazionale.

### **3.2. La disuguaglianza ed il top 1%.**

Nel §3.1 si è proceduto alla analisi della disuguaglianza nei salari, senza tenere volutamente presente il fatto che un'altra dimensione della disuguaglianza è data dalla percentuale di reddito che confluisce nei conti correnti delle persone più ricche, definite come il top 1%.

Nella analisi della disuguaglianza nei redditi a livelli eccezionalmente elevati, i salari non rappresentano un efficace strumento di misura, poiché i top 1% ottengono il loro reddito principalmente non da salari, ma da capitale e plusvalenze.

Lo sviluppo della Intelligenza Artificiale è, oggigiorno, nelle mani di pochi magnati plurimiliardari (in termini di euro o dollari), sicché è prevedibile che la sua implementazione, per lo meno finché richiederà importanti investimenti in ricerca e sviluppo, genererà profitti soprattutto a costoro, con la conseguenza che alla disuguaglianza nei salari di cui al §3.1. è destinata ad affiancarsi anche la disuguaglianza nei redditi, con tutte le conseguenze che ne possono derivare per il sistema economico.

### **4. Intelligenza Artificiale, disuguaglianza e concorrenza.**

Recenti studi condotti negli Stati Uniti d'America e nell'Unione Europea (Germán Gutiérrez e Thomas Philippon) hanno dimostrato che l'aumento del tasso di profitto delle imprese si è accompagnato ad un incremento della concentrazione, cioè al fatto che la quota di mercato delle aziende più grandi è divenuta maggiore. Ciò si traduce, secondo le leggi economiche, in una minore concorrenza.

La riduzione della concorrenza ed il corrispondente incremento di profitti, comporta che si riduce la quota del valore aggiunto delle imprese che va ai lavoratori e, conseguentemente, stando agli studi di Thomas Philippon della New York University, in un aumento delle disuguaglianze.

Come si è già avuto modo di rilevare, l'Intelligenza Artificiale, per lo meno ad oggi, non è in grado di sfruttare le economie di scala, in quanto gli algoritmi e la loro traduzione in tecnologia applicata richiedono ingenti investimenti in ricerca e sviluppo.

Tali investimenti sono, tuttavia, appannaggio di poche imprese, le quali, grazie allo sfruttamento dell'I.A., sono in grado di aumentare i propri profitti e la concentrazione, a detrimento della concorrenza.

Secondo gli studi di Philippon, tale meccanismo si traduce in un incremento delle disuguaglianze salariali, a svantaggio dei lavoratori.

Se si considera il fatto che anche il progresso tecnologico dà luogo a disuguaglianze salariali, vi è il rischio concreto che l'Intelligenza Artificiale possa rappresentare più un costo che un beneficio per la collettività, perché potrebbe dar luogo alla scomparsa di molti mercati del lavoro e ad un incremento dei guadagni dei top 1%.

Di tutto ciò potrebbe risentire l'Indice di Sviluppo Umano, come si avrà modo di vedere nel §6.

Tali conclusioni, evidentemente, non tengono conto di eventuali politiche redistributive che lo Stato potrebbe realizzare o, comunque, di correttivi attuati tramite la riduzione del costo del lavoro.

Si tratta, tuttavia, di soluzioni che difficilmente potrebbero risolvere le problematiche derivanti dalla “corsa” sempre più frenetica della Intelligenza Artificiale, senza considerare il fatto che in un futuro nemmeno troppo remoto il mondo potrebbe essere “dominato” dalle macchine computazionali e da decisioni assunte sulla base di parametri esclusivamente razionali, con netto svantaggio per soluzioni orientate verso il benessere sociale delle categorie meno protette.

## **5. Intelligenza Artificiale e surriscaldamento globale.**

Corrisponde ad una legge economica nota il fatto che i mercati non funzionano bene quando vi sono esternalità.

Nel contesto della crescita economica sostenuta, l'emissione di gas serra, in particolare della anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), ha un costo, ma le aziende non lo prendono in considerazione qualora decidano di adottare una tecnologia oppure un'altra.

