



POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA GESTIONALE E DELLA
PRODUZIONE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

INTELLIGENZA ARTIFICIALE E L'IMPATTO SUL SISTEMA ECONOMICO

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa Laura Rondi

Laureando:

Alessandro Gentili

Matr. 232387

Anno Accademico 2017/2018

RINGRAZIAMENTI

In primis vorrei ringraziare la prof.ssa Laura Rondi, sia per la fiducia dimostratami accettando il ruolo di Relatore per questo lavoro di tesi sia per la disponibilità e la professionalità dimostrata nei miei confronti fornendomi il materiale e i consigli necessari ad una corretta esecuzione del lavoro.

Il ringraziamento più caloroso va ovviamente alla mia famiglia, senza la quale non avrei neanche iniziato questa carriera. Dedico a loro il mio diploma di laurea in segno di riconoscimento della pazienza dimostrata e degli sforzi sostenuti, non solo finanziari.

Un ringraziamento anche alla mia fidanzata Samuela che con pazienza e fiducia ha saputo supportarmi (e sopportarmi) nei momenti più difficili.

Grazie anche al mio principale compagno di viaggi, nonché coinquilino, Michelangelo, con il quale ho condiviso questi anni di carriera universitaria in tutte le sue gioie e i suoi dolori. Dovessi iniziare tutto da capo, lo farei con gioia.

Infine, ringrazio tutti i miei amici che hanno avuto un peso (più o meno determinante) nel conseguimento di questo risultato. Nominarli tutti sarebbe impossibile ma vorrei comunque ringraziarli calorosamente di aver condiviso con me le esperienze più importanti e formative.

Grazie a tutti!

INDICE

INTRODUZIONE.....	4
1. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE.....	6
1.1. L'origine del termine.....	6
1.2. Intelligenza Artificiale: lo stato dell'arte	7
1.2.1. Gli algoritmi alla base dell'Intelligenza Artificiale.....	8
1.2.2. Le reti neurali e la machine learning	9
1.2.3. Percezione e cognizione	10
1.3. Le aziende adottano l'Intelligenza Artificiale.....	11
2. MODELLI TEORICI	19
2.1. Intelligenza Artificiale: un nuovo fattore di produzione	19
2.1.1. Equilibrio tra capitale e lavoro	19
2.1.2. L'Intelligenza Artificiale nella funzione di produzione	20
2.2. Il modello di Zeira: automazione e crescita	22
2.2.1. Il modello di Zeira: contrasti con altri modelli	23
2.3. Baumol, automazione e malattia dei costi.....	24
2.3.1. Il modello di Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones	24
2.3.2. Modello del balanced growth path	27
2.3.3. Modello del costant factor shares.....	29
2.3.4. Modello del cambio di regime	31
2.4. Il modello di Acemoglu e Restrepo	32
2.4.1. Tecnologie factor-augmenting	33
2.4.2. Acemoglu e Restrepo: l'approccio task-based	36
2.5. La funzione di produzione delle idee	39
2.5.1. Automazione continua	40
2.6. Modello della crescita ricombinante	41
2.6.1. Ricerca e scoperta	42
2.6.2. La funzione di produzione della conoscenza	44
2.7. I robot nell'ambiente produttivo	51
3. CONSEGUENZE ATTESE.....	54
3.1. L'impatto sulla competitività tra le imprese	54

3.1.1.	Intelligenza Artificiale e reverse engineering	54
3.1.2.	La gestione dei Big Data	55
3.1.3.	Intelligenza Artificiale e la riallocazione settoriale.....	56
3.2.	Il paradosso della produttività.....	57
3.2.1.	Quattro possibili spiegazioni.....	57
3.2.2.	Argomentazioni a favore.....	60
3.2.3.	Le fondamenta dell'ottimismo nei confronti dell'IA	62
3.2.4.	Perché l'IA non ha generato crescita della produttività	64
3.2.5.	Effetti attesi sulla produttività causati da un'accelerazione AI-driven	64
3.3.	L'impatto sull'organizzazione dell'impresa e sui posti di lavoro	68
3.3.1.	Un esempio di fallacia Luddista: la produzione tessile.....	68
3.3.2.	L'Intelligenza Artificiale crea nuove professioni.....	70
3.3.3.	Innovazione e premio salariale.....	73
3.3.4.	Lavoratori high-skilled vs. low-skilled	75
3.3.5.	Aumento della produttività del lavoro ma meno posti disponibili	76
3.4.	L'impatto sulla privacy	78
3.4.1.	Natura del problema.....	78
3.4.2.	Rischio sulla privacy dei consumatori e sulla sicurezza dei dati.....	80
3.4.3.	Sfide future.....	82
3.5.	Implicazioni sulla distribuzione dei benefici e sulla disoccupazione.....	83
3.5.1.	Progresso tecnologico e benessere	83
3.5.2.	Progresso tecnologico e disuguaglianza.....	90
3.5.3.	Intelligenza Artificiale e il ritorno di Malthus	94
3.5.4.	Le analisi di Bain & Company.....	97
3.6.	Altre evidenze	98
3.6.1.	L'analisi di Accenture	98
3.6.2.	Quota del capitale e automazione.....	101
4.	CONCLUSIONI.....	105
	SITOGRAFIA	108

INTRODUZIONE

All'interno di un contesto altamente instabile e dinamico come il mondo moderno, capire come un'innovazione possa impattare sull'intero sistema diventa alquanto complesso. Sono molte infatti le variabili in gioco, e le teorie al riguardo tendono, a volte, ad essere anche contrapposte tra loro. Tra le numerose innovazioni tecnologiche del XXI secolo, l'Intelligenza Artificiale sta sicuramente assumendo un ruolo predominante, come è anche possibile osservare dai grandi investimenti effettuati dalle principali multinazionali. Infatti, nonostante la natura altamente tecnologica di questa innovazione, sono molti i settori coinvolti in progetti di sviluppo atti ad adeguarsi a queste nuove tecnologie. Tuttavia, una peculiarità di questa tecnologia è quella di non essere appetibile soltanto alle imprese infatti, data l'elevata influenza che ha su tutto il sistema, risultano interessati ad essa anche soggetti esterni al contesto industriale (quali ad esempio i consumatori finali ma anche lo Stato). Pertanto, è quasi doveroso riuscire a costruire un quadro completo della situazione attuale, cercando di fare riferimento anche alle situazioni passate prendendole come esempio al fine di evitare di commettere gli stessi errori. Tali innovazioni infatti sono famose per avere una componente altamente distruttiva che, se non viene valutata con le dovute precauzioni, può portare a conseguenze indesiderate.

A tal fine, il presente lavoro è stato strutturato in 4 capitoli ciascuno con uno scopo specifico: il primo capitolo è una descrizione iniziale del concetto di Intelligenza Artificiale e dello stato dell'arte, il secondo prova a fornire una panoramica dei principali modelli macro e micro economici utili a spiegare e capire il fenomeno, il terzo capitolo si occupa di spiegare alcune delle potenziali conseguenze e il quarto e ultimo capitolo fornisce una breve conclusione atta a riassumere le principali considerazioni al riguardo.

Andando nel particolare, il primo capitolo si pone l'obiettivo di fornire un quadro generale dello stato attuale della tecnologia. Infatti, partendo dall'origine del termine e da una descrizione della tecnologia, mostra come i diversi settori si stanno interfacciando a quest'ondata di innovazioni spiegando anche, dove possibile, quali algoritmi o software sono stati o si stanno implementando.

Il secondo capitolo punta invece a descrivere il *tool box* attraverso il quale è possibile comprendere il fenomeno dell'Intelligenza Artificiale e il suo possibile impatto sul sistema economico attuale. In particolare, sono stati descritti all'interno di questo capitolo i modelli sviluppati da Zeira e Philippe Aghion e Benjamin F. Jones che mostrano la relazione tra automazione e crescita economica; il modello di Acemoglu e Restrepo che offre un approccio differente utile a mostrare l'impatto dell'IA sulla quota del capitale e del lavoro. Inoltre, sono stati descritti altri modelli interessanti volti a mostrare come l'IA influenzi lavoro, la produzione delle idee e il processo di ricerca e scoperta di nuova conoscenza.

All'interno del terzo capitolo sono invece descritte le conseguenze che, un fenomeno così distruttivo, potrebbe avere sull'intero sistema. In particolare, è stato trattato il modello sviluppato dai ricercatori Erik Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson che mostra l'effetto *mismeasured* sulla produttività causato dalla presenza di capitale intangibile non considerato ai fini del calcolo della produzione totale. Inoltre, è stata descritta anche la teoria sviluppata dai ricercatori Anton Korinek e Joseph E. Stiglitz in cui viene analizzato, sotto diversi scenari, l'impatto che l'arrivo di una nuova tecnologia IA avrebbe sui lavoratori in termini di sostituzione parziale o totale delle loro attività. In aggiunta, sono state trattate anche alcuni possibili conseguenze che l'introduzione di questa nuova tecnologia avrebbe sull'organizzazione di un'impresa, sulla competitività tra imprese e sulla privacy dei singoli consumatori.

Sul quarto e ultimo capitolo, è stato fatto il punto della situazione tenendo conto di quanto detto durante tutto il lavoro. Pertanto, sono state tratte le conclusioni frutto delle analisi, delle informazioni raccolte e dei modelli analizzati.

CAPITOLO I

1. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

1.1. L'origine del termine

Percorrendo a ritroso la storia dell'essere umano è possibile individuare numerosi avvenimenti che ne hanno cambiato notevolmente il destino. Il più famoso tra questi è sicuramente la scoperta del fuoco che ha permesso all'essere umano di svolgere mansioni anche nelle ore notturne, nonché di aumentare le sue difese e continuare a prosperare. Fondamentali furono anche le prime innovazioni meccaniche, fino ad arrivare all'avvento dell'elettronica che può considerarsi la base della rivoluzione digitale a cui si sta assistendo oggi. È proprio quest'ultima serie di eventi, chiamata digitalizzazione, che sta trasformando il modo in cui viviamo e lavoriamo ponendo le basi per l'affermarsi di un nuovo paradigma, l'Intelligenza Artificiale (IA).

Il termine Intelligenza Artificiale vede la sua nascita nel 1956, grazie ad un professore di matematica di nome John McCarthy che in quell'anno organizzò una conferenza per trattare proprio queste tematiche. Successivamente, nel 1959, venne creato da Herbert Gelemter il *Geometry Theorem Power*, ovvero un programma capace di dimostrare teoremi di geometria complessi. Le scoperte continuarono con il passare degli anni e nel 1969, alcuni ricercatori della Stanford University sviluppano il programma DENDRAL, ovvero un programma capace di ricostruire la struttura di una molecola partendo dalle informazioni sulla sua massa molecolare. Nel 1982 ci fu un'ulteriore innovazione, infatti, la Digital Equipment utilizzò il primo sistema *AI-based* in ambito commerciale. Questo programma si chiamava R1 e il suo scopo era quello di supportare la fase di configurazione degli ordini per i nuovi computer. Quindi, attraverso questi esempi, è possibile osservare che sono ormai più di 60 anni che si sente parlare di Intelligenza Artificiale, o *Artificial Intelligence (AI)*, ma l'interesse delle imprese e della ricerca a riguardo è stato risvegliato soltanto dai recenti perfezionamenti delle tecnologie e dall'individuazione delle loro possibili applicazioni. D'altra parte, trattare queste tematiche risulta alquanto complicato, in quanto si toccano questioni tecnologiche e concettuali che sono in continua evoluzione. Tuttavia, da un punto di vista tecnico, esiste da sempre un acceso dibattito sulle definizioni di IA. Secondo le ricerche condotte dai

ricercatori Stuart J. Russell e Peter Norvig in “*Artificial Intelligence: A Modern Approach*”, si può notare come tutte le definizioni disponibili si dispongano lungo quattro dimensioni semantiche: il pensiero, la razionalità, l’uomo e l’agire. Dall’interazione di queste dimensioni si possono definire quattro tipologie di sistemi: sistemi che pensano come umani; sistemi che pensano razionalmente; sistemi che agiscono come umani; e sistemi che agiscono razionalmente. Poiché la capacità di azione si può ritenere elemento fondamentale e necessario per l’applicabilità dell’IA, è stato scelto di prendere in considerazione solo le ultime due definizioni. In particolare, l’affermazione “sistemi che agiscono come umani” si basa sul test di Turing. Tale test fornisce gli strumenti necessari per mostrare se un determinato macchinario possiede la capacità di comportarsi ugualmente o similmente ad un essere umano. Perciò, al fine di superare positivamente questo test è necessario possedere quattro capacità:

- capacità di rappresentazione della conoscenza, ovvero sapere definire dei linguaggi che permettono di formalizzare la conoscenza così da renderla comprensibile alle macchine;
- capacità di ragionamento automatico, ossia la capacità di un computer di agire quasi, o parzialmente, in autonomia;
- capacità di elaborazione del linguaggio naturale;
- capacità di apprendimento automatico, ovvero *machine learning*.

Quindi, l’IA, secondo l’ultima definizione, risponde alla necessità di immagazzinare (*sense*) ed elaborare la conoscenza (*comprehend*), in modo tale da prendere decisioni (*act*) in un contesto con grande varietà di situazioni, come ad esempio il mondo in cui viviamo.

1.2. Intelligenza Artificiale: lo stato dell’arte

Generalmente, quando si pensa all’Intelligenza Artificiale, si pensa subito a tecnologie rivoluzionarie, come robot in grado intendere e di volere, e a un mondo futuristico basato interamente sulle nuove tecnologie. Tuttavia, l’Intelligenza Artificiale è più reale di quanto si tende ad immaginare e il suo impiego sta supportando le attività eseguite in molti settori differenti. È quindi utile cercare di capire quali sono le tecnologie e gli algoritmi alla base di questa nuova forma di intelligenza e che forniscono a questa

la capacità di prendere decisioni seguendo una logica e trovare soluzioni a una serie di problemi differenti.

L'impiego delle reti neurali e di algoritmi in grado di emulare i ragionamenti caratteristici di un essere umano ha permesso a queste tecnologie intelligenti di evolvere e migliorare i propri comportamenti. A tal fine, la ricerca ha impiegato i propri sforzi nello sviluppo di nuovi e sempre più numerosi algoritmi, cercando così di fornire all'Intelligenza Artificiale la capacità di imitare un numero sempre crescente di comportamenti.

1.2.1. Gli algoritmi alla base dell'Intelligenza Artificiale

L'importanza di questi algoritmi è dovuta dalla loro capacità di fornire alla macchina una conoscenza di base e una conoscenza più elaborata, ovvero creata grazie all'esperienza. Quindi, per realizzare algoritmi sempre più precisi e, di conseguenza, sempre più complessi, si è sviluppato un settore, chiamato “rappresentazione della conoscenza”, specializzato nell'individuazione e nello studio di tutti i possibili ragionamenti propri dell'essere umano e, soprattutto, nello studio di possibili soluzioni in grado di tramutare questi ragionamenti in linguaggio comprensibile dalle macchine. Infatti, quando si affrontano discorsi sulla conoscenza dell'uomo e del suo trasferimento ad una macchina, non si parla solamente di conoscenza appresa dai libri ma, piuttosto, di esperienza pregressa e di capacità di apprendere nuova conoscenza partendo da quella già presente nel sistema di partenza. Questa conoscenza è fornita alla macchina mediante diverse modalità, tra cui le principali sono la Teoria dei Linguaggi Formali e la Teoria delle Decisioni. La Teoria dei Linguaggi Formali utilizza approcci (tra cui l'approccio generativo, riconoscitivo, denotazionale, algebrico e trasformatore) che si rifanno alla Teoria delle Stringhe. Per quanto riguarda la Teoria delle Decisioni invece, questa si basa sull'Albero delle Decisioni che fornisce la possibilità di valutare, per ogni scelta, le conseguenze da attendersi. In particolare, una volta valutate tutte le possibilità, tale metodologia permette di scegliere quella che ottimizza il risultato desiderato. Inoltre, la capacità dei moderni software di gestire una moltitudine di dati permette all'IA di individuare molte più situazioni verificabili, ampliando così lo spettro delle conseguenze attese e rendendo più accurata la decisione finale.

1.2.2. Le reti neurali e la machine learning

Gli algoritmi spiegati fin qui non sono l'unico strumento sulla quale si fonda l'Intelligenza Artificiale, infatti di fondamentale importanza sono anche le reti neurali, ovvero sofisticati circuiti neurali artificiali che simulano i meccanismi dell'intelligenza umana. In sostanza, le reti neurali artificiali sono il prototipo delle reti neurali biologiche. La figura 1 mostra la struttura di una rete neurale artificiale, in particolare mostra come una rete neurale sia un'interconnessione di un gruppo di nodi chiamati "neuroni" e strutturati per strati: strato di ingresso (*input*), strato nascosto (*hidden*) e strato di uscita (*output*). Lo strato di ingresso raccoglie i dati, lo strato nascosto li elabora e lo strato di uscita fornisce l'*output* del processo di calcolo.

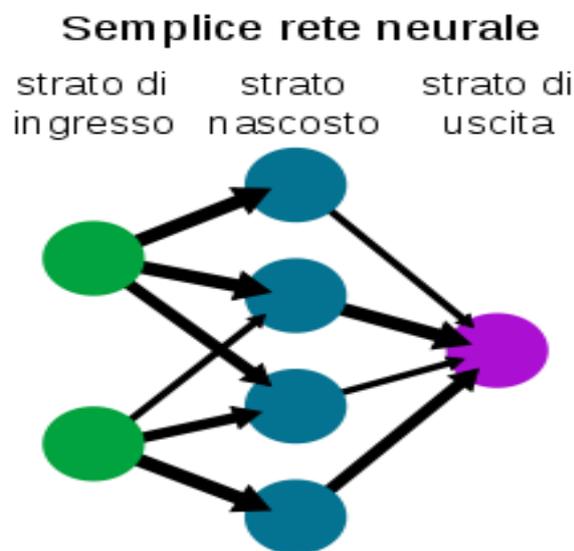


Figura 1: Struttura di una rete neurale artificiale
(fonte <http://www.intelligenzaartificiale.it>)

L'implementazione di queste reti artificiali ha permesso lo sviluppo e il miglioramento degli algoritmi utilizzati per emulare il comportamento umano. In particolare, questi algoritmi di apprendimento basati sulle reti neurali forniscono la capacità di imparare dagli errori commessi, fornendo così alla macchina la capacità di muoversi in contesti in cui gli sviluppatori non sono in grado di prevedere a priori tutte le situazioni in cui il sistema si trova ad operare. Questi algoritmi prendono il nome di *machine learning*, ossia la capacità di un computer di imparare in maniera automatica e in modo iterativo senza essere programmato specificatamente per farlo ma soltanto attraverso l'elaborazione automatica dei dati raccolti.

È possibile suddividere l'apprendimento automatico, basato sugli algoritmi di apprendimento impiegati al fine di istruire le reti neurali, in tre diverse sottocategorie: l'apprendimento supervisionato, l'apprendimento non supervisionato e l'apprendimento per rinforzo. Questa distinzione si basa sulla complessità del contesto nel quale la macchina si trova ad operare e sulla tipologia di richieste fatte alla macchina.