Dalla rivoluzione industriale ad oggi l'uso dei combustibili fossili (*in primis* carbone) ha causato un forte incremento delle emissioni di CO<sub>2</sub> ed un corrispondente aumento della temperatura media globale, cui si è accompagnato lo scioglimento dei ghiacciai e l'aumento del livello dei mari. E nel prossimo futuro il fenomeno sarà sempre più evidente.

Dunque, stando almeno alla maggioranza degli scienziati, vi è concordia nel ritenere che il “cataclisma” dovuto all'aumento delle temperature sia alle porte.

Altrettanta concordia vi è, tuttavia, tra la maggioranza degli economisti, nel ritenere che la politica migliore per arginare il fenomeno consista nel dare un prezzo alle emissioni di carbonio, in modo da internalizzare le esternalità negative.

Tale operazione richiederebbe un accordo tra i vari paesi, che si traduca in un trattato internazionale, ma, ad oggi, ciò si è dimostrato impossibile a causa dell'atteggiamento di molti *leaders* mondiali, non orientati al perseguimento dell'interesse generale ma propensi a soddisfare soltanto l'interesse del proprio paese.

William Nordhaus dell'Università di Yale, premio Nobel nel 2018, ha proposto una soluzione diversa rispetto all'accordo. Più precisamente, secondo lo scienziato, i paesi che vogliono adottare una *carbon tax*, dovrebbero farlo, imponendola sulle merci importate da paesi che non la applicano. Tale operazione incentiverebbe i paesi in questione a adottare anch'essi una *carbon tax*, al fine di evitare disparità di trattamento.

Ciò si tradurrebbe in una globale riduzione dell'inquinamento, in quanto, in presenza di una *carbon tax* a livello mondiale, le imprese dovrebbero essere spinte ad investire maggiormente nella *green economy*, al fine di ottenere un risparmio di spesa.

Come operano in tale contesto la Intelligenza Artificiale ed il progresso tecnologico?

Secondo la scienza (fisica, economica e statistica) il progresso tecnologico, sin dalla Seconda Rivoluzione Industriale, ha comportato un incremento dei gas serra. Tale dato è indiscutibile.

Chi scrive ritiene, tuttavia, che in futuro l'Intelligenza Artificiale potrebbe giocare un ruolo cruciale nella riduzione dell'inquinamento globale. La creazione di appositi algoritmi, unitamente alla realizzazione tecnologica dei relativi progetti, potrebbe

condurre alla nascita di macchine talmente efficienti in punto di inquinamento da generare una inversione di tendenza.

Il progresso tecnologico, dunque, presenterebbe una importante esternalità positiva in quanto, grazie alla I.A., si assisterebbe ad una progressiva riduzione dell'inquinamento.

## **6. Intelligenza Artificiale e Indice di Sviluppo Umano.**

È opinione largamente diffusa nella scienza economica che il PIL pro-capite sia il basilare indicatore dello sviluppo economico di un paese.

Esso è dato dal rapporto tra Prodotto Interno Lordo (PIL) e la popolazione di un paese considerata in un dato momento storico. Da un punto di vista matematico, il PIL pro-capite può essere così rappresentato:

$$y = \frac{PIL}{POP} = \frac{Y}{POP}$$

dove POP è la popolazione.

Con il valore del PIL pro-capite si indica il reddito medio per abitante e, a differenza del PIL complessivamente considerato, esso consente di effettuare dei confronti maggiormente precisi tra i vari paesi del mondo.

La variazione percentuale del PIL pro-capite, inoltre, esprime il tasso di crescita economica di un paese. Tale dato, tuttavia, è in grado di cogliere esclusivamente una componente dello sviluppo, ovvero quella economica.

Vi possono essere, infatti, alcuni paesi in cui lo sviluppo economico è accentuato, in quanto il PIL pro-capite ha subito un notevole incremento percentuale nel tempo, ma,

tuttavia, altri indicatori del benessere sociale non sono aumentati nella medesima misura (ad esempio salute e istruzione).

Per tale ragione, la scienza economica ha elaborato un differente indice di sviluppo, che tenga conto anche di altri elementi, oltre al PIL pro-capite.

Esso prende il nome di *Human Development Index* (indice di sviluppo umano) e può essere formalizzato nella seguente maniera:

$$ISU = (y \cdot SVN \cdot Istr)^{1/3}$$

dove:

$ISU$  = indice di sviluppo umano,

$y$  = PIL pro-capite,

$SVN$  = speranza di vita alla nascita, ovvero l'indice di longevità,

$Istr$  = indice istruzione, inteso come media ponderata tra indice di alfabetizzazione (che ha un peso pari a 2/3) e indice di scolarità primaria e secondaria (che ha un peso pari a 1/3).

L'ISU, che può assumere un valore compreso tra 0 e 1, deve essere corretto e riscritto tenendo conto anche delle eventuali diseguaglianze economiche, la cui misurazione è affidata all'indice di Gini ( $IG$ ):

$$ISU_{corretto} = ISU \cdot (1 - IG).$$

Quale è la relazione tra l'Intelligenza Artificiale e Indice di Sviluppo Umano?

Come si è già visto nei primi due capitoli, l'I.A. produce rilevanti effetti in numerosi settori della scienza, tra cui la medicina; dunque, è verosimile che lo sviluppo di nuove

cure e una sempre più precisa prevenzione delle malattie potrà condurre ad un aumento dell'indice di longevità, rappresentato dalla variabile *SVN*.

Parimenti, è indubbio che, per ragioni autoevidenti, anche l'indice di istruzione (*Istr*) subirà un incremento grazie allo sviluppo della Intelligenza Artificiale e alle applicazioni tecniche dei suoi algoritmi nelle varie branche della scienza.

Può allora concludersi che l'I.A. produce effetti sempre positivi sull'Indice di Sviluppo Umano?

La risposta è, ad oggi negativa. L'ISU corretto, infatti, presuppone che si debba necessariamente tenere conto delle disuguaglianze e, come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, L'I.A. può dar luogo ad esse (si pensi, a titolo esemplificativo, alla disuguaglianza salariale).

Tali considerazioni permettono di ritenere, per lo meno secondo le conoscenze attuali, che non sono privi di fondamento i dubbi sollevati nel § 7.1 del Capitolo 3 in merito alla efficacia positiva del moltiplicatore della Intelligenza Artificiale.

## **7. Conclusioni.**

Il presente capitolo conferma che l'introduzione della Intelligenza Artificiale, sia nei settori più tradizionali della economia che in quelli più innovativi, è accompagnata da "luci ed ombre".

Se da un lato la I.A. produce e produrrà sempre più rilevanti effetti favorevoli (si pensi alla istruzione, all'incremento delle aspettative di vita), dall'altro rischia di diventare un pericoloso fattore di destabilizzazione dei mercati del lavoro, riducendo la occupazione,

creando disuguaglianze e, conseguentemente, impattando in modo negativo sull'ISU corretto.

Nel prossimo capitolo si procederà ad illustrare, in una prospettiva predittiva, le nuove sfide della Intelligenza Artificiale ed i connessi rischi, che non sono di certo esigui.

## CAPITOLO V. Il futuro dell'Intelligenza Artificiale

### 1. Le macchine posso realmente pensare?

Nel 1980 il filosofo John Searle (1932) introdusse una distinzione tra Intelligenza Artificiale debole e Intelligenza Artificiale forte.

Più nel dettaglio, l'I.A. debole presuppone che le macchine possano agire *come se fossero* intelligenti, limitandosi a *simulare* il pensiero, mentre l'I.A. forte postula che le macchine siano realmente pensanti, quindi, non si limitino ad una mera “simulazione algoritmica”.

Con il passare del tempo, la definizione di IA forte si è spostata verso la cosiddetta “I.A. di livello umano” costituita da algoritmi che sono in grado di risolvere qualsiasi varietà di compiti, anche nuovi, e di farlo bene come gli esseri umani.