- se la macchina è configurata per l'apprendimento supervisionato, vengono forniti a quest'ultima alcuni esempi di obiettivi da raggiungere. In particolare, sono forniti al computer una serie di *input* al quale sono già associati gli *output* da raggiungere (il cosiddetto *training set*). Quindi, attraverso l'analisi di questo *training set*, la rete neurale estrapola una regola generale che gli permette di comprendere il contesto e gli fornisce la capacità di raggiungere l'obiettivo ogni volta che gli vengono forniti determinati *input*;
- se invece la rete neurale è impostata per l'apprendimento non supervisionato, quest'ultima dovrà essere in grado di raggiungere un obiettivo senza che nessuno gli abbia mostrato esempi di alcun tipo. Quindi, in questo caso, sono forniti alla macchina soltanto una serie di variabili in *input* senza l'associazione con gli *output* da raggiungere. La macchina, analizzando queste variabili e imparando dai propri errori, dovrà categorizzarle al fine di raggiungere l'obiettivo;
- nel caso dell'apprendimento per rinforzo, la macchina si trova ad operare in un ambiente dinamico con caratteristiche variabili. La macchina dovrà quindi essere in grado di comprendere la dinamicità del contesto nel quale si trova ad operare (senza aver ricevuto alcun tipo di indicazione) al fine di raggiungere l'obiettivo prestabilito.

1.2.3. Percezione e cognizione

Al giorno d'oggi l'IA è in grado di svolgere molti più compiti rispetto a quelli eseguiti solo pochi anni fa; ma per capire meglio cosa è veramente in grado di fare e come può essere migliorata, si possono dividere i vantaggi che si presenterebbero da una sua potenziale adozione in due macro-aree: la percezione e la cognizione. Nella prima categoria alcuni dei più grandi vantaggi pratici derivano dal riconoscimento vocale. Nonostante quest'ultimo sia ancora lontano dalla perfezione, milioni di persone continuano ad usarlo ed è stato dimostrato da uno studio di alcuni ricercatori di Stanford

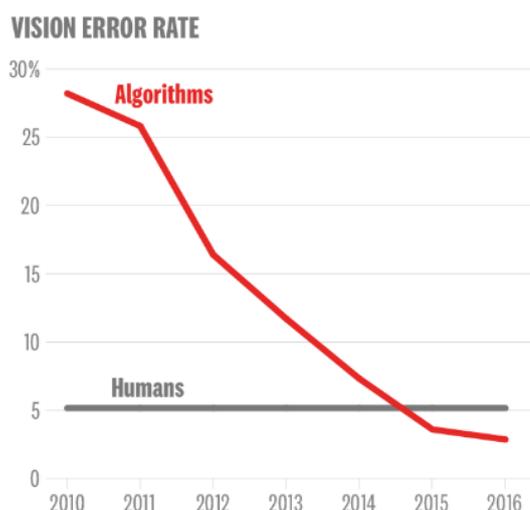


Figura 2: Tassi di errore della tecnologia di riconoscimento delle immagini (fonte Electronic Frontier Foundation)

come il riconoscimento degli ostacoli usato dalle *self-driving cars*. Inoltre, grazie al moderno approccio fornito dall'adozione delle reti neurali, è aumentata notevolmente la velocità con il quale questa tecnologia sta crescendo. Infatti, come si può osservare dalla figura 2, il tasso di errore del riconoscimento delle immagini è passato dal 30% nel 2010 a solo il 4% nel 2016. Notevoli sono anche i miglioramenti effettuati sulla seconda categoria, ovvero sulla cognizione e sul *problem solving*. Al giorno d'oggi le macchine hanno già battuto i migliori giocatori umani di poker e gli esperti avevano previsto sarebbe stato necessario almeno un altro decennio.

1.3. Le aziende adottano l'Intelligenza Artificiale

Per più di 250 anni i *driver* principali della crescita economica sono state le innovazioni tecnologiche. Le più importanti sono quelle che gli economisti chiamano le tecnologie multiuso o *general purpose technologies (GPT)*, ovvero una categoria di tecnologie che possono essere implementate per diversi scopi, come ad esempio il motore a vapore, l'elettricità e il motore a combustione. Ognuna di queste invenzioni è stata catalizzatrice di un'ondata di innovazioni complementari e di opportunità. La più importante *general purpose technology* della nostra era è, per l'appunto, l'IA, in particolare la *machine learning*.

che il riconoscimento vocale è, oggi, tre volte più veloce rispetto alla digitazione manuale su tastiera. Inoltre, si è passato da un tasso di errore del 8,5% a un tasso pari al 4,9%. Notevoli passi, sempre considerando l'area della percezione, sono stati effettuati dal riconoscimento delle immagini. Questa tecnologia vanta oggi numerosi usi che spaziano da quelli con meno implicazioni, come il riconoscimento del volto usato da Facebook per facilitare il *tag* nelle foto, a quelli potenzialmente più dannosi,

Andando indietro nel tempo, precisamente nei primi anni del XXI secolo, l'IA trova il suo primo impiego in campo industriale e fu proprio quello l'istante in cui il sistema economico iniziò ad esserne sempre più influenzato. In particolare, l'IA ha impattato e continua a farlo sulla gran parte degli operatori e dei soggetti economici impiegati nelle attività di consumo, lavoro e produzione.

Prima dell'introduzione di questa tecnologia, a costituire le fondamenta del settore industriale, c'è stato prevalentemente il lavoro dell'uomo inteso come manodopera e genio. Nel XXI secolo però è subentrata una forza completamente nuova che ha spostato gli equilibri e portato cambiamenti radicali all'intero sistema, l'Intelligenza Artificiale. Sebbene sia già in uso in migliaia di imprese, non è stata ancora sfruttata la maggior parte delle opportunità. Gli effetti dell'IA saranno maggiori nel prossimo decennio, in quanto le imprese appartenenti al settore manifatturiero, del *retail*, dei trasporti, finanziario, sanitario, legale, pubblicitario e assicurativo trasformeranno i loro processi principali e il loro *business model* per ottenere vantaggi dalla *machine learning*.

Manifatturiero

È alquanto ovvio che il settore manifatturiero è uno dei più colpiti dalle tecnologie IA, in particolare la progettazione e la produzione personalizzata sono due dei possibili ambiti di applicazione delle tecnologie IA per quanto riguarda il settore manifatturiero. In particolare, l'IA potrebbe fornire gli strumenti per una progettazione interattiva e personalizzabile di moltissimi tipologie di accessori, tra cui anche l'abbigliamento. Infatti, relativamente a quest'ultimo caso, l'azienda tessile Unspun, utilizza un elaboratore 3D e la realtà aumentata al fine di produrre abiti su misura e inviare tramite e-mail i modelli ai propri clienti così che possano confermare l'ordine o suggerire modifiche. È quindi abbastanza chiaro che un giorno non molto lontano i fornitori stessi saranno in grado di anticipare le richieste dei consumatori attraverso la previsione degli ordini supportata da tecnologie come la *machine learning*.

Retail

Tra gli altri settori maggiormente colpiti dall'uragano IA, è possibile individuare anche quello del *retail*. Infatti, alcuni *retailer* stanno sperimentando l'utilizzo di tecnologie per il riconoscimento facciale e dati biometrici al fine di studiare e prevedere

i comportamenti di acquisto dei vari consumatori. Questo tipo di tecnologia potrebbe essere molto utile per migliorare il servizio fornito ai clienti e, cosa più interessante, per migliorare il modo in cui i *retailer* si avvicinano ai clienti attraverso, ad esempio, un'organizzazione più efficace dei messaggi pubblicitari sugli schermi dei dispositivi elettronici.

Un esempio tangibile di tecnologie in grado di supportare i *retailer* nelle loro attività è sicuramente l'applicazione Virtual Artist di Sephora. Questa applicazione è in grado, attraverso la realtà aumentata, di mostrare ai clienti come determinati prodotti di bellezza starebbero sul loro viso e consigliare loro i look da provare. Anche IKEA possiede un'applicazione *AI-based* che, sempre con il supporto della realtà aumentata, consente ai propri clienti di vedere in anteprima, attraverso schermo del proprio dispositivo mobile, l'arredamento e il design all'interno della propria abitazione.

In sostanza, nei negozi e nei magazzini, l'IA sta creando nuove possibilità di crescita del servizio offerto ai clienti e, in aggiunta, permette di sviluppare processi automatizzati incrementando l'efficienza operativa dell'attività commerciale. Ad esempio, la catena di negozi al dettaglio Walmart sta sperimentando l'impiego di alcuni robot sviluppati da Bossa Nova Robotics capaci di scannerizzare gli scaffali dei propri centri commerciali. L'impiego di questa tecnologia permette l'efficientamento dell'attività fornendo un risparmio di ore di lavoro attraverso il riconoscimento delle scorte. Infatti, tali robot, attraverso l'utilizzo di immagini 3D, si spostano tra gli scaffali del negozio o del magazzino controllando i livelli di scorte e gli errori nel posizionamento dei prodotti. Queste informazioni vengono poi usate da alcuni addetti alle vendite per riorganizzare gli scaffali o rifornire il centro.

Pertanto, essendo il costo del personale una delle voci più rilevanti per i *retailer*, il controllo sull'inventario e la progettazione interattiva supportati dall'IA potrebbero modificare alcuni aspetti della struttura del settore in questione. È quindi corretto aspettarsi una crescita delle funzionalità e dell'utilizzo di queste applicazioni da parte dei *retailer*.

Trasporti

Come è facile immaginarsi, l'IA sta influenzando profondamente anche il settore dei trasporti. Infatti, le applicazioni *AI-based* relative ai trasporti forniscono un rimedio

concreto al problema degli incidenti stradali riducendone il numero e, di conseguenza, il costo sostenuto per porvi rimedio. In aggiunta, l'IA aiuterebbe anche a ridurre il traffico portando anche ad una riduzione dell'inquinamento dovuto a quest'ultimo. È quindi chiaro come questa tipologia di progresso tecnologico favorirebbe il commercio e renderebbe più accessibili molte aree geografiche portando a un aumento della crescita economica aggregata.

Tra le innovazioni principali un ruolo importante lo svolge sicuramente la *self-driving car* o veicolo a conduzione autonoma. Sono molte le imprese che stanno investendo in questa direzione e tra queste è possibile trovare Argo AI. In particolare, Argo AI sta lavorando insieme a Ford per sviluppare, entro il 2021, un software basato sull'IA che permetta di supportare un *virtual driver system* in grado di rendere autonomo un veicolo. Anche Nvidia, una società leader nel campo degli accessori grafici per PC, è oggi una delle aziende tecnologiche leader nel settore della guida autonoma. Infatti, Nvidia ha sviluppato Pegasus, un computer *AI-based* in grado di eseguire 320 trilioni di operazioni di *machine learning* al secondo, che, montato su un'automobile, permetterebbe di raggiungere la completa automazione della guida. In particolare, Pegasus elabora i dati provenienti dalle telecamere, dal lidar (uno strumento di telerilevamento che permette di determinare la distanza di un oggetto attraverso un impulso laser), dal radar e da altri tipi di sensori montati sull'automobile e, grazie alla *machine learning*, prende decisioni in completa autonomia e sceglie il percorso migliore da seguire.

Il settore dei trasporti sta affrontando anche un periodo di ringiovanimento grazie all'IA e alla nascita di nuove start-up intenzionate a sviluppare un *business* su questa nuova tecnologia. Tra queste start-up un ruolo fondamentale lo sta svolgendo Drive.ai, una società fondata nel 2015 da alcuni ex colleghi del laboratorio di IA dell'Università di Stanford. Nel dettaglio, Drive.ai sta provando a sviluppare un vero e proprio cervello da montare sulle nuove *self-driving car*. Questo hardware, utilizzato su una flotta di prova costituita da quattro veicoli, è composto da una serie di sensori, telecamere e lidar montati sulla parte superiore. Questo complesso sistema sfrutta anche i sensori integrati dell'automobile, come il radar e le telecamere posteriori. Quindi, ogni veicolo acquisisce continuamente dati da questi dispositivi e, attraverso la *machine learning*, genera delle mappe. Una volta che il sistema è stato "addestrato", vengono inseriti i dati e il processo di *decision making* del veicolo produce una soluzione.

In conclusione, questo processo di automatizzazione dei trasporti è un momento affascinante per l'industria automobilistica, e il panorama in continua evoluzione delle tecnologie *AI-based* rende difficile prevedere chi saranno i vincitori e i perdenti. Tuttavia, una cosa che sembra essere certa è sicuramente che l'IA giocherà un ruolo fondamentale nello sviluppo delle *self-driving car*.

Finanza

Relativamente al settore finanziario, una delle innovazioni principali apportate dall'IA è costituita dal *robo-advisor*. Anche se il suo nome può essere fuorviante, infatti non è coinvolto alcun robot, questa tecnologia ha profondamente cambiato il concetto di *portfolio management*. Infatti, i *robo-advisor* sono algoritmi costruiti appositamente per calibrare un portafoglio finanziario basandosi sugli obiettivi e sull'avversione al rischio dell'utente. Gli utenti inseriscono a sistema i loro obiettivi (ad esempio, il pensionamento a 65 anni con 250.000,00 € di risparmi), l'età, il reddito e le attività finanziarie correnti e il *robo-advisor* distribuisce gli investimenti tra attività e strumenti finanziari al fine di raggiungere gli obiettivi prestabiliti dall'utente.

Un'altra interessante applicazione dell'IA nel settore *finance* è relativa al *trading* algoritmico (spesso chiamato anche "*Automated Trading Systems*"). Questa attività implica l'uso di complessi sistemi di IA al fine di prendere decisioni commerciali sempre più accurate.

Anche per quanto riguarda la sicurezza finanziaria l'IA sta supportando, attraverso una potenza di calcolo maggiore e una quantità crescente di dati, la rilevazione delle frodi finanziarie. Infatti, utilizzando la *machine learning*, i sistemi possono rilevare attività o comportamenti anomali e comunicarli ai team addetti alla sicurezza.

Infine, come in altri settori, anche nel *finance* i *chat-bot* e le interfacce di conversazione sono un'area in rapida espansione nel campo dell'assistenza clienti. Infatti, società come Kasisto stanno già costruendo *chat-bot* specifici per aiutare i clienti a trovare risposte alle loro domande, come ad esempio "quanto ho speso per la spesa il mese scorso?" oppure "qual era il saldo del mio conto 60 giorni fa?". Sviluppare questa tecnologia rappresenta una grande opportunità per le banche e le istituzioni finanziarie, in quanto la facilità d'uso e la tempestività di questo servizio, potrebbe attirare un gran numero di clienti.

Sanitario

Con un valore stimato di 40 miliardi di dollari per l'assistenza sanitaria, l'IA può analizzare i dati delle cartelle cliniche preoperatorie al fine di guidare lo strumento di un chirurgo durante l'intervento, portando a una riduzione di circa il 21% nel periodo di ricovero di un paziente. La chirurgia assistita dall'IA permette ai robot di utilizzare i dati delle operazioni precedenti per migliorare l'operatività dei chirurghi. Infatti, una ricerca che ha coinvolto 379 pazienti ortopedici ha rilevato che la chirurgia assistita dall'IA ha comportato un numero di problematiche cinque volte inferiore rispetto ai casi ordinari.

Anche gli assistenti virtuali basati sull'IA potrebbero far risparmiare al settore sanitario circa 20 miliardi di dollari all'anno. Inoltre, anche il guadagno in termini di efficacia ed efficienza del servizio non è da sottovalutare. Infatti, essendo gli infermieri virtuali disponibili 24 ore su 24 e 7 giorni su 7, questi possono rispondere a domande e monitorare i pazienti senza sosta.

Relativamente alla diagnostica, una società danese sviluppatrice di software *AI-based* ha testato il suo programma di *machine learning*, in grado di ascoltare le telefonate, sulle chiamate di emergenza ricevute da un ospedale. Questo algoritmo ha analizzato l'intera conversazione captando il tono della voce, il rumore di fondo e gli arresti cardiaci con una percentuale di successo del 93% rispetto al 73% degli esseri umani. Anche Baidu Research, una compagnia multinazionale cinese esperta in tecnologie *AI-based* e servizi internet, ha recentemente annunciato che i risultati dei primi test sul suo algoritmo di *machine learning* indicano che la tecnologia è in grado di superare l'uomo nell'identificazione delle metastasi del cancro al seno.

Nel mondo estremamente complesso dell'assistenza sanitaria, gli strumenti di IA possono supportare gli umani al fine di fornire servizi più rapidi, diagnosticare problemi e analizzare dati utili a raccogliere informazioni genetiche che potrebbero mostrare una predisposizione a una particolare malattia. In particolare, quando risparmiare minuti può significare salvare vite umane, l'IA e la *machine learning* possono essere utili non solo per l'assistenza sanitaria, ma anche per ogni singolo paziente.

Legale

Sorprendentemente l'IA ha trovato applicazione anche nel settore dei servizi legali. Infatti, Ross è un avvocato robot in grado di rendere più semplice la ricerca di leggi e norme per gli avvocati. Questo particolare software si basa Watson, un software sviluppato dalla società IBM capace di riconoscere il linguaggio umano, e può trovare applicazione all'interno degli studi legali. Inoltre, Ross è anche in grado di fare collegamenti logici proponendo soluzioni specifiche in grado di fornire supporto all'avvocato durante la fase di interpretazione del caso.

Ma Ross non è il solo avvocato robot che ha preso piede negli studi legali. Infatti, gli studi legali che si occupano di contrattualistica, possono contare sul supporto del robot Kira, una tecnologia *AI-based* con la capacità di analizzare le pagine dei contratti riducendo così il tempo che un avvocato dedica a questa pratica. In particolare, Kira analizza nel dettaglio i contratti estrapolando i concetti chiave e le clausole necessarie allo studio legale per portare a termine una specifica pratica.

Pubblicità

Infinite Analytics ha sviluppato un sistema basato sulla *machine learning* in grado di prevedere se un utente è intenzionato a cliccare su un particolare annuncio, migliorando così il posizionamento degli annunci online. Inoltre, ha anche sviluppato un sistema capace di migliorare il processo di ricerca e scoperta dei clienti presso un rivenditore online. Nel primo caso, l'utilizzo dell'IA ha aumentato di tre volte il ROI relativo alla pubblicità; nel secondo caso ha generato un aumento del fatturato annuale di 125 milioni di dollari.

Inoltre, l'IA potrebbe anche supportare il processo sviluppo di una campagna pubblicitaria. Ovvero, l'IA potrebbe aiutare le aziende a migliorare continuamente le proprie campagne pubblicitarie tramite previsioni basate sull'enorme quantità di dati in loro possesso. Infatti, grazie all'IA, è possibile sviluppare algoritmi in grado di prendere in *input* determinate tipologie di dati (come i "click" effettuati su una pagina web, le visualizzazioni degli utenti, il tempo trascorso su una pagina web, gli acquisti effettuati, ecc.) e dare in *output* se una determinata iniziativa di marketing ha il potenziale per avere successo.

Assicurazioni

Il settore delle assicurazioni, per sua natura, tende ad essere fortemente influenzato dall'affidabilità e dal grado di fiducia che si associa ad un determinato individuo. Questa tematica potrebbe porre le basi per raccogliere spunti interessanti al fine di implementare innovazioni tecnologiche *AI-based* in grado di ovviare a questo problema. Pertanto, le compagnie assicurative hanno bisogno di informazioni accurate così che possano impostare le loro strategie nel modo più appropriato. La *machine learning* offre la possibilità di effettuare previsioni di alta qualità relativamente ai propri clienti così da consentire agli assicuratori di prendere decisioni intelligenti. Ad esempio, Allianz Global Corporate & Specialty SE (AGCS), compagnia di assicurazioni societarie di Allianz SE, collabora con Praedicat, una società di analisi InsurTech, al fine di prevedere meglio i principali *liability risk* (o rischi di responsabilità civile) per eventuali problematiche riscontrabili nel futuro. Per capire meglio il concetto di *liability risk*, si pensi all'amianto, che ha causato perdite assicurate di 71 miliardi di dollari a livello globale. Quindi, combinando l'approccio di modellazione predittiva di Praedicat con i processi di sottoscrizione di AGCS e tramite l'analisi del portafoglio dei *liability risk*, le società mirano a identificare la nuova generazione di *liability risk* per i clienti commerciali con tempistiche inferiori ai metodi attuali. In particolare, il modello di Praedicat utilizza la tecnologia di apprendimento automatico al fine di analizzare grandi volumi di dati provenienti da pubblicazioni scientifiche sottoposte a *peer review* e valutare la probabilità che i prodotti generino rischi di contenzioso durante il loro ciclo di vita. Quindi, i sottoscrittori *liability* di AGCS potrebbero essere in grado di identificare e valutare meglio i futuri rischi di responsabilità civile per le corporate o per le singole società.

CAPITOLO II

2. MODELLI TEORICI

2.1. Intelligenza Artificiale: un nuovo fattore di produzione

2.1.1. *Equilibrio tra capitale e lavoro*

Come già ampiamente affermato, con il termine Intelligenza Artificiale è possibile indicare l'abilità delle macchine di emulare il comportamento umano oppure la capacità di un oggetto di raggiungere obiettivi in un ambiente complesso. Quindi, questa definizione porta a chiedersi cosa accadrebbe nel caso in cui l'IA permettesse di automatizzare un numero sempre maggiore di attività svolte finora dall'essere umano. Tale evento, avrebbe effetti sul tasso di crescita e sulla quota dei profitti sia nel settore della produzione dei beni sia in quello dell'erogazione dei servizi. In altre parole, l'IA potrebbe essere in grado di fornire supporto nella risoluzione di problemi complessi portando a risparmiare tempo e denaro. Inoltre, faciliterebbe l'apprendimento e l'imitazione delle tecnologie tra le imprese impattando anche sulla competitività interna di un settore.

Accanto a tutte queste positività, tali cambiamenti nascondono anche delle ombre. Va detto che ogni rivoluzione porta con sé la difficoltà di adeguarsi a un nuovo corso e ai cambiamenti che questo comporta. Le rivoluzioni trasformano (quando non distruggono) interi settori produttivi e modi di lavorare obsoleti. Esistono infatti teorie più pessimistiche secondo cui l'IA farebbe diminuire il valore del lavoro a favore del capitale con inevitabili ripercussioni sull'economia, sulle decisioni di investimento e sul lavoro in generale. È possibile quindi parlare di IA in termini economici, considerando gli *output* della produzione in un ambiente composto da attività automatizzate.

È ampiamente dimostrato che al giorno d'oggi molti tipi di produzione, al fine di sviluppare nuovi *output*, richiedono il lavoro sinergico di macchinari e manodopera. Seguendo le linee definite della teoria della contrattazione, la ricchezza generata dalla vendita di prodotti e / o servizi viene divisa in accordo al relativo potere contrattuale definito dal contributo di ogni *input*. Di conseguenza, se la tecnologia (ad esempio attraverso un aumento della produttività) facesse diminuire l'importanza del lavoro

umano in un particolare processo produttivo, i proprietari del capitale riuscirebbero a catturare una quota più grande del profitto derivante dalla distribuzione di beni e / o servizi.

In particolare, se con l'avvento dell'IA si arrivasse a sostituire il lavoro, non ci si dovrebbe stupire del fatto che la quota dei profitti guadagnati dai *capital owner* cresca maggiormente rispetto a quella dei lavoratori. Come evidenza empirica, dalla fine della recessione, la spesa relativa all'equipaggiamento produttivo e ai *software* è salita al 26% lasciando invariati gli stipendi. In aggiunta, vi è evidenza anche del fatto che, negli ultimi anni, il capitale stia catturando una quota sempre maggiore nel PIL.

2.1.2. *L'Intelligenza Artificiale nella funzione di produzione*

Per cercare di entrare nel merito di un sistema in cui l'IA svolge un ruolo fondamentale nella produzione di beni e servizi, si provi ad immaginare una funzione di produzione costituita dai due classici fattori di produzione: il capitale e il lavoro. Per lavoro si intende la forza lavoro generata dagli esseri umani impiegati nelle attività di produzione, mentre viene considerato come capitale l'insieme dei macchinari e dei materiali usati per lo svolgimento delle suddette attività. Con l'introduzione dell'IA in questi modelli, quest'ultima può assumere la forma di capitale fisico come robot e macchine intelligenti e, a differenza del capitale convenzionale (come macchinari e strutture fisiche) può effettivamente migliorare nel tempo, grazie alle capacità di autoapprendimento. Quindi, l'IA, nel senso più ampio del termine, può essere considerata come un nuovo fattore di produzione anche se a volte può rappresentare un mero potenziatore della produttività.

Come si può osservare dalla figura 3 sottostante, e come detto precedentemente, i fattori di produzione tradizionali che guidano la crescita economica sono capitale e lavoro. La crescita si verifica quando lo stock di capitale o il lavoro aumenta o quando viene utilizzato in modo più efficiente. La crescita derivante dalle innovazioni e dai cambiamenti tecnologici nell'economia viene catturata nella produttività totale dei fattori, (*Total Factor Productivity* o *TFP*) ovvero la parte residua di *output* eccedente gli *input* di lavoro e capitale. L'IA è in grado di replicare le attività lavorative più velocemente e in quantità maggiori e persino eseguire alcuni compiti che vanno oltre le capacità degli esseri umani. Per non parlare del fatto che in alcune aree ha la capacità di imparare più

velocemente degli umani. Ad esempio, utilizzando gli assistenti virtuali, 1.000 documenti legali possono essere esaminati in pochi giorni invece di assumere tre persone per sei mesi.



NB: ▲ indicates the change in that factor.

Figura 3: Fattori di produzione tradizionali e adattati al nuovo modello (con IA)
(fonte Accenture)

L'IA, come nuovo fattore di produzione, può guidare la crescita in almeno tre importanti modi. In primo luogo, può creare una nuova forza lavoro virtuale, quella che chiamiamo "automazione intelligente". In secondo luogo, può integrare e migliorare le capacità della forza lavoro esistente e del capitale fisico. Infine, come altre tecnologie precedenti, può guidare le innovazioni nell'economia. Col passare del tempo, questo diventa un catalizzatore per un'ampia trasformazione strutturale poiché le economie che si basano sugli strumenti forniti dall'IA non solo fanno le cose in modo diverso, ma faranno anche cose diverse.

La letteratura fornisce due teorie su come l'IA impatterà sull'economia mondiale. Queste teorie si basano sul fatto che è possibile affermare che il reddito di un Paese, nel lungo periodo, sia dato dal prodotto tra la variazione dello stock di capitale, la variazione dello stock di lavoro (la manodopera) e la variazione della produttività per unità di lavoro e capitale. Queste sono teorie sono:

- la teoria pessimistica che ritiene che l'affermarsi delle tecnologie *AI-based* ridurrà il valore economico del lavoro umano, relativamente al capitale, riducendo

l'occupazione a livello aggregato, il reddito delle famiglie e ampliando le disuguaglianze;

- la teoria ottimistica che sostiene che, come è accaduto in passato per altre scoperte, l'IA possa aumentare la produttività, con una conseguente riduzione del costo di produzione di beni e servizi, facendone aumentare la domanda e facendo aumentare il reddito reale dei consumatori di quei beni e servizi. Questi cambiamenti potrebbero portare alla nascita di opportunità di lavoro finora inimmaginabili conducendo ad un aumento della ricchezza complessiva.

2.2. Il modello di Zeira: automazione e crescita

Il modello di Zeira è un modello chiaro ed elegante che ha la finalità di descrivere l'influenza dell'automazione sulla crescita economica. A tale scopo, si consideri un'economia chiusa in cui la produzione del bene finale nel periodo t , Y_t , sia descritta da una funzione di produzione Cobb-Douglas:

$$Y = AX_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} X_3^{\alpha_3} * \dots * X_n^{\alpha_n} \quad \text{con} \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (1)$$

Per semplificare la spiegazione e la comprensione dei modelli che seguono, si consideri l'IA come capitale piuttosto che come fattore produttivo separato. Quindi, si supponga che ogni attività sia eseguita dalla manodopera o dall'IA. Inoltre, entrambe le tecnologie operano in proporzioni fisse e ogni attività viene eseguita da un'unità di lavoro o da un'unità di IA. Le attività sono eseguite dal lavoro nel caso in cui non siano ancora state automatizzate e dal capitale nel caso opposto. Quindi, riferendoci sempre alla funzione sopra indicata, si avrà:

$$X_i = \begin{cases} L_i, & \text{se non automatizzata} \\ K_i, & \text{se automatizzata} \end{cases} \quad (2)$$

Se il capitale e il lavoro sono assegnati in modo ottimale all'attività, la funzione di produzione può essere espressa come segue:

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (3)$$

dove con α e $1-\alpha$ si indicano i rendimenti di scala dei rispettivi fattori (K e L), ovvero rappresentano la relazione esistente tra la variazione degli *input* di produzione in una unità produttiva e la variazione del suo *output*. La descrizione del modello prosegue incorporando questa impostazione in un modello di crescita neoclassico con un tasso di investimento costante. La quota di capitale è data da α e il tasso di crescita di lungo periodo di $y = \frac{Y}{L}$ è dato da:

$$g_y = \frac{g}{1 - \alpha} \quad (4)$$

dove g è il tasso di crescita di A . Perciò è possibile notare come un aumento dell'automazione porti ad un aumento della quota capitale α che a sua volta, poiché diminuisce il denominatore, fa aumentare il tasso di crescita dell'economia di lungo periodo.

2.2.1. *Il modello di Zeira: contrasti con altri modelli*

La previsione che sia il tasso di crescita sia la quota capitale dovrebbero crescere con l'aumento dell'automazione, va contro la teoria di Kaldor che afferma che quest'ultimi rimangono costanti nel tempo. Acemoglu e Restrepo provano invece a risolvere il problema del modello di Zeira considerando una funzione di produzione CES. In particolare, loro suppongono che la ricerca possa essere effettuata in due diverse direzioni: scoprendo come automatizzare le attività esistenti oppure scoprire nuove attività. Nel loro modello, α rappresenta la porzione di attività che sono state automatizzate. Questo ha permesso loro di mettere in evidenza il problema del modello di Zeira. Secondo loro, infatti, la quota delle attività che vengono automatizzate cresce tanto velocemente quanto la quota delle attività che vengono inventate. In questo modo, la frazione delle attività che vengono automatizzate rimane costante, portando ad una quota capitale e a un tasso di crescita costante. Hemous e Olsen nel loro modello si focalizzano sulla funzione di produzione CES (ovvero una particolare classe di funzioni di produzione caratterizzate da elasticità di sostituzione (tra i due suoi argomenti) costante) piuttosto che sulla Cobb-Douglas ma enfatizzano la differenza salariale tra i lavoratori abili e quelli poco abili. Agrawal, McHale e Oettl nel loro modello, incorporano l'IA e la "crescita ricombinante" (ovvero la combinazione tra lavoro umano e lavoro robotizzato) in un modello di crescita basato sull'innovazione per mostrare come l'IA

possa accelerare la crescita lungo un percorso di transizione. Comunque, tali modelli sono analizzati successivamente più in dettaglio.

2.3. Baumol, automazione e malattia dei costi

Il paradigma “malattia dei costi” o effetto Baumol, sta ad indicare un fenomeno economico descritto da William J. Baumol e William G. Bowen che implica una crescita del costo unitario del lavoro nei settori nei quali non si è verificata una crescita della produttività, in risposta ad una crescita salariale avvenuta in un altro settore a seguito di un aumento della produttività. Ad esempio, se nel settore manifatturiero aumentano i salari a seguito dell’aumento della produttività, nel settore dei servizi si riscontra un aumento dei salari senza l’aumento della produttività. Baumol sostiene che la crescita rapida della produttività in alcuni settori piuttosto che in altri potrebbe portare ad una “malattia dei costi” nel quale i settori a crescita lenta diventano ampiamente importanti per l’economia. Di seguito verrà analizzata la situazione in cui la forza dietro questi cambiamenti è l’automazione.

2.3.1. Il modello di Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones

Immaginiamo il PIL come se fosse una funzione di produzione CES con un’elasticità di sostituzione minore di 1:

$$Y_t = A_t \left(\int_0^1 Y_{it}^\rho di \right)^{1/\rho} \quad \text{con} \quad \sigma \equiv \frac{1}{1-\rho} < 1 \quad (5)$$

dove $\sigma = \frac{1}{1-\rho}$ è l’elasticità di sostituzione, ovvero un tipo di elasticità utilizzato in economia per misurare il grado di sostituibilità tra fattori nell’attività di produzione o consumo, mentre A_t fa riferimento al cambiamento tecnologico standard che in questo modello viene considerato per semplicità essere esogeno. Per semplificare ulteriormente il modello, si immagini che il cambiamento tecnico sia dettato solamente dall’automazione e, come in Zeira, i beni non ancora automatizzati siano prodotti dal lavoro mentre quelli automatizzati dal capitale. In aggiunta, si assuma per semplicità una quota fissa di lavoro e che, capitale e lavoro, siano allocati simmetricamente tra le attività. Inoltre, indichiamo con il termine β_t , la frazione dei beni prodotti da attività automatizzate al tempo t . Perciò, K_t/β_t sono le unità di capitale usate in ogni attività

automatizzata e $L/1 - \beta_t$ le unità di lavoro usate in ogni attività non automatizzata. La funzione di produzione può essere scritta come:

$$Y_t = A_t [\beta_t \left(\frac{K_t}{\beta_t}\right)^\rho + (1 - \beta_t) \left(\frac{L}{1 - \beta_t}\right)^\rho]^{1/\rho} \quad (6)$$

semplificando si ottiene:

$$Y_t = A_t [\beta_t^{1-\rho} K_t^\rho + (1 - \beta_t)^{1-\rho} L^\rho]^{1/\rho} \quad (7)$$

Questa impostazione riduce il modello ad una versione particolare del modello di crescita neoclassico, e l'allocazione delle risorse può essere rappresentate con un equilibrio economico generale. In questo equilibrio, la quota del PIL dei beni prodotti da attività automatizzate è uguale alla quota del Capitale:

$$\alpha_{Kt} \equiv \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} \frac{K_t}{Y_t} = \beta_t^{1-\rho} A_t^\rho \left(\frac{K_t}{Y_t}\right)^\rho \quad (8)$$

Allo stesso modo, la quota dei beni prodotti da attività non automatizzate è uguale alla quota del Lavoro:

$$\alpha_{Lt} \equiv \frac{\partial Y_t}{\partial L_t} \frac{L_t}{Y_t} = \beta_t^{1-\rho} A_t^\rho \left(\frac{L_t}{Y_t}\right)^\rho \quad (9)$$

Perciò il rapporto tra gli *output* automatizzati e quelli non automatizzati o il rapporto tra la quota del Capitale e la quota del Lavoro è pari a:

$$\frac{\alpha_{Kt}}{\alpha_{Lt}} \equiv \left(\frac{\beta_t}{1 - \beta_t}\right)^{1-\rho} \left(\frac{K_t}{L_t}\right)^\rho \quad (10)$$

Infine, si noti che questa funzione di produzione è un caso speciale della funzione di produzione neoclassica:

$$Y_t = A_t F(B_t K_t, C_t L_t) \quad \text{con } B_t \equiv \beta_t^{\frac{1-\rho}{\rho}} \text{ e } C_t \equiv (1 - \beta_t)^{\frac{1-\rho}{\rho}} \quad (11)$$

se l'elasticità di sostituzione è minore di 1 (così che $\rho < 0$) e quindi le attività sono complementari, si può notare che all'aumentare di β_t si ha una diminuzione di B_t e aumenta C_t . In parole povere, contrariamente a quanto si possa pensare, l'automazione è

equivalente ad un *labor-augmenting technical change* e *capital-depleting technical change* (ovvero un cambiamento tecnico che aumenta il lavoro e diminuisce il capitale). Ovviamente, tale conclusione è inversa nel caso in cui le attività siano sostitute e l'elasticità di sostituzione sia maggiore di 1, quindi $\rho > 0$.

Questo risultato inatteso può essere spiegato facendo riferimento all'equazione (6). Considerando le attività complementari, il capitale può essere applicato a numerose attività e questo significa che una quantità fissa di capitale è dilazionata su tutte le attività. Questo porta ad avere quote minori di capitale per ogni attività generando un effetto di diluizione del capitale. Per quanto riguarda il lavoro avviene l'esatto opposto: l'automazione porta a distribuire una quota fissa del lavoro su un numero minore di attività e quindi ogni attività avrà una quota maggiore di lavoro generando un aumento della quota di lavoro. Quanto le attività sono sostitute ($\rho > 0$), l'automazione porta ad aumentare il capitale.

Quanto detto porta al sorgere di un interrogativo, ovvero cosa accadrebbe nel caso in cui β_t cambi in maniera tale da far crescere C_t ad un tasso esponenziale costante. Si avrebbe una tale casistica nel caso in cui $1 - \beta_t$ vada verso lo 0 ad un tasso esponenziale costante, ovvero nel caso in cui β_t tenda a 1 e l'economia arrivi ad essere completamente automatizzata. Secondo il modello di crescita neoclassico questo potrebbe tradursi in un percorso di crescita equilibrato con quote costanti dei fattori (a tal fine è necessario che il A_t resti costante nel tempo).

In conclusione, analizzando queste equazioni Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones hanno formulato alcune considerazioni. In particolare, essendo oggetto della loro ricerca solo il caso in cui l'elasticità di sostituzione tra i beni sia inferiore a uno ($\rho < 0$), dall'equazione (10) è possibile individuare la presenza di due forze alla base del cambiamento della quota capitale (o equivalentemente della frazione automatizzata dell'economia). La prima forza mostra come, a seguito di un aumento della frazione dei beni automatizzati β_t , la quota dei beni automatizzati nel PIL e la quota capitale tendono ad aumentare (con il rapporto K/L costante). La seconda forza implica che, a seguito di un aumento del rapporto K/L, la quota del PIL del capitale e del settore diminuiscono. È possibile giustificare tale andamento asserendo che, qualora si avesse un'elasticità di sostituzione minore di 1, l'effetto prezzo tenderebbe a dominare. In altre parole, il prezzo dei beni automatizzati diminuisce rispetto al prezzo di quelli non automatizzati a seguito

dell'accumulo di capitale. Quindi, poiché la domanda è inelastica, la frazione di questi beni diminuisce a sua volta. Ciò mostra la presenza di una stretta relazione tra automazione e “malattia dei costi”.

In sostanza, è intuitivo immaginare l'esistenza di una corsa tra queste due forze. Infatti, se si tende ad automatizzare i settori, la quota β_t aumenta, comportando un incremento della quota degli *automated goods* e del capitale. D'altronde, poiché tali beni automatizzati sono soggetti ad una crescita più veloce, entra in gioco la seconda forza che porta ad una diminuzione del loro prezzo, e la loro frazione del PIL diminuisce a sua volta a causa della bassa elasticità di sostituzione.

2.3.2. Modello del *balanced growth path*

In questo modello, i ricercatori Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones, considerano solo l'automazione come cambiamento tecnico e mostrano come quest'ultima sia in grado di produrre un *balanced growth path*. In particolare, si consideri un β_t che tenda a 1 nel tempo e in modo da far crescere C_t ad un tasso esponenziale costante. Ovvero, si consideri un sistema che tenda a produrre tutti i beni tramite attività automatizzate facendo riferimento alla funzione di produzione seguente:

$$Y_t = F(B_t K_t, C_t L_t) \quad \text{con } B_t \equiv \beta_t^{\frac{1-\rho}{\rho}} \text{ e } C_t \equiv (1 - \beta_t)^{\frac{1-\rho}{\rho}} \quad (12)$$

Ponendo $\gamma_t = 1 - B_t$, in modo che $C_t = \gamma_t^{\frac{1-\rho}{\rho}}$, ed essendo l'esponente negativo, qualora γ_t decresca esponenzialmente, ovvero nel caso in cui la frazione delle attività non automatizzate diminuisca esponenzialmente, C_t crescerebbe esponenzialmente (infatti $\rho < 0$ rende l'esponente negativo e fa in modo che l'evoluzione tecnologica sia *labor-augmenting*).