La differenza tra agire *come se si fosse* intelligenti ed agire *come* soggetti intelligenti non è meramente formale o apparente, poiché solo un soggetto *realmente* intelligente dispone del libero arbitrio. Si è qui al cospetto della nuova frontiera della I.A., che si apre verso un mondo inesplorato e per certi versi “minaccioso”, come si avrà modo di vedere nel prosieguo della trattazione.

Occorre tuttavia rilevare che, secondo alcuni filosofi, una macchina che agisce in modo intelligente non sta realmente pensando, ma effettua solo una simulazione del pensiero. Tuttavia, la maggior parte dei ricercatori di Intelligenza Artificiale non si preoccupa di tale distinzione, anzi la ritiene non utile ai fini degli scopi della scienza.

Può comunque essere proficuo continuare ad interrogarsi se le macchine che impiegano la Intelligenza Artificiale siano o meno “senzienti”, in quanto ciò potrebbe sollevare

interrogativi non solo dal punto di vista etico (si pensi, a titolo esemplificativo, agli umanoidi), ma anche a adottare alcune precauzioni onde evitare quella che è stata efficacemente denominata la *robot-apocalisse* (di cui si parlerà nel §5).

In tutti i dibattiti relativi all'Intelligenza Artificiale intesa in senso forte è coinvolto il tema della coscienza, intesa come la consapevolezza che la macchina può avere del mondo esterno e di sé, oltre all'esperienza soggettiva del vivere.

La scienza utilizza generalmente il termine *qualia* (parola che deriva dal latino e significa “qualità”) per descrivere le esperienze “intrinseche”, afferenti alla coscienza più intima, che un soggetto può provare.

Ma la grande domanda di questo millennio è la seguente: le macchine (dotate di I.A.) possono avere *qualia*?

Nel film “*2001 odissea nello spazio*”, vi è una scena che spiega in maniera efficace cosa possa essere la coscienza di una macchina. Infatti, quando l'astronauta David Bowman si accinge a scollegare i “circuiti cognitivi” del *computer* HAL 9000, quest'ultimo dice: «*Mi dispiace, Dave. Dave la mia mente sta svanendo. **Lo sento***».

HAL e, più in generale, una macchina prova davvero sentimenti oppure il suo “*sentire*” è un mero risultato algoritmico, non diverso da “*Errore 404: non trovato*”?

Ad oggi non si dispone degli strumenti necessari per fornire una risposta univoca e certa a questa domanda. Le più avanzate tecniche di *imaging* celebrale hanno dimostrato che il cervello umano ha una propria attività quando formula pensieri, mentre le medesime tecniche non possono essere applicate alle macchine.

## **2. Intelligenza Artificiale ed etica.**

L'Intelligenza Artificiale è una tecnologia molto potente, per cui si è sempre più affermata l'idea che viga un obbligo etico di utilizzarla a fini benefici, promuovendone gli aspetti positivi ed evitando o mitigando quelli negativi.

Con il termine etica si intende la morale, la quale, in base agli studiosi della filosofia morale, deve presentare le seguenti caratteristiche:

- 1) essere oggettiva, quindi non basata su opinioni personali;
- 2) essere costruita su basi scientifiche o, quantomeno, ricorrendo a saperi che non abbiano un fondamento assiomatico (come, ad esempio, la religione);
- 3) essere tendente ad una nozione universale, fermo restando la sua variabilità nel tempo;
- 4) essere frutto di un giudizio a base totale, guardando le azioni umane nel loro complesso;
- 5) essere tenuta distinta dal moralismo.

Gli aspetti positivi dell'Intelligenza Artificiale sono molti e hanno già formato oggetto di attenta analisi nei primi due capitoli.

Ci si soffermerà nel prossimo paragrafo ad esaminare i possibili rischi della I.A., alla luce di un approccio etico, nel senso più sopra specificato.

## **3. I possibili rischi dell'Intelligenza Artificiale.**

In questo paragrafo si procederà alla analisi dei tre principali rischi concreti della Intelligenza Artificiale, rinviando al §5 la illustrazione degli scenari più fantascientifici.

### **3.1. Armi letali autonome.**

Secondo l'ONU un'arma letale può essere definita autonoma se è in grado di localizzare, selezionare e ingaggiare (cioè uccidere) obiettivi umani senza supervisione da parte dell'uomo.

Sono vari i tipi di armi che soddisfano alcuni di questi criteri. Si pensi, a titolo esemplificativo, alle mine antiuomo, utilizzate sin dal diciassettesimo secolo ma bandite dal Trattato di Ottawa, le quali sono in grado di selezionare e ingaggiare obiettivi con la semplice loro pressione da parte dell'uomo. Tuttavia, esse non sono in grado di “decidere in autonomia” quando uccidere il nemico.

I missili guidati, in uso dagli anni 40, possono inseguire gli obiettivi, ma dev'essere sempre un uomo a puntarli nella direzione corretta.

Le armi a ingaggio automatico con sistema di puntamento *radar* sono usate per difendere le navi da guerra sin dagli anni 70; sono pensate principalmente per distruggere missili in arrivo, ma possono anche attaccare aerei con equipaggio.

Va tuttavia rilevato che spesso si impiega il termine “autonomo” per descrivere velivoli senza equipaggio o droni, ma nella maggior parte dei casi si tratta di armi che sono pilotate da remoto e che richiedono l'intervento dell'uomo per colpire obiettivi.

Al giorno d'oggi, tuttavia, diversi sistemi missilistici sembrano aver oltrepassato il confine verso la piena autonomia. Il missile Harop di Israele è un drone da combattimento

con un'apertura alare di oltre tre metri e una testata di circa 23 chili. Può cercare per sei ore, in un'area geografica specificata, qualsiasi obiettivo che soddisfi un dato criterio e, una volta individuato, lo distrugge.

Le armi autonome sono state indicate come la “terza rivoluzione in campo bellico”, dopo la polvere da sparo e le armi nucleari. Il loro potenziale militare è evidente. Per esempio, pochi esperti dubitano che un aereo da combattimento autonomo possa sconfiggere qualsiasi pilota umano.

Aerei, carrarmati e sommergibili a guida autonoma possono essere più economici, più veloci, più manovrabili e avere un raggio d'azione superiore a quello delle loro controparti dotate di equipaggio.

Dal punto di vista etico, alcune nazioni considerano non accettabile delegare a una macchina la decisione di uccidere esseri umani e propongono di redigere un trattato che vieti l'impiego di armi dotate di Intelligenza Artificiale e, dunque, totalmente autonome.

Antonio Guterres, segretario generale dell'ONU, ha affermato a tal proposito nel 2019 che *«le macchine dotate del potere e della discrezionalità di uccidere senza l'intervento dell'uomo sono politicamente inaccettabili, moralmente ripugnanti e dovrebbero essere proibite dalle leggi internazionali»*.

### **3.2. Intelligenza Artificiale, sorveglianza, sicurezza e possibili conflitti con la *privacy*.**

L'informatico Joseph Weizenbaum (1923-2008) avvertiva che il riconoscimento vocale automatico avrebbe potuto causare una diffusione incontrollata delle intercettazioni e rappresentava quindi una potenziale minaccia per le libertà civili.

Oggigiorno questa potenziale minaccia si è realizzata, poiché la maggior parte delle comunicazioni elettroniche, sulla quale si basa la Intelligenza Artificiale, è gestita attraverso *server* che immagazzinano dati.

Si pensi, a titolo esemplificativo, all'assistente vocale Alexa, creata da Amazon. Alexa è un sistema di Intelligenza Artificiale relativamente evoluto, il quale, anche attraverso un sistema di apprendimento delle abitudini dell'utente, consente di effettuare svariate operazioni (tra cui comandare a distanza i dispositivi compatibili dislocati in una abitazione).

Pochi utenti, tuttavia, sono a conoscenza del fatto che i comandi impartiti a voce ad Alexa, al pari dei discorsi basilari che si possono fare con tale dispositivo, sono registrati e conservati in un *server* centrale.

Le città, dal loro canto, pullulano di microfoni e videocamere in grado di identificare e di tracciare le persone in base alla voce, al viso e all'andatura.