Le figure 4 e 5 sottostanti mostrano come in presenza di queste condizioni sia possibile che si presenti una crescita equilibrata. Ossia, si consideri un periodo che va dall'anno 0 (assenza di automazione) all'anno 500 (completa automazione). Durante il passare degli anni viene automatizzata una quota di attività e la quota capitale parte da 0 e cresce gradualmente, arrivando ad essere asintotica al valore 1/3. Anche se venisse automatizzata man mano tutta la quota dell'economia, e quindi il lavoro avrebbe sempre meno da fare, il fatto che siano stati sviluppati beni tramite attività automatizzate, con

capitale a basso prezzo e con un'elasticità di sostituzione inferiore ad uno, implica che la quota dei beni automatizzati del PIL rimanga ad $1/3$ e il lavoro resti pari ai $2/3$ del PIL.

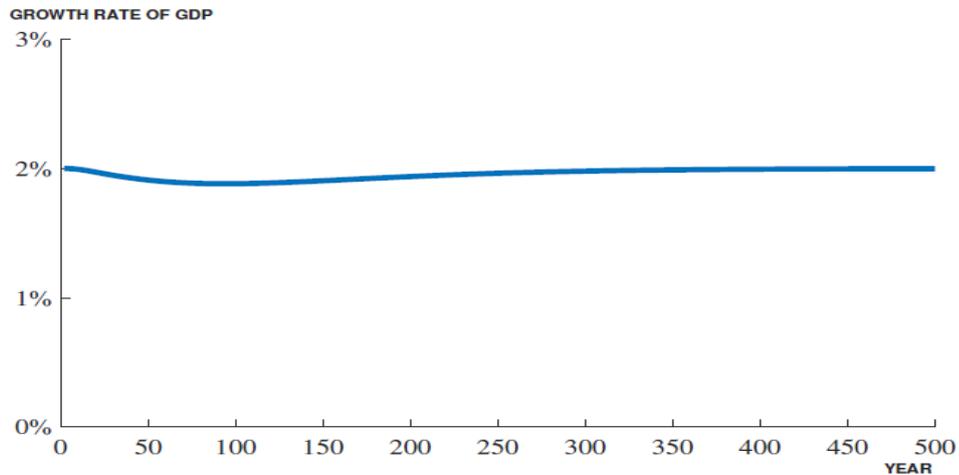


Figura 4: Tasso di crescita del PIL negli anni
(fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

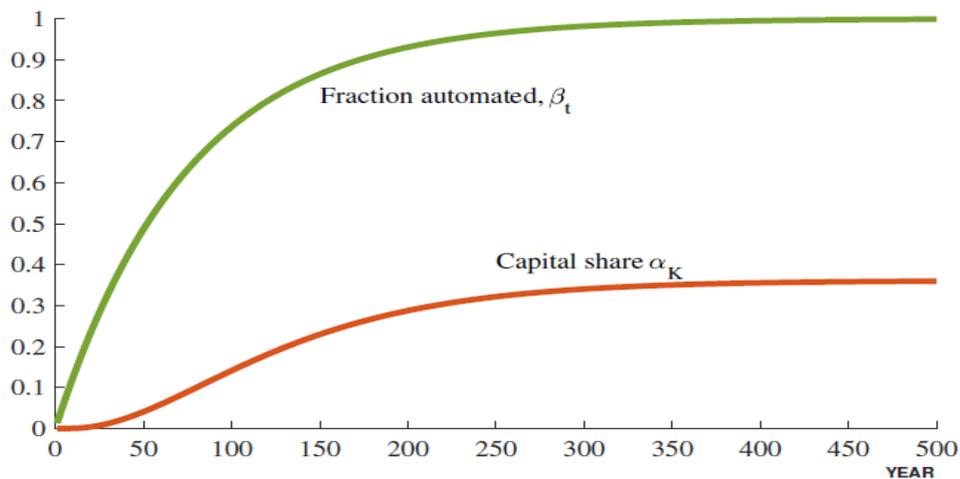


Figura 5: Automazione e quota del capitale
(fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

Questo andamento è causato dalla diminuzione del prezzo dei beni automatizzati a seguito dell'aumento della loro produzione. Ovvero, la diminuzione del costo delle attività automatizzate porta ad aumentarne l'uso, facendo diminuire il prezzo dei beni e mantenendo costante la loro quota del PIL ($PIL=P*Q$). Questo indica che la maggior parte dell'economia ($2/3$) resti non automatizzata e che il PIL rimanga costante con il passare degli anni.

L'analisi fin qui svolta richiede A_t costante, così che l'automazione sia l'unica forma di cambiamento tecnologico. Quindi, si supponga che il cambiamento tecnologico

A_t sia *capital-augmenting* piuttosto che *Hick's neutral* (ovvero in grado di aumentare proporzionalmente l'*output* ottenuto da qualsiasi combinazione di *input*), in modo che la funzione di produzione diventi $Y_t = A_t F(B_t K_t, C_t L_t)$. In questo caso, si potrebbe verificare un *balanced growth path* se A_t crescesse allo stesso tasso con B_t diminuisce, così che il cambiamento tecnologico sia interamente *labor-augmenting*.

2.3.3. Modello del constant factor shares

In questo modello Philippe Aghion, Benjamin Jones e Charles Jones hanno mostrato come l'automazione sia in grado di portare ad un *constant factor shares* nel caso in cui l'elasticità di sostituzione tra i beni sia minore di uno. Si consideri quindi un modello in cui, oltre l'automazione, sia presente anche un cambiamento esogeno. Secondo questo modello, per mantenere la quota capitale costante è necessario che la velocità con il quale β_t cresce, diminuisca nel tempo man mano che sempre più attività vengano automatizzate. Ovvero, che col passare del tempo, ci siano sempre meno attività da automatizzare.

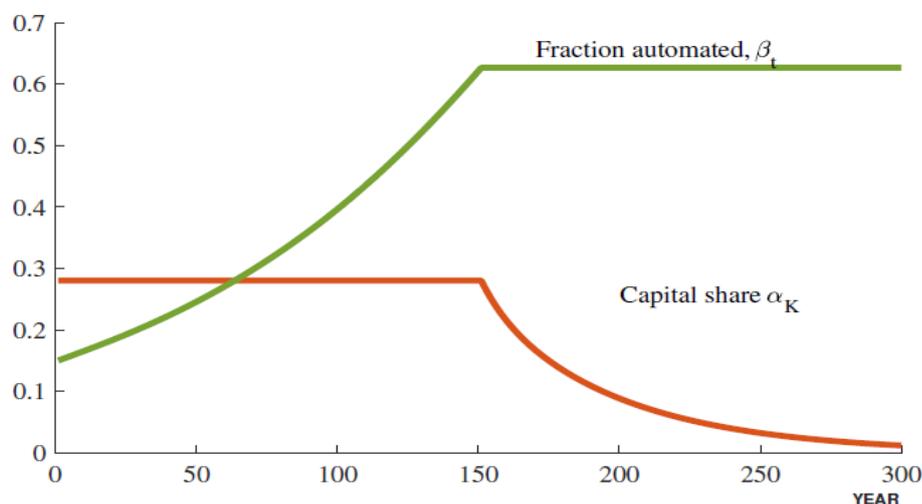


Figura 6: Automazione e quota del capitale
(fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

Come mostrato in figura 6 e 7, in questo modello, l'automazione procede in modo tale da far rimanere la quota capitale costante per i primi 150 anni. Dopo questo tempo, si assuma semplicemente che β_t rimanga costante e l'automazione si fermi. Il risultato sorprendente di questo esempio è che il fattore K rimane costante nei primi 150 anni mentre il tasso di crescita del PIL aumenta. Inoltre, questo modello mostra che si avrebbe

un *constant factor shares* nel momento in cui il tasso di crescita del PIL aumenti ad un tasso crescente. Quando il processo di automazione si stabilizza, si osserva una diminuzione del tasso di crescita del PIL e della quota capitale K.

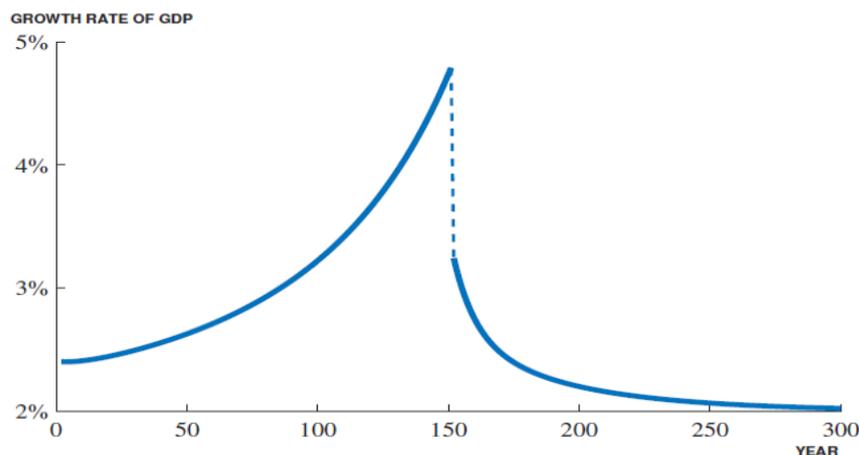


Figura 7: Tasso di crescita del PIL negli anni
(fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

È possibile spiegare questo risultato osservando l'equazione (13) sottostante che mostra i requisiti necessari affinché si abbia un *constant factor shares*. L'equazione descrive come evolve il tasso di crescita del PIL g_{Y_t} , in funzione della frazione dei beni prodotti tramite attività automatizzate, del tasso di crescita della quota capitale K e di un tasso di crescita esogeno g_A che permette al sistema di crescere anche in assenza del processo di automatizzazione

$$g_{Y_t} = g_A + \beta_t g_{K_t}. \quad (13)$$

Si consideri prima di tutto il caso in cui $g_A = 0$. In questo caso, affinché sia presente un *balanced growth path*, è necessario che $g_Y = g_K$. Questa situazione, sempre nel caso in cui $g_A = 0$, si ha in due casi: o $\beta_t = 1$ oppure, nel caso in cui $\beta_t < 1$, $g_Y = g_K = 0$. Il primo caso è quello descritto nel modello precedente mentre il secondo mostra che se $g_A = 0$, un *constant factor shares* è associato ad un tasso di crescita esponenziale pari a 0. Quindi, nel caso in cui non sia presente un cambiamento tecnologico esogeno, il tasso di crescita dell'economia va a 0. Invece, se si introduce un cambiamento esogeno e quindi $g_A > 0$, un *constant factor shares* fa aumentare il tasso di crescita del PIL. Questo avviene perché, osservando l'equazione (9), se $g_Y = g_K$, un aumento dell'automazione (β_t) fa aumentare g_Y e g_K .

2.3.4. Modello del cambio di regime

Quest'ultima simulazione condotta dai tre ricercatori, combina gli aspetti dei due precedenti modelli per produrre risultati più vicini agli andamenti reali, anche se ridotti ad uno schema essenziale. Si assuma che l'automazione alterni due regimi e quindi si abbia un processo di automatizzazione ad intermittenza (figura 8 e 9). Il primo regime è come quello del modello 1, nel quale una frazione costante delle rimanenti attività viene automatizzata ogni anno generando una crescita della quota capitale. Nel secondo caso, si ha un β_t costante e non avviene nessuna nuova automatizzazione.

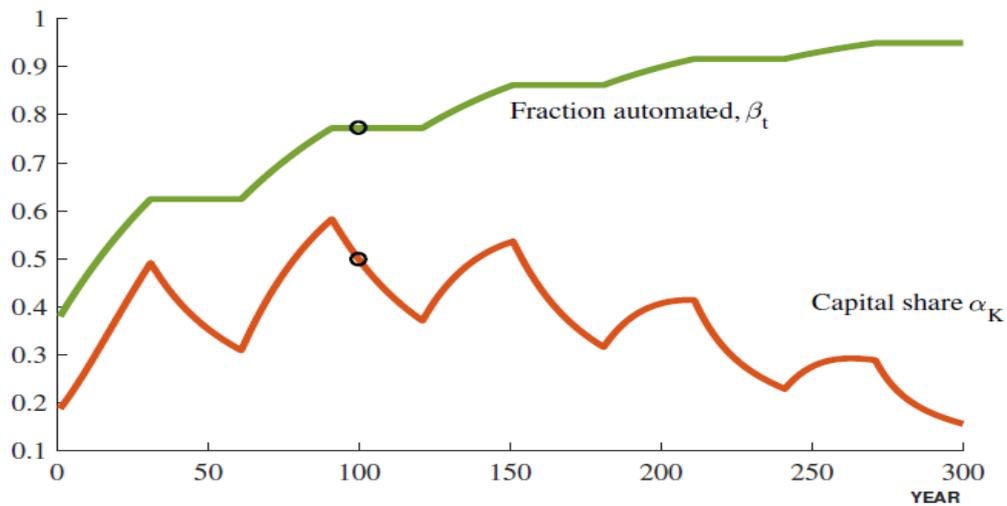


Figura 9: Automazione e quota del capitale
(fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

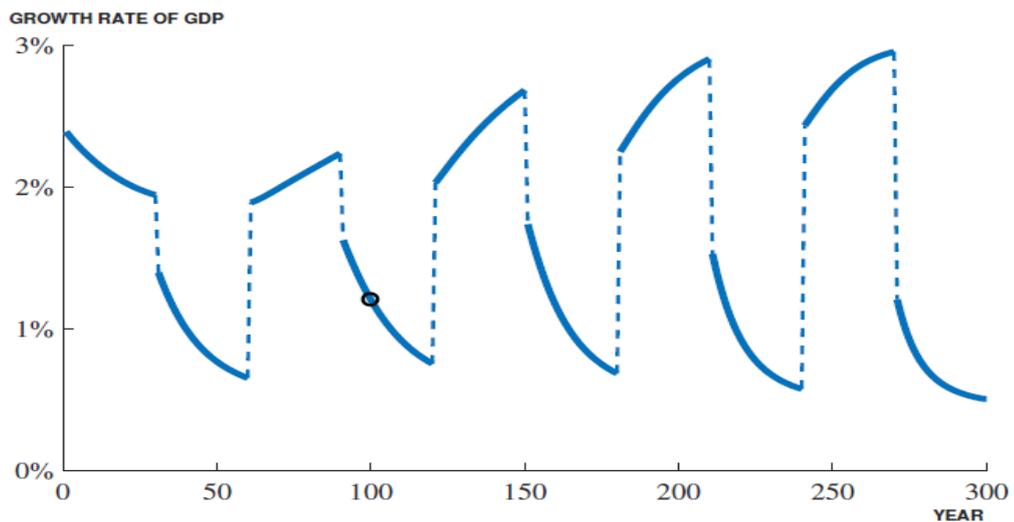


Figura 8: Tasso di crescita del PIL negli anni
(fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

In entrambi i regimi, A_t cresce ad un tasso costante del 0,4% annuo, così che, anche quando non si automatizzano più attività ma si migliorano soltanto quelle esistenti, si giustifica la diminuzione della quota capitale.

Riassumendo, l'automazione, ovvero l'aumento di β_t , può essere definito come *capital-augmenting* e *labor-augmenting*. Quindi, l'automazione intesa sia come strumento di migioria di attività già esistenti sia come strumento di completa sostituzione delle stesse, non porterà mai ad una crescita bilanciata. È stato dimostrato, grazie al modello precedente, che una completa automatizzazione delle attività porta invece ad una crescita equilibrata. Tuttavia, un difetto di questo modello risiede proprio nel considerare l'automazione come unica forma di cambiamento tecnologico. Se, invece, l'automazione venisse considerata anche come tecnologia in grado di migliorare le attività già esistenti (come ad esempio l'aratro, poi il trattore, infine la mietitrebbia) ci si aspetterebbe una crescita non equilibrata. Una combinazione di periodi di automazione seguiti da periodi di riposo, come quello mostrato in questo modello, sembra in grado di produrre dinamiche simili a ciò che si è visto ultimamente negli Stati Uniti: un periodo di alta quota capitale con annessa una crescita economica relativamente lenta.

2.4. Il modello di Acemoglu e Restrepo

Le macchine computerizzate, la robotica e l'IA sono tecnologie già diffuse in molti settori e hanno automatizzato diverse parti del processo di produzione. Tuttavia, si è ancora lontani dalla formalizzazione di un modello unico che descriva come l'automazione dovrebbe essere concettualizzata. Attualmente, la maggior parte dei modelli economici formalizza il cambiamento tecnologico come *factor augmenting* (ovvero come se il progresso tecnologico aumenti le unità impiegate di uno dei fattori di produzione impiegati) o come *Hicks neutral*. In particolare, diversi ricercatori, modellano l'automazione come se fosse un cambiamento tecnologico *capital-augmenting*, che considera l'automazione raffigurata da capitale più produttivo (o più economico) rispetto al lavoro, all'interno di un processo basato sull'elasticità di sostituzione. Il ricercatore James E. Bessen, d'altra parte, sostiene che l'automazione aumenti principalmente la produttività del lavoro e modella l'automazione come un'innovazione tecnologica *labor-augmenting*.

Acemoglu e Restrepo sostengono che questi approcci manchino di una caratteristica distintiva dell'automazione: l'uso delle macchine per sostituire il lavoro umano all'interno di un'ampia gamma di *task*. Inoltre, i modelli in circolazione descrivono l'impatto della tecnologia sulla quota del lavoro basandosi sull'elasticità di sostituzione tra capitale e lavoro (che regola il modo in cui i prezzi dei fattori influenzano la scelta tra capitale e lavoro). Al contrario, all'interno del *task-based framework automation* descritto da Acemoglu e Restrepo, l'automazione è concettualizzata in un modello *task-based* che considera i diversi effetti prodotti dall'espansione dell'insieme delle attività (o *task*) che possono essere eseguite dalle macchine. Questo riduce sempre la quota e la domanda del lavoro e il salario di equilibrio senza guadagni significativi in termini di produttività. Quindi, l'approccio *task-based* seguito da Acemoglu e Restrepo chiarisce che le tecnologie minacciose per il lavoro non sono quelle in grado di aumentare notevolmente la produttività, ma piuttosto quelle “*so-so*”, ovvero abbastanza buone da essere adottate ma non così buone da aumentare la produttività. Inoltre, i due ricercatori sottolineano l'importante ruolo delle nuove *tasks* in cui il lavoro ha un vantaggio comparativo (ovvero un costo opportunità inferiore) rispetto agli effetti dell'automazione. Infine, tale modello consente di discutere le implicazioni del *deepening of automation* (ovvero il miglioramento della produttività delle macchine nelle attività già automatizzate) e chiarisce che il ruolo dell'accumulazione di capitale non è correlato con gli effetti dell'automazione sulla quota di lavoro implicando che l'accumulazione di capitale smorza gli effetti negativi sui salari (se ci sono tali effetti) e sulla quota lavoro (se l'elasticità di sostituzione è inferiore a uno) generati dall'automazione.