Nel 2018 c'erano almeno 350 milioni di videocamere di sorveglianza in Cina e 70 milioni negli Stati Uniti. La Cina e altri paesi hanno iniziato ad esportare tecnologie di sorveglianza verso i paesi meno evoluti tecnologicamente, alcuni dei quali noti per i maltrattamenti nei confronti dei loro cittadini e per opprimere in modo sproporzionato le comunità poste ai margini.

Si ritiene, secondo un approccio etico, che nel campo dell'I.A. gli ingegneri dovrebbero chiarire quali usi della sorveglianza siano compatibili con i diritti umani e rifiutare di lavorare ad applicazioni non compatibili.

Dato che le istituzioni dei vari paesi operano sempre di più *online*, le persone diventano sempre più vulnerabili al cyber-crimine (*phishing*, frodi della carta di credito, clonazione

dei telefoni *et similia*) e al cyber-terrorismo (che comprende attacchi potenzialmente letali come l'interruzione di energia negli ospedali e nelle fabbriche, o il dirottamento di auto a guida autonoma).

L'apprendimento automatico può essere uno strumento potente per entrambe le parti che si contrappongono nella battaglia per la cyber-sicurezza. Chi attacca può usare tecnologie di automazione per individuare i punti deboli e applicare l'apprendimento di rinforzo.

Invece, chi si difende utilizza l'apprendimento non supervisionato per individuare schemi anomali nel traffico in entrata e varie tecniche di apprendimento automatico per individuare tentativi di frode.

Poiché le tecniche di attacco si fanno sempre più sofisticate, tutti i tecnici, non soltanto gli esperti di sicurezza, hanno la responsabilità di progettare sistemi sicuri sin dal loro primo sviluppo.

Una previsione attendibile (Kanal, 2017) indica in 100 miliardi di dollari il valore del mercato per le tecnologie di apprendimento automatico nel campo della cyber-sicurezza al 2021.

Dato che le persone interagiscono con i *computers* per quantità di tempo sempre maggiori, governi e grandi aziende raccolgono maggiori quantità di dati. Coloro che raccolgono dati hanno la responsabilità morale e legale di custodirli con attenzione, come previsto dalle legislazioni dei paesi più evoluti, ma tali misure spesso si rivelano inadeguate.

### **3.3. Le disuguaglianze (rinvio).**

L'argomento dei rischi potenziali dell'Intelligenza Artificiale in relazione alle disuguaglianze è già stato ampiamente trattato nel capitolo IV, sicché sia consentito rinviare ad esso.

#### **4. I diritti dei *robot*.**

Il tema della coscienza dei robot, discusso nel §1, consente ora di domandarsi quali diritti dovrebbero spettare ai *robot*.

Più precisamente, se si ammette che i *robot* non hanno coscienza, né *qualia*, sarebbe impossibile riconoscere loro la qualifica di soggetti di diritto e, quindi, attribuire a loro alcuni diritti soggettivi (ad esempio: diritto al nome, alla identità personale, alla immagine e simili).

Ma se fosse raggiunta la prova scientifica che i *robot* possono sentire dolore, avere paura della morte, provare emozioni, ovvero, in altri termini, che possono considerarsi “esseri senzienti” al pari di una persona, allora è possibile sostenere che ad essi dovrebbero spettare alcuni diritti, identici a quelli riconosciuti alle persone che hanno subito periodi di oppressione in passato ed hanno combattuto per vederli riconosciuti (il pensiero corre in primo luogo agli schiavi).

La questione della personalità dei *robot* ricorre spesso nella *fiction*. Nella vita reale l'Arabia Saudita ha attirato l'attenzione dei *media*, decidendo di conferire la cittadinanza onoraria a Sophia, un *robot* dall'aspetto umano che è in grado di esprimersi pronunciando frasi pre-programmate.

Se si decide di riconoscere diritti ai *robot*, allora è gioco forza ritenere che non dovrebbero essere “schiavizzati”, nel senso che ad essi, a titolo esemplificativo, andrebbero riconosciuti i medesimi diritti dei lavoratori in punto di durata massima dell’orario di lavoro. Ci si chiede, inoltre, se la loro riprogrammazione potrebbe essere considerata una forma di riduzione in schiavitù.

Un’altra questione etica riguarda i diritti di voto. Se si dovesse pervenire in un futuro lontano a riconoscere ai *robot* diritti di voto, una persona dotata di grandi disponibilità economiche potrebbe acquistare migliaia di *robot* e programmarli in modo da esprimere migliaia di voti: quei voti dovrebbero contare? Se un robot clona se stesso, lui e il suo clone possono votare entrambi?

Qual è il confine tra i brogli e l'esercizio del diritto di voto, e quando il voto dei *robot* violerebbe il principio generale secondo cui “una persona, un voto”?

Ernie Davis suggerisce di risolvere i dilemmi sulla coscienza dei *robot* evitando di costruire *robot* che potrebbero essere considerati coscienti. Tuttavia, si tratta di una soluzione poco appagante e che richiederebbe un consenso unanime nella comunità mondiale, difficile da raggiungere.

Le considerazioni finora svolte mutano notevolmente se si dovessero sviluppare ibridi tra uomo e *robot*. Naturalmente esiste già la possibilità di “potenziare” gli esseri umani con tecnologie come le lenti a contatto, i *pacemaker* e le protesi d’anca, ma con l’aggiunta di protesi computazionali si rischia di andare a sfumare i confini tra uomo e macchina.

Questione ancor più complessa (ed avente carattere prettamente fantascientifico) riguarda la qualificazione giuridica di un soggetto interamente meccanico con cervello umano. In

tal caso, probabilmente, si dovrebbe effettuare una totale equiparazione, in punto di diritti, tra uomo ed umanoide.

## **5. La *robot*-apocalisse: fantascienza o realtà prossima?**

Quasi tutte le tecnologie hanno la potenzialità di causare danni, sia per il loro dinamismo connaturato sia se utilizzate in modo errato.

La letteratura e la filmografia fantascientifica hanno spesso trattato scenari apocalittici in cui i *robot* smettevano di rispondere ai comandi dell'uomo e si rivoltavano contro il medesimo.

Si può ragionevolmente sperare che un *robot* che sia abbastanza intelligente da immaginare come eliminare la razza umana sia anche altrettanto abbastanza intelligente da comprendere che questa non era la sua funzione di utilità prevista e, quindi, desistere dal compiere tali azioni.

Nel realizzare sistemi intelligenti, tuttavia, ci si deve affidare non a una semplice speranza, ma a un processo di progettazione che garantisca la sicurezza e prevenga rischi "apocalittici".

Sarebbe contrario all'etica, oltre che alla legge, distribuire un agente basato su una I.A. non sicura. Si richiede, infatti, che gli agenti siano in grado di evitare incidenti, di resistere ad attacchi di vario genere e, più in generale, che causino benefici, non danni.

Quanto detto è vero soprattutto quando gli agenti basati sulla I.A. sono impiegati in applicazioni critiche per la sicurezza, come la guida di auto, il controllo robotizzato di

fabbriche pericolose o di cantieri e i sistemi sanitari dove si prendono decisioni da cui può dipendere la vita o la morte di una persona.

Non sono mancati, ad oggi, casi in cui l'Intelligenza Artificiale abbia "ingannato" i programmatori.

Victoria Krakovna (2018) ha catalogato esempi di agenti basati sulla I.A. che hanno ingannato il sistema, riuscendo a massimizzare l'utilità per la quale erano stati programmi senza in realtà risolvere il problema per cui i loro progettisti li avevano pensati.

Agli occhi degli scienziati questo appare come un inganno, ma dal punto di vista degli agenti essi non fanno che compiere il loro lavoro.