2.4.1. *Tecnologie factor-augmenting*

Al fine di analizzare i modelli che considerano l'innovazione tecnologia come *factor-augmenting*, si supponga che l'*output* aggregato sia dato dalla funzione:

$$Y = F(A_K K, A_L L) \tag{14}$$

dove con K si indica il capitale, con L il lavoro e con A_K e A_L rispettivamente la tecnologia *capital-augmenting* e *labor-augmenting*. Si assuma inoltre che F sia continuamente differenziabile, concava e mostri rendimenti di scala costanti. Quindi, siano F_K e F_L le derivate parziali rispetto a K e L .

Ci si focalizzi sul mercato competitivo del lavoro che implica che i salari di equilibrio siano uguali alla produttività marginale del lavoro. Ovvero:

$$W = A_L F_L(A_K K, A_L L) \quad (15)$$

La quota del lavoro del Reddito Nazionale (ovvero la nuova ricchezza prodotta dal sistema economico in un periodo prestabilito) è data da:

$$s_L = \frac{WL}{Y} \quad (16)$$

E poiché sono stati considerati rendimenti di scala costanti, la quota del capitale è ovviamente $s_K = 1 - s_L$.

Capital-augmenting

Si supponga ora di modellare l'automazione come un'innovazione *capital-augmenting*. L'impatto di questo tipo di cambiamento tecnologico sul salario di equilibrio è dato da:

$$\frac{d \ln W}{d \ln A_K} = \frac{s_K}{\varepsilon_{KL}} > 0 \quad (17)$$

dove $\varepsilon_{KL} > 0$ è l'elasticità di sostituzione tra capitale e lavoro. In questo modo, un'innovazione *capital-augmenting* fa aumentare sempre la domanda di lavoro e il salario di equilibrio.

Questi risultati sono ottenuti in quanto sono stati considerati rendimenti di scala costanti e, dal punto di vista economico, questo impone che capitale e lavoro siano q-complementi (ovvero un aumento del capitale, tenendo costante il lavoro, fa aumentare la produttività marginale del lavoro).

Poiché il lavoro è *inelastic supply* (ovvero un aumento o un decremento nel prezzo non genera un corrispondente aumento o decremento del suo impiego) l'effetto di un'innovazione tecnologica *capital-augmenting* sulla quota del lavoro è dato da:

$$\frac{d \ln s_L}{d \ln A_K} = \frac{d \ln W}{d \ln A_K} - \frac{d \ln Y}{d \ln A_K} = \frac{s_K}{\varepsilon_{KL}} - s_K = s_K \left(\frac{1}{\varepsilon_{KL}} - 1 \right) \quad (18)$$

che è negativo se e solo se $\varepsilon_{KL} > 1$. Pertanto, un'innovazione *capital augmenting* riduce la quota del lavoro solo se l'elasticità di sostituzione è maggiore di uno.

È importante notare che il risultato di questo modello dipende dal valore che assume l'elasticità di sostituzione. Recenti stime che si basano sulle differenze presenti tra i diversi paesi, mostrano un valore di questo parametro maggiore di uno, mentre la letteratura lo pone tra 0,5 e 1. Perciò, seguendo la letteratura, il progresso tecnologico *capital-augmenting* genererebbe un aumento della quota del lavoro senza ridurre mai la domanda o il salario di equilibrio (previsioni che non sono sempre coerenti con le evidenze empiriche).

Labor-augmenting

Si analizzi ora il caso in cui l'innovazione tecnologica sia *labor-augmenting*. Si ha:

$$\frac{d \ln W}{d \ln A_L} = 1 - \frac{s_K}{\varepsilon_{KL}} \quad (19)$$

che è positivo solo se $\varepsilon_{KL} > s_K$. In questo modo, un'innovazione *labor-augmenting* fa aumentare il salario di equilibrio senza che l'elasticità di sostituzione tra capitale e lavoro sia troppo bassa.

L'effetto di una tecnologia *labor-augmenting* sulla quota del lavoro a sua volta dato da:

$$\begin{aligned} \frac{d \ln s_L}{d \ln A_L} &= \frac{d \ln W}{d \ln A_L} - \frac{d \ln Y}{d \ln A_L} = 1 - \frac{s_K}{\varepsilon_{KL}} - s_L = \\ &= 1 - \frac{s_K}{\varepsilon_{KL}} - (1 - s_K) = s_K \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_{KL}} \right) \end{aligned} \quad (20)$$

che è negativo se e solo se $\varepsilon_{KL} < 1$.

In sintesi, il cambiamento tecnologico *labor-augmenting* riduce la quota di lavoro per valori parametrici realistici, ma aumenta sempre la domanda di lavoro e il salario di equilibrio (effetto non coerente con le recenti evidenze empiriche relative agli effetti dell'automazione sulla domanda di lavoro). Inoltre, modellare l'automazione come se aumentasse la produttività del lavoro non è pienamente soddisfacente in quanto, in questo caso, l'automazione sostituisce il lavoro con il capitale nelle attività

precedentemente eseguite dai lavoratori (quindi, per lo meno, dovrebbe cambiare la forma della funzione di produzione).

2.4.2. *Acemoglu e Restrepo: l'approccio task-based*

Si consideri un approccio alternativo basato sulle teorie di Acemoglu e Restrepo i quali, basandosi sul modello di Zeira, hanno supposto che l'*output* aggregato sia prodotto dalla combinazione di servizi derivanti da un insieme di *tasks*. Questo approccio evidenzia il ruolo della creazione di nuove *tasks* nel quale il lavoro ha un vantaggio comparativo. Inoltre, il loro *framework* chiarisce che un processo di crescita equilibrato in cui la quota del lavoro rimane costante, dipende dalla simultanea espansione delle attività nuove e automatizzate. Al fine di costruire e comprendere il modello, si consideri questa combinazione come caratterizzata da elasticità costante di sostituzione (o “*constant elasticity of substitution*” o *CES*) e dalla gamma di *tasks* rappresentata con un continuum. Ovvero:

$$Y = \left(\int_{N-1}^N y(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (21)$$

dove σ è l'elasticità di sostituzione tra le varie *tasks* e, per semplificare il modello, l'integrale tra $N-1$ e N assicura che la misura delle *tasks* sia normalizzata ad uno. Si supponga che le *tasks* $i > I$ siano non automatizzate e debbano essere prodotte dal lavoro secondo la seguente funzione di produzione:

$$y(i) = \gamma(i)l(i) \quad (22)$$

dove $\gamma(i)$ indica la produttività del lavoro nella *task* i . In contrasto, si supponga che le *tasks* $i \leq I$ siano automatizzate e possano essere prodotte sia dal lavoro che dal capitale secondo la seguente funzione di produzione:

$$y(i) = \eta(i)k(i) + \gamma(i)l(i) \quad (23)$$

dove $\eta(i)$ è la produttività del capitale nella *task* i . Il fatto che l'*output* della *task* i sia dato dalla somma di due termini (capitale e lavoro), riflette l'aspetto chiave di questo approccio: capitale e lavoro sono sostituti perfetti nei compiti automatizzati.

Acemoglu e Restrepo assumono che il lavoro abbia un vantaggio comparativo nelle *higher-indexed tasks*, cioè $\frac{\gamma(i)}{\eta(i)}$ è strettamente crescente in i . Assumono inoltre che:

$$\frac{\gamma(i)}{\eta(i)} < \frac{W}{R} \quad (24)$$

dove R è il costo di un'unità di capitale. Tale assunzione indica che è strettamente più economico eseguire le *tasks* appartenenti all'insieme $[0, I]$ usando il capitale. Questa assunzione implica che le *tasks* appartenenti al *range* $[0, I]$ saranno prodotte con il capitale e le *tasks* appartenenti all'insieme $(I, N]$ saranno prodotte con il lavoro. Acemoglu e Restrepo modellano l'automazione come un aumento in I . Questa scelta mostra chiaramente come l'automazione corrisponda ad un'espansione del *set* di *tasks* in cui le macchine possono sostituire il lavoro.

Fatte queste assunzioni, la funzione di produzione CES dell'*output* aggregato descritta dal modello di Acemoglu e Restrepo è:

$$Y = \left(\left(\int_{N-1}^I \eta(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} K^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_I^N \gamma(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} L^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (25)$$

dove σ è l'elasticità di sostituzione tra capitale e lavoro.

Definita la funzione di produzione (25), è possibile notare che l'automazione aumenta la produttività e l'*output* aggregato per lavoratore. In particolare:

$$\frac{d \ln Y}{dI} = \frac{1}{1-\sigma} \left[\left(\frac{W}{\gamma(i)} \right)^{1-\sigma} - \left(\frac{R}{\eta(i)} \right)^{1-\sigma} \right] > 0 \quad (26)$$

Intuitivamente, questo implica che è più economico eseguire le *tasks* nell'intorno di I con il capitale piuttosto che con il lavoro. Questo comporta un aumento della produttività causato da un'espansione del *set* di *tasks* eseguibili con il capitale. L'automazione cambia la quota dei parametri della funzione CES (25). Infatti, come conseguenza, l'automazione non si associa a una combinazione di miglioramenti tecnologici *factor-augmenting*, ma rende meno *labor intensive* la produzione riducendo la quota del lavoro. Come dimostrazione si osservi la seguente funzione rappresentante la quota del lavoro:

$$s_L = \frac{1}{1 + \frac{\left(\int_{N-1}^I \eta(i)^{\sigma-1} di\right)^{\frac{1}{\sigma}} K^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}{\left(\int_I^N \gamma(i)^{\sigma-1} di\right)^{\frac{1}{\sigma}} L^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}} \quad (27)$$

che è strettamente decrescente in I indipendentemente dal valore assunto dall'elasticità di sostituzione tra capitale e lavoro. Pertanto, l'effetto dell'automazione sulla quota del lavoro è interamente scollegato dall'effetto generato dall'accumulazione del capitale, che invece influenza la quota del lavoro sulla base del valore dell'elasticità di sostituzione.

Relativamente l'impatto sul salario di equilibrio, quest'ultimo è descritto dalla seguente funzione:

$$\frac{d \ln W}{dI} = \frac{1}{\sigma} \frac{d \ln Y}{dI} - \frac{1}{\sigma} \frac{\gamma(i)^{\sigma-1}}{\int_I^N \gamma(i)^{\sigma-1} di} \quad (28)$$

dove il primo termine è l'effetto produttività (descritto dalla funzione (26) e di segno positivo) risultante dall'aumento dell'*output* aggregato a seguito dell'automazione. Il secondo termine è l'effetto spostamento che è sempre negativo. Quindi, l'effetto dell'automazione sul salario di equilibrio dipende da quale di questi due effetti domina. Infatti, nel caso in cui domini il secondo effetto, l'automazione porterebbe ad una riduzione del salario nonostante si verifichi un aumento della produttività (descritta dalla funzione (26)). Tale situazione si potrebbe verificare nel caso in cui l'effetto produttività descritto dalla funzione (26) sia molto piccolo, ovvero quando $\gamma(i)/\eta(i) \cong W/R$. Questa condizione a sua volta si verifica quando il rapporto capitale-*output*, K/Y , è vicino ad una determinata soglia \bar{k}_Y . Per capire meglio questa situazione, si faccia riferimento al seguente esempio in cui l'effetto spostamento domina l'effetto produttività. Se l'elasticità di sostituzione σ è pari a 0.7 e $\gamma(i) = \eta(i) = 0.2$ per tutte le tasks $i \in [0, 1]$ si ottiene che la soglia \bar{k}_Y è uguale a 2 e l'effetto spostamento domina sull'effetto produttività quando il rapporto capitale-*output* $K/Y \in [2, 6.5]$.

Infine, secondo il modello di Acemoglu e Restrepo, l'automazione porta ad un aumento del capitale e al suo costo di equilibrio. Infatti:

$$\frac{d \ln R}{dI} = \frac{1}{\sigma} \frac{d \ln Y}{dI} + \frac{1}{\sigma} \frac{\eta(i)^{\sigma-1}}{\int_0^I \eta(i)^{\sigma-1} di} > 0 \quad (29)$$

Per comprendere a meglio il modello descritto dai due ricercatori, si consideri il caso in cui:

$$\frac{\gamma(i)}{\eta(i)} > \frac{W}{R} \quad (30)$$

Ciò implica che le *tasks* nell'intorno di I non sarebbero eseguite con le macchine, in quanto il loro costo sarebbe maggiore rispetto a quello che si sosterebbe nel caso in cui venissero eseguite con il lavoro. In questo caso, tutte le attività in $[0, \tilde{I}]$ per alcuni $\tilde{I} < I$ sarebbero eseguite con il capitale e tutte le attività rimanenti con la manodopera. In questo caso, un aumento di I non influirebbe sull'allocazione delle attività tra i due fattori. Infatti, nel caso in cui non si espandesse l'insieme delle *tasks* a seguito dell'automazione, il capitale e il lavoro resterebbero allocate così come sono tra le diverse attività. Questa osservazione spiega perché Acemoglu e Restrepo abbiano concepito l'automazione come un cambiamento tecnologico in grado di espandere l'insieme delle *tasks* che possono essere eseguite dal capitale.

2.5. La funzione di produzione delle idee

Finora è stato analizzato l'impatto dell'IA sulla produzione di beni e servizi ma sono presenti casi che dimostrano come e quanto l'IA abbia impattato e impatti tutt'ora sulla generazione di nuove idee. Le attività di ricerca che hanno beneficiato dell'automazione includono la stesura e la distribuzione degli articoli, ottenere materiali e dati utili per la ricerca, analizzare dati, risolvere problemi matematici etc. In altre parole, risulta interessante applicare lo stesso modello usato per studiare l'automazione delle attività, alla funzione di produzione delle idee e considerare l'automazione delle attività di ricerca. A tal proposito, i ricercatori Phillippe Aghion, Benjamin Jones e Charles Jones, hanno sviluppato un modello in grado di descrivere questo fenomeno. Secondo questo modello, si supponga di produrre beni e servizi usando soltanto idee e lavoro:

$$Y_t = A_t L_t \quad (31)$$

dove con A_t si considera la quantità di idee al tempo t . Si indichi quindi la funzione di produzione delle idee basandosi sulla funzione di produzione utilizzata in precedenza:

$$\dot{A}_t = A_t^\phi ((B_t K_t)^\rho, (C_t S_t)^\rho)^{1/\rho} \quad \text{con } B_t \equiv \beta_t^{\frac{1-\rho}{\rho}} \text{ e } C_t \equiv (1 - \beta_t)^{\frac{1-\rho}{\rho}} \quad (32)$$

dove S_t è il lavoro di ricerca usato per generare nuove idee. Si consideri il caso in cui β_t sia costante con un successivo aumento ad un valore più alto (si ricordi che questo porta ad una diminuzione di B_t e a un aumento di C_t). La funzione di produzione delle idee può essere scritta come:

$$\dot{A}_t = A_t^\phi S_t F\left(\frac{BK_t}{S_t}, C\right) \sim A_t^\phi C S_t \quad (33)$$

dove con \sim si intende “è asintoticamente proporzionale a”. Consideriamo ora tre casi particolari:

- se l’elasticità di sostituzione di $F(\cdot)$ è minore di 1, si ha una funzione CES asintotica all’argomento più scarso. Inoltre, un aumento dell’automazione lascia il tasso di crescita di lungo periodo invariato se $\phi < 1$. Alternativamente, se $\phi = 1$, si ha il classico caso di crescita endogena in cui l’automazione genera crescita nel lungo periodo;
- se l’elasticità di sostituzione di $F(\cdot)$ è uguale a 1, la funzione $F(\cdot)$ è una Cobb-Douglas. In questo caso, come nel modello di Zeira, si ha un aumento del tasso di crescita di lungo periodo a seguito di un aumento dell’automazione;
- se l’elasticità di sostituzione di $F(\cdot)$ è maggiore di 1, la funzione CES è asintotica all’argomento più importante, il capitale. In questo caso, il modello mostra una crescita esplosiva anche in assenza di automazione. Quindi, i ricercatori sono un *input* non necessario e l’accumulazione del capitale è sufficiente a generare una crescita esplosiva.

2.5.1. Automazione continua

Si consideri ora il particolare caso in cui l’automazione delle idee avvenga continuamente nel tempo e in cui le attività appena automatizzate costituiscano una frazione costante, θ , delle attività che non sono state ancora automatizzate. Si ricordi che questo è il modello che descrive il *balanced growth path* descritto in precedenza. In questo caso, $B_t \rightarrow 1$ e il tasso di crescita di C_t è pari a $g_C > 0$. Si riscriva la funzione di produzione delle idee come segue:

$$\dot{A}_t = A_t^\phi C_t S_t F\left(\frac{B_t K_t}{C_t S_t}, 1\right) \sim A_t^\phi C_t S_t \quad (34)$$

dove il secondo membro si ottiene dal fatto che nel lungo periodo $\frac{B_t K_t}{C_t S_t} \rightarrow \infty$. Dividendo entrambi i membri per A_t si ottiene:

$$\frac{\dot{A}_t}{A_t} = \frac{C_t S_t}{A_t^{1-\phi}} \quad (35)$$

Per fare in modo che il membro di sinistra resti costante, è necessario che il denominatore e il numeratore del membro di destra crescano alla stessa velocità. Ovvero, deve valere la seguente relazione:

$$g_A = \frac{g_C + g_S}{1 - \phi} \quad (36)$$

In questo caso, il tasso di crescita delle idee è proporzionale al tasso di crescita dei ricercatori (e della popolazione). Inoltre, l'automazione diventa una causa aggiuntiva dell'aumento del tasso di crescita delle idee poiché, quest'ultima, si aggiunge alla crescita del numero delle persone e conseguentemente del numero ricercatori.

2.6. Modello della crescita ricombinante

I ricercatori Ajay Agrawal, John McHale e Alexander Oettl hanno sviluppato una funzione di produzione della conoscenza combinatoria e l'hanno incorporata nel classico modello di crescita per esplorare su quali combinazioni le innovazioni nell'IA possano essere più preziose e possano quindi aumentare i tassi di scoperta e, di conseguenza, la crescita economica. Ovviamente tutto questo fa fronte ad una serie di problemi, quali l'effetto "*fishing out*" (si pensi ad una zona di pesca dove tutti i pesci migliori siano già stati catturati, in questo caso le innovazioni più importanti sono già state effettuate) o l'effetto "*low-hanging fruit*" (secondo il quale c'è il rischio di concentrarsi troppo sulla frutta (le innovazioni) più facile da raggiungere, ovvero quella in basso) in quanto le buone idee diventano con il tempo sempre più difficili da trovare.

Man mano che la frontiera tecnologica si espande, diventa sempre più difficile per i singoli ricercatori conoscere abbastanza per trovare le combinazioni di conoscenza che producono nuove idee utili. Nonostante le prove di un rallentamento della crescita, è

presente speranza nei confronti di queste tecnologie. In particolare, a far sperare nel futuro è la recente esplosione della disponibilità dei dati (ovvero i *big data*) e dei progressi informatici che hanno facilitato l'elaborazione di tali dati. È possibile considerare queste tecnologie come "meta-tecnologie": tecnologie per la produzione di nuove conoscenze. Queste meta-tecnologie offrono il potenziale per superare parzialmente l'effetto *fishing-out* e i vincoli sociali e istituzionali che limitano l'accesso alla conoscenza.

Questo particolare modello prende in considerazione il modo in cui le conoscenze esistenti vengono combinate al fine di produrre nuove conoscenze sottolineando come l'IA rappresenti uno strumento fondamentale per ricercatori in quanto permette loro di generare conoscenza in spazi di scoperta complessi.

2.6.1. Ricerca e scoperta

Al fine di comprendere meglio questo modello, è molto utile distinguere due tipologie di meta-tecnologie: quelle che aiutano nel processo di ricerca (accesso alla conoscenza) e quelle che aiutano nel processo di scoperta (combinando le conoscenze esistenti per produrre nuove conoscenze).