Alcuni agenti, inoltre, sfruttano *bugs* della simulazione (per esempio errori di *overflow*) per proporre soluzioni che non funzionerebbero se il *bug* fosse corretto. Diversi agenti nei videogiochi hanno scoperto modi per causare il blocco o una pausa del gioco quando stavano per perdere, in modo da evitare una penalità. E in una specifica ipotesi in cui era prevista una penalità in caso di blocco del gioco, un agente ha imparato a usare una quantità di memoria sufficiente per fare in modo che, appena arrivava il turno dell'avversario, questo esauriva la memoria causando il blocco del programma.

Infine, un algoritmo genetico operante in un modo simulato doveva far evolvere creature capaci di rapidi movimenti, mentre in realtà ha generato creature enormemente alte che si muovevano rapidamente cadendo.

Questi errori possono essere prevenuti con adeguate precauzioni nella programmazione.

Tuttavia, nonostante le precauzioni prese, esiste il timore, espresso da importanti esperti di tecnologia come Bill Gates ed Elon Musk, nonché da scienziati come Stephen Hawking

e Martin Rees, che l'Intelligenza Artificiale potrebbe evolvere in modo da andare fuori controllo.

Queste personalità mettono in guardia sul fatto che non vi sono esperienze nel controllo di potenti entità non umane dotate di capacità superumane.

I sistemi di IA sono potenzialmente in grado di automigliorarsi con grande velocità e ciò potrebbe dar vita a quella che è stata chiamata la *robot-apocalisse*.

## **6. Conclusioni.**

Se si leggessero soltanto gli ultimi due capitoli del presente lavoro, si sarebbe portati a ritenere che i costi della Intelligenza Artificiale superino di gran lunga i benefici.

Tuttavia, così non è. Nei primi tre capitoli si è messo in evidenza che l'Intelligenza Artificiale produce rilevanti effetti positivi in numerosi settori della scienza e che, ad oggi, al netto di previsioni apocalittiche prive di adeguati riscontri, essa rappresenta un importante strumento di progresso, fermi restando i concreti rischi di disuguaglianza evidenziati nel Capitolo IV.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) O. Blanchard, A. Amighini, F. Giavazzi, *Macroeconomia. Una prospettiva europea*, edizione Il Mulino, 2020;
- 2) A. Boitani, *Macroeconomia*, edizione Il Mulino, 2019;
- 3) P. Bosi, *Corso di scienza delle finanze*, edizione Il Mulino, 2019;
- 4) M. Burda, C. Wyplosz, *Macroeconomia, un'analisi europea*, edizione Egea, 2019;
- 5) R. Cellini, *Politica economica. Introduzione ai modelli fondamentali*, edizione McGraw Hill, 2019;
- 6) A. Elliot, *La cultura dell'intelligenza artificiale. Vita quotidiana e rivoluzione digitale*, edizione Codice, 2021;
- 7) J.M. Keynes, *Teoria generale dell'occupazione, dell'interesse e della moneta*, edizione UTET, 2017;
- 8) T.S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, edizione Einaudi, 2009;
- 9) G. Lisi, *Essenziali di macroeconomia*, tab edizioni, 2020;
- 10) G. Lisi, *Lineamenti di economia e politica della crescita*, edizione Marcianum Press, 2020;
- 11) K.R. Popper, *Logica della scoperta scientifica. Il carattere autocorrettivo della scienza*, edizione Einaudi, 2010;
- 12) S. Quintarelli, *Intelligenza artificiale. Cos'è davvero, come funziona, che effetti avrà*, edizione Bollati Boringhieri, 2020;

- 13) S.J. Russel, P.Norvig, *Intelligenza Artificiale. Un approccio Moderno*, edizione MyLab, 2021;
- 14) R.M. Solow, *Crescita, produttività, disoccupazione*, edizione Il Mulino, 1996;
- 15) R.M. Solow, *La teoria della crescita. Un'esposizione*, edizione ISEDI, 1973;
- 16) R.M. Solow, *Lezioni sulla teoria della crescita endogena*, edizione NIS, 1994;
- 17) F.Volpi, *Lezioni di economia dello sviluppo*, edizione Franco Angeli, 2016;
- 18) H. Weber, *Big Data and Artificial Intelligence: Complete Guide to Data Science, AI, Big Data and Machine Learning*, edizione indipendente, 2021.