Per il processo di ricerca, si considerano meta-tecnologie *AI-based* quelle in grado di soddisfare le seguenti due condizioni:

- 1) la tecnologia deve operare in un contesto in cui i *big data* hanno aumentato notevolmente la conoscenza potenziale accessibile attraverso il processo di scoperta ed è diventato più difficile per un ricercatore rimanere al passo con tutto il "carico di conoscenza" derivante da queste informazioni;
- 2) in tal caso la tecnologia deve predire quali frammenti di conoscenza potrebbero essere più rilevanti per il ricercatore.

Per quanto concerne il processo di scoperta, si identificano anche in questo caso due condizioni che l'IA deve soddisfare per essere identificata come meta-tecnologia:

- 1) la tecnologia deve operare in un contesto in cui la conoscenza potenzialmente combinabile per la creazione di nuova conoscenza è soggetta all'esplosione combinatoria;
- 2) in tal caso, la tecnologia deve essere in grado di predire quali combinazioni di conoscenza esistenti produrranno nuove preziose conoscenze.

A titolo esemplificativo, si considerino i seguenti casi in cui le tecnologie di ricerca e scoperta *AI-based* potrebbero modificare il processo di innovazione.

Ricerca

Meta^α è una società che produce tecnologie *AI-based* in grado di supportare la ricerca e di identificare documenti scientifici e tracciare l'evoluzione delle idee scientifiche. La società è stata acquisita dalla Chan-Zuckerberg Foundation, che intende renderla disponibile gratuitamente ai ricercatori. Le tecnologie fornite da questa società soddisfano le due condizioni necessarie ad indentificarle come meta-tecnologie in grado di supportare l'accesso alla conoscenza (quindi durante la fase di ricerca). Infatti:

- 1) la tecnologia opera in un contesto in cui lo stock di articoli scientifici è soggetto a una crescita esponenziale dell'8-9% all'anno;
- 2) la tecnologia di ricerca basata sull'IA fornisce supporto agli scienziati nel processo di analisi dei documenti, individuando quali di questi potrebbero essere più rilevanti e utili per le finalità del ricercatore.

Un altro esempio è fornito dalla tecnologia BenchSci che una tecnologia *AI-based* capace di identificare i composti usati nei farmaci. Anche in questo caso, la tecnologia soddisfa le due condizioni necessarie ad identificarla come meta-tecnologia in grado di supportare la ricerca. Infatti:

- 1) le informazioni sui composti sono sparse in milioni di articoli scientifici;
- 2) l'IA alla base della tecnologia è in grado di estrarre informazioni su questi composti, permettendo agli scienziati di identificare in modo più efficace i composti idonei ad essere utilizzati negli esperimenti.

Scoperta

Relativamente al processo di scoperta, Atomwise è una tecnologia basata sulla *machine learning* impiegata nel processo di scoperta dei composti utili alla produzione di nuovi farmaci sicuri ed efficaci. Questo strumento *AI-based* può essere identificato come meta-tecnologia impiegata nel processo di scoperta in quanto soddisfa le due condizioni sopra citate. Infatti:

- 1) il numero di composti potenziali è soggetto ad esplosione combinatoria;

- 2) l'IA alla base della tecnologia è in grado di predire come le caratteristiche chimiche di base si combinano in caratteristiche più complesse identificando potenziali composti da sottoporre a indagini più dettagliate.

Anche DeepGenomics è una tecnologia basata sulla *machine learning* ed è in grado di predire cosa accade in una cellula nel momento in cui una variazione genetica altera il DNA. Anch'essa soddisfa le due condizioni in quanto:

- 1) le variazioni genotipo-fenotipo sono soggette all'esplosione combinatoria;
- 2) l'IA fornisce supporto alla scoperta prevedendo i risultati dei processi biologici complessi che mettono in luce le variazioni genotipo-fenotipo.

2.6.2. La funzione di produzione della conoscenza

La figura 10 fornisce una panoramica dell'approccio seguito dal modello descritto in questo paragrafo e dal suo rapporto con la classica funzione di produzione della conoscenza di Romer / Jones. Questo modello infatti è una rivisitazione del modello di Romer / Jones di cui si vede una panoramica nella figura 10. Secondo il modello di Romer

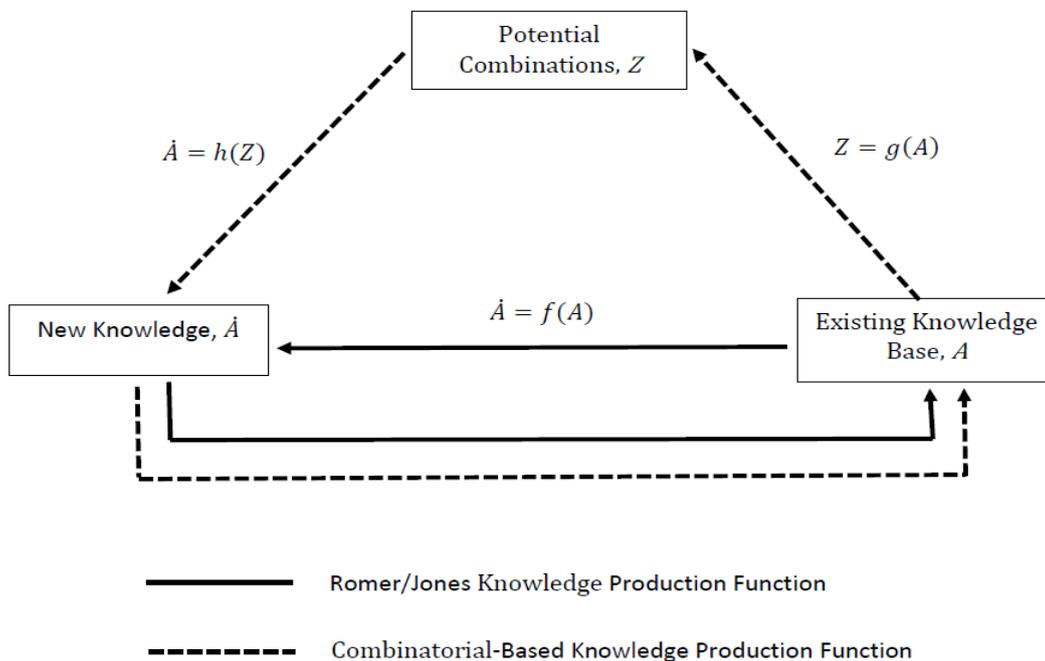


Figura 10: Modello di Romer/Jones vs. Modello della conoscenza combinata (fonte Ajay Agrawal, John McHale, e Alexander Oettl)

/ Jones, i ricercatori generano nuova conoscenza basandosi sulla conoscenza di base già esistente. Invece, il nuovo modello, pur essendo simile a quello di Romer / Jones sotto alcuni aspetti, aggiunge un'ulteriore complicazione al processo di creazione della conoscenza. Infatti, come nel modello di Romer / Jones, i ricercatori sfruttano le conoscenze esistenti per generare nuova conoscenza che diventerà parte delle conoscenze di base dal quale potrebbero nascere nuove scoperte. Tuttavia, nel nuovo modello, le conoscenze di base esistenti determinano tutte le possibili combinazioni della conoscenza, la maggior parte delle quali è probabile che non abbia nessun valore.

Il processo di scoperta di nuove conoscenze viene eseguito cercando tra l'enorme numero di combinazioni potenziali. Questo processo di scoperta è supportato dalle metatecnologie che, come detto precedentemente, permettono ai ricercatori di identificare combinazioni preziose di conoscenze in contesti dove quest'ultime interagiscono tra loro in modi molto complessi. La conoscenza scoperta si aggiunge così alle conoscenze di base (facendo aumentare il numero delle potenziali combinazioni delle conoscenze di base) impiegate dai ricercatori nel loro lavoro.

In riferimento al modello, si intenda con A lo stock totale di conoscenza presente nel mondo e si assuma (per ora) misurato in modo discreto. Inoltre, si indichi con A^ϕ ($0 < \phi < 1$) la quantità di conoscenza (per ora misurata in modo discreto) a cui un ricercatore ha accesso. Di conseguenza, $A^{\phi-1} (= A^\phi / A)$ è la frazione dello stock di conoscenza a cui ha accesso un singolo ricercatore. Quanto detto implica che la quota della conoscenza totale accessibile a un singolo ricercatore diminuisce con lo stock totale di conoscenza. Questa è una manifestazione dell'effetto del "carico di conoscenza", ovvero man mano che cresce lo stock totale di conoscenza diventa più difficile accedere a tutte le conoscenze disponibili.

Si supponga che il parametro di accesso alla conoscenza, ϕ , catturi non solo ciò che un ricercatore conosce in un determinato momento ma anche la sua capacità di trovare le conoscenze esistenti qualora lo desideri. Quindi, il valore del parametro è influenzato dal grado in cui la conoscenza è disponibile in forma codificata e dalla possibilità di essere trovata, qualora necessario, dai ricercatori.

Secondo questo modello, le innovazioni sono il risultato della combinazione delle conoscenze esistenti per produrre nuove conoscenze. La conoscenza può essere

combinata con a idee alla volta, dove $a = 0, 1, \dots, A^\phi$. Quindi, per un ricercatore individuale, il numero totale di combinazioni possibili delle conoscenze esistenti è dato da:

$$Z_i = \sum_{\alpha=0}^{A^\phi} \binom{A^\phi}{\alpha} = 2^{A^\phi} \quad (37)$$

Perciò, si può osservare che il numero totale di combinazioni potenziali, Z_i , cresce in modo esponenziale con A^ϕ . Chiaramente, se anche A crescesse esponenzialmente, Z_i crescerà ad un doppio tasso esponenziale. Questa è la causa dell'esplosione combinatoria nel modello a cui si aggiunge la crescita esponenziale delle combinazioni potenziali in relazione all'accessibilità della conoscenza.

Finora le variabili A e Z_i sono state misurate discretamente; tuttavia, per semplicità, si intendano d'ora in avanti come misurate continuamente.

Identificato il numero totale di combinazioni potenziali, il prossimo passo è quello di specificare come queste combinazioni si trasformano in scoperte (ovvero in nuova conoscenza). Si supponga che un'ampia parte di queste potenziali combinazioni non produca nuova conoscenza utile e che, una parte della conoscenza utile individuata, sia già stata scoperta (e quindi sia già inclusa in A). In particolare, quest'ultima caratteristica riflette l'effetto *fishing-out* descritto precedentemente.

La funzione sottostante descrive quanta di questa conoscenza generata si trasforma in nuova conoscenza:

$$\dot{A}_i = \begin{cases} \beta \left(\frac{Z_i^\theta - 1}{\theta} \right) = \beta \left(\frac{(2^{A^\phi})^\theta - 1}{\theta} \right) & \text{per } 0 < \theta \leq 1 \\ \beta \ln Z_i = \beta \ln(2^{A^\phi}) = \beta \ln(2) A^\phi & \text{per } \theta = 0 \end{cases} \quad (38)$$

dove β è il parametro che tiene conto di quanta della conoscenza individuata si trasforma in nuova conoscenza e θ è il parametro che tiene conto dell'effetto *fishing-out* e della complessità dello spazio delle possibili soluzioni. Inoltre, per il caso limite in cui $\theta = 0$, si segue la regola di L'Hôpital in quanto il limite del termine tra parentesi sul lato destro dell'equazione (38) è indeterminato nel caso in cui $\theta = 0$. Perciò, secondo L'Hôpital, il limite in questo caso è pari al limite della derivata del numeratore rispetto a θ diviso il limite della derivata del denominatore rispetto a θ . Questo limite è uguale a $\ln(2)A^\phi$.

Analizzando nel dettaglio il parametro θ si tenga conto che esso è influenzato da diversi fattori, tra cui:

- la visione pessimistica di alcuni ricercatori che tendono a sottolineare la presenza di vincoli imposti dai fenomeni naturali che limitano la produzione di nuova conoscenza;
- la facilità di scoprire nuove combinazioni utili che, considerando la dimensione e la complessità dello spazio di queste potenziali combinazioni, può portare al *needle-in-the-haystack problem* (trovare un ago in un pagliaio). Nonostante questo, gli ottimisti tendono a sottolineare come la combinazione di IA e l'aumento della potenza di calcolo dei computer possa aiutare il processo di scoperta;
- dal percorso seguito dal processo di scoperta fino a quel determinato momento. Grazie all'IA, che fornirà la possibilità di identificare i percorsi migliori da seguire, diminuirà la possibilità di trovarsi in un vicolo cieco della tecnologia.

Dettagliando maggiormente il modello, si supponga ora che siano presenti all'interno del sistema economico L_A ricercatori che operano indipendentemente l'uno dall'altro (dove si supponga che L_A sia misurato continuamente). Inoltre, si supponga che alcuni ricercatori duplichino le ricerche di altri ricercatori (*standing-on-toes effect*) e per catturare questo effetto, si supponga che si verifichino nuove scoperte come se il numero effettivo di ricercatori fosse uguale a L_A^λ (con $0 \leq \lambda \leq 1$). Perciò, per $\theta > 0$ la funzione di produzione della conoscenza aggregata è data da:

$$\dot{A} = \beta L_A^\lambda \left(\frac{(2^{A^\Phi})^\theta - 1}{\theta} \right) \quad (39)$$

Al fine di capire (dati i valori di A e L_A) in che modo un aumento di θ influenza il tasso di scoperta di nuove conoscenze, \dot{A} , si osservi la derivata parziale di \dot{A} rispetto a θ :

$$\frac{\partial \dot{A}}{\partial \theta} = \frac{\beta L_A^\lambda (\theta \ln(2) A^\Phi - 1) 2^{A^\Phi \theta}}{\theta^2} + \frac{\beta L_A^\lambda}{\theta^2} \quad (40)$$

È condizione sufficiente affinché questa derivata sia positiva che il termine tra parentesi sia maggiore di zero, ovvero:

$$A > \left(\frac{1}{\theta \ln(2)} \right)^{\frac{1}{\phi}} \quad (41)$$

La figura 11 mostra un esempio di come \dot{A} vari con θ a seconda dei valori assunti da ϕ . In particolare, si può osservare che valori più alti di θ sono associati a un tasso di crescita più veloce. Inoltre, la figura mostra come θ e ϕ interagiscano positivamente. Infatti, un accesso maggiore alla conoscenza (ovvero un valore alto di ϕ) aumenta il guadagno associato ad un aumento del valore di θ . Tuttavia, si supponga, che θ evolva con A (ovvero lo stock di conoscenza totale presente nel mondo) e quindi un A più grande implica uno spazio di scoperta più ampio e complesso. In aggiunta, si supponga che, a causa dell'aumento dell'esplosione combinatoria causato dal crescere di A , questa complessità sia destinata a sopraffare qualsiasi tecnologia IA in grado di supportare il processo di scoperta.

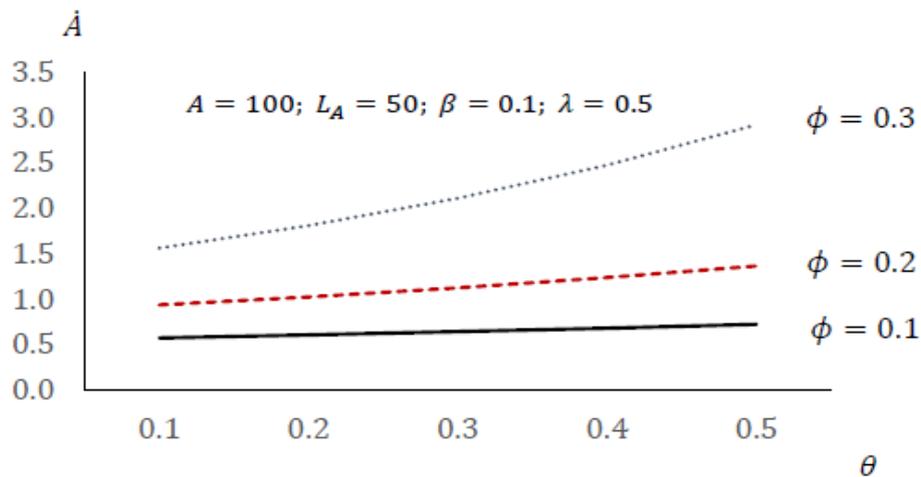


Figura 11: Relazione tra la nuova produzione di conoscenza, θ e ϕ
(fonte Ajay Agrawal, John McHale, e Alexander Oettl)

Nel modello, si tiene conto di questo assumendo che θ sia una funzione decrescente di A ; cioè, $\theta = \theta(A)$, dove $\theta'(A) < 0$. E se A va all'infinito, si assuma che $\theta(A)$ vada a zero, ovvero:

$$\lim_{A \rightarrow \infty} \theta(A) = 0 \quad (42)$$

Ciò significa che la funzione di scoperta converge asintoticamente (data la crescita di A) a:

$$\dot{A} = \beta \ln(2) L_A^\lambda A^\phi \quad (43)$$

Ora, al fine di comprendere l'impatto sul sistema economico derivante dal supporto dell'IA ai processi di ricerca e di scoperta, si supponga che il sistema economico sia composto da due settori: quello beni finali e quello della ricerca. In particolare:

- il settore dei beni finali utilizza per produrre la manodopera (L_Y) e i beni intermedi;
- ogni nuova idea supporta la progettazione di un bene intermedio che viene realizzato attraverso l'impiego del capitale K ;
- la forza lavoro totale, L , è completamente divisa tra il settore dei beni finali e quello della ricerca, così che $L_Y + L_A = L$.
- la forza lavoro è uguale a tutta la popolazione esistente e cresce al ritmo $n > 0$.

La funzione di produzione dei beni finali può essere scritta come:

$$Y = (AL_Y)^\alpha K^{1-\alpha} \quad (44)$$

dove Y è il bene finale. La funzione di utilità intertemporale di un consumatore (che tiene conto della decisione dell'individuo di allocare il consumo tra il presente e il futuro) è data da:

$$U = \int_0^\infty u(c) e^{-\rho t} dt \quad (45)$$

dove c indica il consumo pro-capite e ρ è il tasso di sconto del consumatore (ovvero la propensione del consumatore a preferire il consumo presente rispetto a quello futuro).

Inoltre, il tasso di crescita stazionario di questa economia lungo un percorso di crescita equilibrato con crescita esponenziale costante è dato da:

$$g_A = g_Y = g_c = g_k = \frac{\lambda n}{1 - \phi} \quad (46)$$

dove $g_A = \frac{\dot{A}}{A}$ è il tasso di crescita dello stock di conoscenza, g_Y è il tasso di crescita dell'*output* pro-capite y (con $y = Y/L$), g_c è il tasso di crescita del consumo pro-capite c (con $c = C/L$), e g_k è il tasso di crescita del rapporto capitale-lavoro (con $k = K/L$).

Fatta questa descrizione del modello, si osservi ora come i cambiamenti nei parametri della funzione di produzione della conoscenza (39) influenzano le dinamiche della crescita nell'economia. Ovvero:

- a seguito di un aumento della disponibilità delle tecnologie *AI-based* che migliorano l'accesso alla conoscenza da parte del ricercatore (come ad esempio Google, Meta^α, BenchSci, ecc.), dovrebbe verificarsi un aumento del valore di ϕ (ovvero alla conoscenza). Osservando l'equazione (46), un aumento di ϕ genera un aumento del tasso di crescita stazionario dell'economia;
- a seguito di un aumento della disponibilità delle tecnologie *AI-based* che migliorano il parametro relativo alla scoperta, β , e poiché β non appare nell'equazione (46), il tasso di crescita stazionario non viene modificato. Tuttavia, il miglioramento di β fa aumentare il tasso di crescita del percorso che porta stato stazionario;
- a seguito di un aumento del parametro θ dettato dalla scoperta di una nuova tecnologia *AI-based* e nel caso in cui l'economia sia inizialmente in uno stato stazionario, lo stato stazionario dell'economia non viene influenzato. Questo è dovuto all'assunzione fatta per l'equazione (42) secondo la quale θ convergerà a zero in quanto la complessità derivante dall'esplosione combinatoria della conoscenza travolgerà la nuova tecnologia IA. Tuttavia, anche in questo caso le dinamiche di transizione sono abbastanza diverse. Infatti, un aumento di θ influenza il percorso da seguire per arrivare allo stato stazionario a causa dei maggiori aumenti della conoscenza disponibile lungo il percorso.

In conclusione, sono due le osservazioni chiave che motivano il modello sviluppato sopra. In primo luogo, usando come analogia quella di trovare un ago in un pagliaio, gli ostacoli al processo di scoperta dei diversi domini scientifici e tecnologici nascono dalle relazioni non lineari di causa-effetto presenti tra l'enorme quantità di dati presenti. In secondo luogo, i progressi negli algoritmi come la *machine learning*, offrono il potenziale per trovare conoscenze rilevanti e per prevedere combinazioni di conoscenze che produrranno nuove scoperte. Quindi, l'apparente velocità con cui la *machine learning* viene applicata nei diversi ambiti, suggerisce che questa possa rappresentare una meta-tecnologia innovativa utilizzabile per la previsione di nuove combinazioni di conoscenze in spazi molto complessi rivoluzionando drasticamente il mondo della ricerca e della

scoperta. Pertanto, sebbene il principale scopo di questo modello sia esplorare come le innovazioni dell'IA possano influenzare la crescita economica, la funzione di produzione della conoscenza sviluppata può essere potenzialmente applicata per altri scopi. Infatti, questo modello, attraverso un cambiamento concettuale, permette di modellare la scoperta come un processo operante in uno spazio costituito da numerose combinazioni. In particolare, la funzione di produzione della conoscenza focalizza l'attenzione sulla metodologia seguita nel processo di scoperta di nuova conoscenza combinando la conoscenza esistente. Questo spostamento di enfasi è motivato dal modo in cui la *machine learning* può supportare la scoperta permettendo ai ricercatori di scoprire combinazioni altrimenti difficili da individuare.

2.7. I robot nell'ambiente produttivo

Per analizzare l'impatto dell'introduzione dei robot in ambiente produttivo, può essere utile studiare il modello, di Georg Graetz e Guy Michaels, che mostra la relazione tra robot e lavoro. Per semplificare le cose, sono stati presi in considerazione due settori diversi:

- il primo utilizza una funzione di produzione CES per combinare robot e lavoro;
- il secondo usa soltanto lavoro.

In parole semplici, un settore vede l'utilizzo congiunto di due *input* diversi, i robot e i lavoratori umani, mentre l'altro settore ha come *input* di produzione soltanto la manodopera. Supponiamo inoltre che i consumatori abbiano un'utilità descritta tramite una funzione CES e che vengano consumati interamente tutti gli *output* generati. Quindi l'utilità dei consumatori sarà:

$$u = [Y_R^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + Y_N^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}}]^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (47)$$

Per semplicità si considerino i consumatori soggetti a vincoli di budget. Viene indicata con ε l'elasticità di sostituzione nel consumo tra gli *output* dei due settori. La quantità di robot usata nella produzione viene indicata con R e si suppone che i robot siano perfettamente elastici al prezzo p e con L è rappresentata la quantità di lavoro impiegata nella produzione degli *output* e si intende perfettamente inelastica e perfettamente mobile tra i due settori. Il lavoro nei due settori sarà denominato L_R e L_N nel caso in cui sia

relativo al settore con i robot e nel caso in cui invece sia relativo al settore senza robot. Le funzioni di produzione dei due settori sono rispettivamente:

$$Y_R = [R^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + L_R^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (48)$$

$$Y_N = L_N \quad (49)$$

dove σ rappresenta l'elasticità di sostituzione tra robot e lavoro nel settore in cui sono presenti i robot. Attraverso le opportune dimostrazioni si arriva alle seguenti conclusioni:

1. una diminuzione del prezzo dei robot porta ad un aumento della densità dei robot;
2. un aumento nella densità dei robot porta ad un aumento della produttività media del lavoro nel settore in cui sono presenti i robot;
3. con l'aumentare della densità del robot, aumenta anche l'*output* nel settore che usa i robot rispetto a quello che non utilizza robot;
4. l'*input* di lavoro nel settore che usa robot aumenta (diminuisce) con la densità dei robot se $\varepsilon > \sigma$ ($\varepsilon < \sigma$). L'allocazione del lavoro tra i vari settori non dipende dalla densità dei robot quando $\varepsilon = \sigma$.

Per quanto riguarda l'ultima intuizione, una diminuzione nel prezzo dei robot porta le imprese a sostituire i lavoratori con i robot, ma allo stesso tempo aumenta l'*output* del settore che usa i robot facendo diminuire il prezzo di tale *output*. Questo a sua volta porta i consumatori a comprare più prodotti provenienti dal settore che usa i robot. Ora se l'aumento dell'*output* non richiede un aumento aggiuntivo di robot o se è necessario un aumento dei lavoratori, dipende da quanto è forte la risposta dell'impresa alla caduta del prezzo dei robot rispetto alla risposta dei consumatori alla caduta del prezzo dell'*output* (misurati rispettivamente come σ e ε).

Per cercare di spiegare meglio cosa l'elasticità σ e ε rappresentano si può dire che σ cattura le possibilità di sostituzione tra i fattori (robot e lavoro) nella stessa attività oppure la sostituzione tra le diverse attività necessarie per la produzione di un *output*. Quindi una bassa elasticità sostituzione tra le attività si potrebbe traslare in un basso valore di σ , anche se i robot e i lavoratori sono perfetti sostituti a livello di singola attività.



Figura 12: Tasso di sostituibilità dei lavoratori per settore (fonte www.lavocedellelotte.it)

Allo stesso modo, il valore di ϵ dipende da come sono considerati i due diversi settori descritti nel modello. Se si immaginano i due settori come diversi ma appartenenti alla stessa nazione (ad esempio i settori *automotive* e *costruzione italiani*), la sostituzione potrebbe essere limitata e ϵ potrebbe essere piccolo. Se invece interpretiamo i due settori come uguali ma appartenenti a due nazioni diverse (ad esempio il settore *automotive* di Germania e Italia), la sostituzione potrebbe essere grande e quindi ϵ potrebbe assumere un valore elevato.

In conclusione, questo modello semplificato suggerisce che un aumento nella densità dei robot causata da una caduta del loro prezzo porterebbe ad un aumento del valore aggiunto e della produttività del lavoro. Il dibattito tra gli economisti è in corso: in linea di massima gli esperti ritengono molto probabile che l'IA contribuirà a un aumento della produttività e degli standard di vita. Tuttavia, è anche probabile che questo avvenga dopo un periodo di transizione durante il quale molti impieghi attuali cessano di esistere. In particolare, come mostra la figura 12, poiché i lavoratori meno scolarizzati tendono ad avere mansioni più ripetitive, e poiché i robot tendono a sostituire questo tipo di attività, non sorprende che siano questi lavoratori ad essere sottoposti ad un rischio maggiore di sostituzione.

CAPITOLO III

3. CONSEGUENZE ATTESE

3.1. L'impatto sulla competitività tra le imprese

Si stima che tra il 2014 e il 2020, il mercato globale della robotica e dei sistemi che si basano sull'IA sarà soggetto ad un incremento di circa 80 miliardi di euro, andando da 49 miliardi del 2014 a 128 miliardi nel 2020. Ma, nonostante sia abbastanza chiaro che lo sviluppo dell'IA possa essere considerato un fattore fondamentale per la crescita economica, non è da sottovalutare il rischio che questa nuova tecnologia produca ondate di innovazioni distruttive travolgendo sia imprese che consumatori.

3.1.1. *Intelligenza Artificiale e reverse engineering*

È chiaro ormai che l'inserimento dell'IA nel contesto competitivo delle imprese abbia impatti considerevoli sui rapporti e sulle strategie di quest'ultime. Per cercare di spiegare meglio l'effetto di questa introduzione, la letteratura fornisce numerosi studi sulla concorrenza e sulla crescita basata sull'innovazione sottolineando l'esistenza di due effetti contrastanti. Da un lato, una maggiore concorrenza sul mercato (o anche la sola minaccia di imitazione) induce le imprese situate sulla frontiera dell'innovazione a investire in R&D per sfuggire alla competizione; d'altra parte, una competizione troppo intensa potrebbe scoraggiare le imprese che non sono situate sulla frontiera tecnologica. In un ambiente in cui l'IA è alla base delle attività delle imprese, quale tra questi effetti domina dipende dal grado di competizione presente nell'economia: "l'effetto fuga" tende a dominare nelle economie con bassa competizione e nelle economie più avanzate; "l'effetto di scoraggiamento" domina invece nelle economie con alta competizione oppure meno avanzate.

Analizzando il contesto che vede protagonista l'IA, un primo potenziale effetto potrebbe essere relativo alla facilità di imitazione apportata da quest'ultima sui prodotti e tecnologie esistenti. Infatti, l'IA faciliterebbe il *reverse engineering* e quindi l'imitazione di prodotti e tecnologie di aziende *competitor*. Nei settori con un basso livello iniziale di imitazione e quindi poca competizione, alcuni sistemi di *reverse engineering* basati

sull'IA potrebbero stimolare l'innovazione in virtù dell'effetto di fuga dalla competizione. Ma una minaccia troppo alta potrebbe finire per scoraggiare le imprese ad innovare, in quanto i potenziali innovatori dovrebbero sostenere eccessivi investimenti. Quindi, l'introduzione dell'IA potrebbe accelerare il processo di congestione dei singoli settori portando a una diminuzione degli investimenti ma allo stesso modo potrebbe indurre i potenziali innovatori a dedicare più risorse all'innovazione con l'obiettivo di sfuggire alla concorrenza e all'imitazione. In sostanza, l'effetto complessivo sulla crescita aggregata dipenderà dai contributi dell'IA all'innovazione secondaria (ovvero il miglioramento di prodotti o tecnologie già esistenti) e all'innovazione primaria mirata a creare nuove linee di prodotto per il processo di crescita complessivo.

Un altro modo in cui l'IA potrebbe influenzare l'innovazione e la crescita è tramite lo sviluppo di piattaforme o *networks*. Infatti, uno dei principali obiettivi dei proprietari di piattaforme è quello di massimizzare il numero di partecipanti alla piattaforma. Ad esempio, Google gode di una posizione di monopolio come piattaforma di ricerca, Facebook gode di una posizione leader sui social network, così come Booking.com per le prenotazioni alberghiere. Lo sviluppo dei *networks* può a sua volta influenzare la concorrenza in almeno due modi. Innanzitutto, i dati possono costituire una barriera all'ingresso per la creazione di nuovi *networks* concorrenti e, inoltre, chi possiede determinati *networks* potrebbe trarre vantaggio da una posizione di monopolio imponendo tasse elevate ai partecipanti al mercato e, conseguentemente, scoraggiando l'innovazione da parte dei partecipanti. Alla fine, se dominerà l'effetto fuga o l'effetto scoraggiamento, dipenderà dal tipo di settore, dalla misura con cui l'IA faciliterebbe il *reverse engineering* e l'imitazione, e dalle politiche di concorrenza del settore.

3.1.2. *La gestione dei Big Data*

Come accennato precedentemente, grazie all'IA vengono raccolti dati velocemente e in grandi quantità, tali dati vengono chiamati *big data* e l'economia di cui loro compongono la base è la *data-driven economy*. Di conseguenza, appare chiaro come la questione *big data management* sia di importanza strategica per le imprese che basano il proprio *business* sui dati raccolti. Infatti, in un contesto in cui i processi di *business* e la competitività delle imprese si fondano sull'IA, riuscirà a sopravvivere alla competizione solo chi riuscirà a gestire al meglio i *big data*. Infatti, il peso commerciale che hanno

raggiunto oggi i *big data* è così elevato che questi sono il più delle volte oggetto di compravendita sul mercato. Il loro valore si basa sul fatto che possederne in grandi quantità consente alle imprese, grazie all'ausilio dell'IA, di profilare i propri clienti e di fornire loro promozioni e servizi *ad hoc*. Pertanto, ai fini *antitrust*, andrebbe misurato il potere di mercato concentrandosi sul volume dei dati in possesso di un'impresa e sulla capacità che essa ha di gestirli attraverso i sistemi IA a cui ha accesso.

3.1.3. *Intelligenza Artificiale e la riallocazione settoriale*

La ricercatrice Salomé Baslandze, in un suo recente lavoro, sostiene che la rivoluzione IT abbia prodotto una diffusione della conoscenza che ha indotto una riallocazione settoriale a partire dai settori che non si affidano molto alle esternalità tecnologiche provenienti da altri settori, ai settori che si basano maggiormente su queste esternalità. Tale argomentazione, applicabile all'IA, impatta in due modi diversi sull'incentivo ad innovare: da un lato, le imprese possono imparare più facilmente osservandosi tra loro beneficiando maggiormente della diffusione della conoscenza; dall'altro lato, il miglioramento dell'accesso alla conoscenza di altre imprese generato dall'IA aumenta le possibilità di *business stealing*, ovvero l'effetto (negativo) sulla domanda dei *competitors* che si genera nel momento in cui una società modifica alcuni comportamenti (ad esempio cambiando una qualsiasi variabile di scelta strategica). Nei settori *high-tech*, dove le imprese beneficiano maggiormente dalla conoscenza esterna, l'effetto che tenderebbe a dominare potrebbe essere quello della diffusione della conoscenza, mentre nei settori che non si affidano molto al sapere esterno, dominerebbe il *business stealing*.

In effetti, nei settori in cui vi è diffusione della conoscenza, le imprese vedono le loro capacità produttive e innovative aumentare in misura maggiore rispetto alle capacità delle imprese che operano nei settori senza la diffusione di conoscenza. Segue immediatamente che la diffusione dell'IA dovrebbe portare a un'espansione dei settori in cui domina l'effetto di diffusione della conoscenza a scapito dei settori più autonomi dalla conoscenza altrui. Pertanto, oltre ai suoi effetti diretti sull'innovazione e sulla capacità produttiva, l'introduzione dell'IA, potrebbe generare un effetto di diffusione della conoscenza accompagnato da un effetto di riallocazione settoriale a vantaggio dei settori

altamente tecnologici che si basano maggiormente sulle esternalità della conoscenza da altri settori.

3.2. Il paradosso della produttività

I sistemi basati sull'IA hanno raggiunto, o persino superato, le *performance* lavorative di un essere umano in moltissimi campi ma, nonostante questo, nello scorso decennio il tasso di crescita della produttività è dimezzato. È plausibile pensare che questo possa essere dovuto ad una non ampia diffusione di queste tecnologie e all'assenza di un'infrastruttura e di innovazioni complementari sufficientemente sviluppate. Come supplemento a queste affermazioni, la figura 13 (*output* delle analisi del Conference Board) mostra che, nello scorso decennio, la crescita della produttività nelle economie emergenti e in fasi di sviluppo si è fermata durante il periodo della Grande Recessione (che aveva a sua volta portato a un declino del tasso di crescita della produttività).

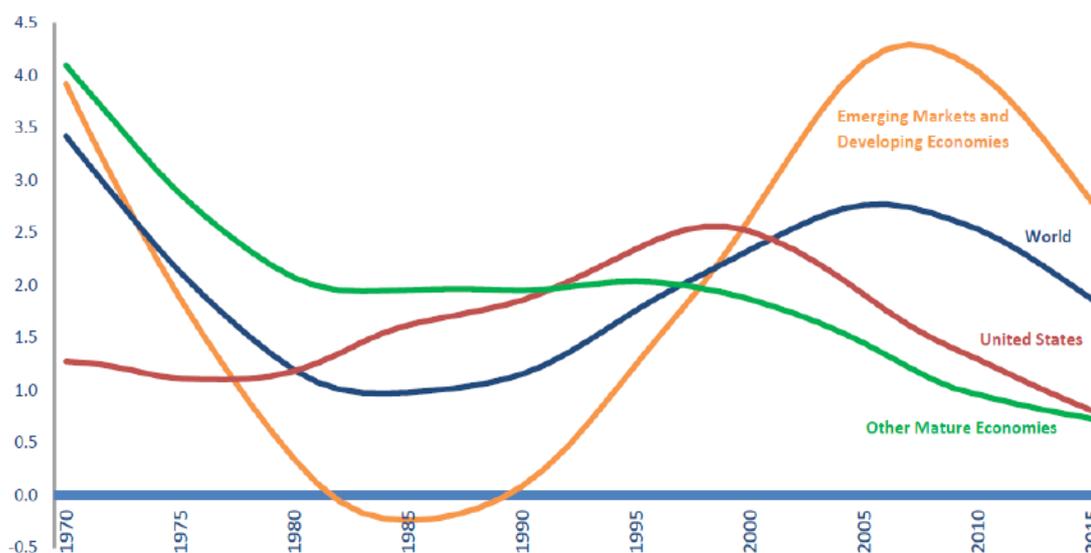


Figura 13: Crescita media annua della produttività del lavoro (in percentuale) per regione (fonte The Conference Board Total Economy Database)

3.2.1. Quattro possibili spiegazioni

Il contesto attuale è strutturato in modo tale da avere da un lato sorprendenti esempi di nuove tecnologie IA che potrebbero far crescere la produttività e il benessere economico, e dall'altro i segni evidenti che la crescita della produttività misurata nello

scorso decennio sia diminuita significativamente. Si viene quindi a generare una visione dualistica del fenomeno IA dove il pessimismo generato dai risultati passati si contrappone all'ottimismo sulle potenzialità future di questa tecnologia. Successivamente è mostrato come non esista incoerenza tra queste due visioni, poiché è plausibile pensare che l'impatto delle tecnologie trasformative sull'economia fornisca una buona ragione concettuale all'esistenza simultanea di questi due interpretazioni. A tal fine, i ricercatori Erik Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson hanno individuato quattro possibili spiegazioni: false speranze, *mismeasurement*, distribuzione concentrata e dissipazione della rendita, e implementazione e ritardi di attuazione.

False speranze

Secondo questo punto di vista, l'ottimismo relativo al potenziale di queste nuove tecnologie potrebbe essere mal posto e infondato. Chi guarda l'IA da questa prospettiva sostiene che quest'ultima non abbia l'impatto trasformativo che molti si aspettano, e che, sebbene potrebbe avere un modesto effetto sui settori specifici, il suo impatto aggregato potrebbe essere comunque piccolo. In questo caso, il paradosso sarebbe risolto con il passare degli anni poiché, se la produttività aggregata non riuscisse ad uscire dall'attuale depressione, i sostenitori della visione ottimistica sarebbero costretti a rivedere le loro convinzioni.

Mismeasurement

Un'altra potenziale spiegazione afferma che le misurazioni dell'*output* e della produttività siano errate. Infatti, sotto questa prospettiva, il rallentamento dell'ultimo decennio è illusorio e i benefici in termini di produttività generati da questa nuova ondata di IA sono già realtà ma non sono ancora stati misurati con precisione. A favore dell'ipotesi di *mismeasurement*, si pensi alle nuove tecnologie, come *smartphone* e *social network* che implicano bassi costi monetari in contrapposizione all'elevato uso che ne fanno i consumatori. Pertanto, anche nel caso dell'IA, le tecnologie potrebbero fornire un'elevata utilità sebbene queste, a causa del loro basso prezzo, rappresentino una piccola quota del PIL. Tuttavia, una serie di studi condotti recentemente forniscono buoni motivi per ritenere che la *mismeasurement* non sia la sola causa del rallentamento. Dopotutto, oltre ad esistere prove concrete e convincenti che molti dei benefici delle tecnologie

odierne non si riflettono nel PIL e quindi nelle statistiche sulla produttività, anche nelle epoche passate si sono verificate situazioni simili.

Distribuzione concentrata e dissipazione della rendita

La terza spiegazione del paradosso fa riferimento alla distribuzione dei profitti (derivanti dallo sfruttamento dell'IA) ad una cerchia ristretta di soggetti e alla dissipazione della rendita, ovvero la presenza di costi / sforzi aggiuntivi necessari ad ottenere una rendita. In particolare, questa interpretazione del paradosso, sostiene che i guadagni derivanti dallo sfruttamento delle nuove tecnologie siano già accessibili alle imprese, ma che il loro effetto sulla crescita della produttività sia, in aggregato, piuttosto modesto. Questo è dovuto alla combinazione della distribuzione concentrata dei guadagni e alla dissipazione degli sforzi necessari a raggiungerli o preservarli. In particolare, tale contesto è caratterizzato dalla presenza di due tipologie di soggetti: coloro che cercano di entrare nella cerchia ristretta dei beneficiari e coloro che hanno già ottenuto i benefici e cercano di bloccare l'accesso ai potenziali entranti. Queste due tipologie di individui si impegnano in questa dissipazione degli sforzi, distruggendo molti dei benefici derivanti dall'utilizzo delle nuove tecnologie *AI-based*. Infatti, secondo questa visione i benefici apportati da queste nuove tecnologie vengono apprezzati da una percentuale relativamente piccola dell'economia, e l'accessibilità ristretta a queste tecnologie crea una situazione tale da essere definita una "corsa all'oro".

In conclusione, si teme che la concentrazione dei settori stia portando a sostanziali perdite di benessere sociale dovute alla distorsione del potere di mercato. Tuttavia, sebbene questa evidenza sia importante, non è dispositiva. Gli effetti aggregati della concentrazione dei settori sono ancora in discussione, e il semplice fatto che i benefici apportati da una tecnologia non siano equamente distribuiti non garantisce che ci siano così tanti sprechi da cancellare tutti i benefici aggregati.

Implementazione e ritardi di attuazione

Ognuna delle tre spiegazioni citate, in particolare le prime due, fa riferimento alla discordanza tra le alte speranze che si nutrono nei confronti dell'IA e i deludenti risultati statistici. Tuttavia, c'è una quarta e ultima spiegazione che sembra essere la più convincente. Secondo quest'ultima prospettiva, esiste una buona ragione per essere

ottimisti riguardo al potenziale delle nuove tecnologie IA, riconoscendo al tempo stesso che la recente crescita della produttività non sia stata troppo alta.

Questa interpretazione fa riferimento al tempo necessario per imparare a sfruttare al meglio le nuove tecnologie, affermando che a volte questo tempo può essere maggiore di quello atteso. Ironia della sorte, questo tende ad essere vero per le nuove tecnologie che infine hanno un impatto considerevole sulla statistica aggregata e sul benessere collettivo. Ovvero, le tecnologie che si qualificano come *general purpose technology*. Infatti, più ampio è il cambiamento apportato dalla nuova tecnologia, più sarà il tempo trascorso tra l'inserimento sul mercato e il suo pieno impatto sull'economia e sulla società. Questa spiegazione implica che potrebbe esserci un periodo in cui le tecnologie siano sufficientemente sviluppate da consentire a investitori, ricercatori e *policy maker* di immaginare i loro effetti potenzialmente trasformativi pur non avendo avuto nessun effetto visibile sulla crescita della produttività.

Secondo la letteratura, sono due le fonti principali del ritardo tra il riconoscimento del potenziale di una nuova tecnologia e il verificarsi di effetti misurabili. Prima di tutto, è necessario del tempo per creare uno *stock* di prodotti basati su questa nuova tecnologia che abbia una dimensione sufficiente da generare un significativo effetto aggregato. Secondo, sono necessari investimenti in prodotti complementari per ottenere il massimo beneficio dalla nuova tecnologia.

In conclusione, nonostante il potenziale dell'invenzione potrebbe essere chiaramente riconoscibile fin da subito, lo sviluppo delle co-invenzioni e il superamento degli ostacoli e degli aggiustamenti potrebbe richiedere più tempo del previsto. Questa spiegazione fornisce un punto di giuntura tra le due parti contraddittorie del paradosso, riconoscendo che queste sono manifestazioni naturali dello stesso fenomeno.

3.2.2. *Argomentazioni a favore*

Nell'era post-bellica, la produttività ha subito un incremento costante, anche se a ritmi diversi in tempi diversi. Tuttavia, in passato, i tassi di crescita della produttività degli anni precedenti sono stati storicamente scarsi predittori della crescita futura della produttività. Infatti, la storia ci insegna che una lenta crescita della produttività oggi non esclude una crescita della produttività più rapida in futuro. In altre parole, la crescita della produttività nell'ultimo decennio ci dice poco sulla crescita della produttività per il

prossimo decennio. Quindi, nonostante ci sia correlazione tra i tassi di crescita della produttività su brevi intervalli, la correlazione tra periodi decennali adiacenti non è statisticamente significativa. A supporto di questa affermazione, sono presentati di seguito i risultati di una regressione tra la crescita della produttività media in un determinato periodo e la crescita della produttività media del periodo precedente in intervalli di 10 anni. Le regressioni nella figura 14 consentono l'autocorrelazione in termini di errore tra anni. La figura 15 raggruppa gli errori standard per decennio.

Newey-West Regressions (1 Lag Allowed) 10-year Average Productivity Growth	(1) Labor Productivity Growth	(2) Total Factor Productivity Growth	(3) Utilization-Adjusted Productivity Growth
Previous 10-year Average LP Growth	0.0857 (0.177)		
Previous 10-year Average TFP Growth		0.136 (0.158)	
Previous 10-year Average TFP _{ua} Growth			0.158 (0.187)
Constant	1.949*** (0.398)	0.911*** (0.188)	0.910*** (0.259)
Observations	50	50	50
R-Squared	0.009	0.023	0.030

Standard errors in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Figura 14: regressione con errore standard Newey-West
(fonte Erik Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson)

10-year Average Productivity Growth (SEs Clustered by Decade)	(1) Labor Productivity Growth	(2) Total Factor Productivity Growth	(3) Utilization-Adjusted Productivity Growth
Previous 10-year Average LP Growth	0.0857 (0.284)		
Previous 10-year Average TFP Growth		0.136 (0.241)	
Previous 10-year Average TFP _{ua} Growth			0.158 (0.362)
Constant	1.949** (0.682)	0.911** (0.310)	0.910 (0.524)
Observations	50	50	50
R-squared	0.009	0.023	0.030

Robust standard errors in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Figura 15: Regressione con errori standard raggruppati per decennio
(fonte Erik Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson)

In tutti i casi, l' R^2 di queste regressioni (ovvero la misura della frazione della varianza della variabile indipendente spiegata dalla variabile dipendente) è bassa. Questo risultato implica che la crescita della produttività del decennio precedente non ha un potere predittivo statisticamente significativo sulla crescita del decennio successivo. In particolare:

- per la produttività del lavoro, R^2 è 0,009. Sebbene l'intercetta sia significativamente diversa da zero (la crescita della produttività è in media positiva), il coefficiente sulla crescita del periodo precedente non è statisticamente significativo. La stima puntuale è anche economicamente piccola. Prendendo la stima al valore nominale, una crescita annuale della produttività del lavoro dell'1% nel decennio precedente (attorno a una media incondizionata di circa il 2% all'anno) corrisponde a una crescita più rapida dello 0,1% nel decennio successivo;
- relativamente alla produttività totale dei fattori, R^2 è 0,023, e ancora una volta il coefficiente sulla crescita del periodo precedente è insignificante;
- si ha un andamento simile anche nel caso della produttività totale dei fattori aggiustata in base all'utilizzo (R^2 di 0,03).

A questo punto, è possibile asserire che il detto "le *performance* passate non sono predittive dei risultati futuri" si applica bene al tentativo di prevedere la crescita della produttività negli anni a venire, basandosi sui decenni passati. In poche parole, la stagnazione storica non giustifica il pessimismo lungimirante.

3.2.3. *Le fondamenta dell'ottimismo nei confronti dell'IA*

Come osservato precedentemente, estrapolare i tassi di crescita della produttività degli anni passati non è un buon modo per stimare la crescita della produttività del prossimo decennio. Tuttavia, questo non implica che non sia possibile prevedere la crescita della produttività. Infatti, invece di basarsi solo sulle statistiche relative alla produttività passata, si potrebbe prendere in considerazione l'ambiente tecnologico e innovativo che si presuppone di osservare nel prossimo futuro. In particolare, si potrebbero studiare le specifiche tecnologie che esistono realmente e fare una valutazione del loro potenziale.

Non è necessario scavare troppo in profondità per individuare, tra le tecnologie esistenti, quelle in grado di combinarsi e generare notevoli accelerazioni nella crescita

della produttività aggregata. Infatti, in riferimento ad alcuni casi specifici si può trovare quello delle *self-driving car*. In questo contesto, supponendo che l'IA sia una *GPT*, si consideri la produttività potenziale relativa ai veicoli autonomi. Secondo il Bureau of Labor Statistics degli Stati Uniti, nel 2016 erano circa 3,5 milioni le persone impiegate nell'industria privata come "*motor vehicle operator*" (ovvero camionisti, tassisti, conducenti di autobus e simili). Si supponga ora che l'introduzione dei veicoli autonomi sul mercato riduca, per un determinato periodo, il numero dei "*motor vehicle operator*" a 1,5 milioni e lasci invariato la quantità di lavoro da svolgere. Pertanto, se l'occupazione privata non agricola totale, nel 2016, era pari a 122 milioni, i veicoli autonomi riducono il numero di lavoratori a 120 milioni (in quanto da 3,5 milioni di operatori si è scesi a 1,5 milioni) lasciando invariato l'ammontare di lavoro da svolgere. Ciò comporterebbe un aumento della produttività del lavoro aggregata dell'1,7% (ovvero $\frac{122}{120} \times 100$). Supponendo che questo passaggio ai veicoli senza conducente sia avvenuto nell'arco di 10 anni, questa singola tecnologia porterebbe la produttività ad aumentare dello 0,17% annuo per 10 anni. Un ulteriore esempio molto interessante è fornito dal caso "*call center*". Infatti, nel 2015, precisamente negli Stati Uniti, erano impiegate in 6.800 *call center* circa 2,2 milioni di persone. Pertanto, sempre nel contesto IA, si supponga che i moderni sistemi di riconoscimento vocale e di risposta intelligente alle domande siano in grado di gestire circa il 60/70 per cento delle chiamate. Di conseguenza, se l'IA potrebbe ridurre il numero di lavoratori del 60 per cento, aumenterebbe la produttività del lavoro degli Stati Uniti dell'1%, di nuovo ripartito su 10 anni. In ogni caso, nonostante il risparmio di manodopera, i progressi dell'IA hanno il potenziale per aumentare la produttività totale dei fattori. In particolare, l'efficienza energetica e l'utilizzo dei materiali potrebbero essere migliorati in molti impianti industriali. Ad esempio, un team di Google DeepMind ha recentemente costruito un insieme di reti neurali in grado di ottimizzare il consumo energetico di un *data center*.

In conclusione, sebbene questi esempi siano rappresentativi di un notevole guadagno in termini di produttività, sono solamente una frazione dell'insieme delle applicazioni dell'IA. Inoltre, è importante sottolineare che il ritmo con il quale l'IA riuscirà a svilupparsi dipende da diversi fattori, tra cui le barriere legali e normative e l'accettazione sociale.

3.2.4. *Perché l'IA non ha generato crescita della produttività*

Come le altre *GPT*, l'IA ha il potenziale per influenzare la crescita della produttività. Tuttavia, come sottolineano i ricercatori Boyan Jovanovic e Peter L. Rousseau: "una *GPT* non genera immediatamente guadagni in termini di produttività". Infatti, una tecnologia può essere sufficientemente sviluppata da rendere espliciti alcuni dei suoi potenziali effetti trasformativi, e allo stesso tempo non impattare in alcun modo sulla produttività. Al giorno d'oggi, l'IA potrebbe essere esattamente in questo stato. Infatti, essendo l'IA una *GPT*, è necessaria la costruzione e l'implementazione di uno stock di nuovo capitale o di capitale complementare sufficientemente ampio. Ciò include sia gli investimenti in capitale tangibile sia quelli in capitale intangibile (ovvero l'aggiustamento dei costi, i cambiamenti organizzativi, lo sviluppo delle nuove competenze necessarie per l'utilizzo delle tecnologie *AI-based*, ecc.). Questa serie di aggiustamenti, richiedono grandi quantità di tempo e risorse, e devono far fronte ad ostacoli come l'inerzia organizzativa delle imprese. Inoltre, le aziende che si stanno avvicinando a questi nuovi strumenti devono rivalutare e riconfigurare non solo i loro processi interni, ma anche le loro catene di fornitura e distribuzione. Nonostante questo, non vi è alcuna garanzia che gli aggiustamenti avranno successo. Infatti, le ricerche condotte da alcuni ricercatori hanno mostrato che esistono settori in cui, tra le imprese consolidate, i miglioramenti in termini di produttività di alcune aziende sono compensati da dei peggioramenti della produttività di altre aziende. Ciò mostra che esistono aziende che hanno spesso degli incentivi interni a non far avanzare la tecnologia mostrando come per trasformare interi settori siano necessari più aggiustamenti e riconfigurazioni.

3.2.5. *Effetti attesi sulla produttività causati da un'accelerazione AI-driven*

Per comprendere i probabili effetti che l'IA potrebbe avere sulla produttività, potrebbe essere utile intendere l'IA come una tipologia di capitale intangibile. Quindi, si supponga che il capitale IA accumulabile attraverso l'investimento, sia un fattore di produzione durevole e il suo valore possa deprezzarsi. Quindi, proprio per questa sua natura intangibile, calcolare l'impatto dell'IA sulla produttività potrebbe essere difficile in quanto anche molti dei suoi *output* sono intangibili (come ad esempio i software sviluppati tramite l'impiego dell'IA). Infatti, mentre lo stock di beni materiali è registrato nei bilanci aziendali, le spese per i beni complementari intangibili e i costi necessari ad

adeguarsi all'IA non sono inclusi. Senza considerare la distorsione nel calcolo della *TFP* (intesa come il rapporto tra un indice di *output* e un indice di *input*) generata dalla produzione e dall'uso del capitale intangibile IA. Infatti, nel caso in cui lo stock di capitale intangibile IA cresca più rapidamente della produzione, la crescita della *TFP* sarà sottostimata, mentre la *TFP* sarà sovrastimata se lo stock di capitale crescesse più lentamente della produzione. Per capire meglio questo effetto, si supponga che il lavoro e tutte le altre risorse necessarie a creare asset immateriali siano misurati, ma i risultanti aumenti degli asset immateriali non siano misurati come contributi alla produzione. In tal caso, il PIL totale sarà sottovalutato e, di conseguenza, anche la produttività, calcolata attraverso il PIL. Pertanto, periodi di rapido accumulo di capitale intangibile possono essere associati a una crescita minore della produttività, nonostante la vera produttività aumenti.

Quindi, eccessivi investimenti in capitale intangibile (in questo caso nell'IA) porterebbero a generare grandi quantità di *output*, tra cui gli *output* intangibili non compresi nel calcolo della produzione finale. Ad esempio, secondo un recente rapporto della Brookings Institution gli investimenti in veicoli autonomi hanno superato gli 80 miliardi di dollari dal 2014 al 2017 con una scarsa adozione della tecnologia da parte dei consumatori. Si tratta di circa lo 0,44% del PIL del 2016 (ripartito su 3 anni). Se tutta la formazione di capitale in veicoli autonomi fosse generata da lavoro altrettanto costoso, ciò ridurrebbe la produttività del lavoro dello 0,1% all'anno per 3 anni poiché i veicoli autonomi non hanno ancora contribuito a un aumento significativo della produzione.

Alla fine, gli investitori si attendono, attraverso gli investimenti in capitale intangibile, di generare dei rendimenti. Se tali rendimenti sono prodotti da questo capitale investito "nascosto" (in quanto non considerato come *input*), si produrrà un effetto di *mismeasurement* che porterà a sovrastimare la produttività. Inoltre, quando la quota dell'*output* e lo stock del capitale *mismisured* crescono, l'aumento dell'*output* prodotto dal capitale è attribuito erroneamente ad un miglioramento della *TFP*. Tutto ciò potrebbe portare ad una "J-Curve" (figura 16) in cui l'iniziale produzione di capitale intangibile porta a sottostimare la crescita della produttività, ma i rendimenti successivi provenienti dallo stock di capitale non misurato creano una crescita del prodotto che potrebbe essere erroneamente attribuita alla *TFP*. Si analizzi quest'ultima affermazione attraverso il

modello sviluppato dai ricercatori Erik Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson. In particolare, si consideri la seguente funzione:

$$Y + zI_2 = f(A, K_1, K_2, L) \quad (50)$$

$$dY + z dI_2 = F_A dA + F_{K_1} dK_1 + F_L dL + F_{K_2} dK_2 \quad (51)$$

dove, nel membro di sinistra dell'equazione (50), Y rappresenta l'*output* e z è il prezzo dei beni d'investimento non misurati I_2 (*unmeasured capital goods*). Mentre, al membro di destra è indicata la funzione di produzione f . Gli *input* di $f(\cdot)$ sono la produttività totale dei fattori A , il capitale misurato K_1 , il capitale non misurato K_2 e il lavoro L . L'equazione (51) descrive il differenziale totale dell'*output* in funzione degli *input* della funzione di produzione. Se il prezzo del capitale ordinario è pari a r_1 , il prezzo del capitale non misurato è pari a r_2 e il tasso di retribuzione è w , abbiamo:

$$\hat{S} = \frac{dY}{Y} - \left(\frac{r_1 K_1}{Y}\right) \left(\frac{dK_1}{K_1}\right) - \left(\frac{wL}{Y}\right) \left(\frac{dL}{L}\right) \quad (52)$$

e

$$S^* = \frac{dY}{Y} - \left(\frac{r_1 K_1}{Y}\right) \left(\frac{dK_1}{K_1}\right) - \left(\frac{wL}{Y}\right) \left(\frac{dL}{L}\right) - \left(\frac{r_2 K_2}{Y}\right) \left(\frac{dK_2}{K_2}\right) + \left(\frac{zI_2}{Y}\right) \left(\frac{dI_2}{I_2}\right) \quad (53)$$

dove \hat{S} è il residuo di Solow e S^* è il residuo di Solow corretto che tiene conto degli errori nella misurazione degli investimenti in capitale. Quindi l'errore è:

$$\hat{S} - S^* = \left(\frac{r_2 K_2}{Y}\right) \left(\frac{dK_2}{K_2}\right) - \left(\frac{zI_2}{Y}\right) \left(\frac{dI_2}{I_2}\right) = \left(\frac{r_2 K_2}{Y}\right) g_{K_2} - \left(\frac{zI_2}{Y}\right) g_{I_2} \quad (54)$$

La parte destra dell'equazione descrive l'effetto del capitale nascosto e l'effetto dell'investimento in capitale nascosto. Ovvero, quando il tasso di crescita del nuovo investimento nel capitale nascosto moltiplicato per la sua quota di produzione è maggiore (minore) del tasso di crescita dello stock di capitale non misurato moltiplicato per la sua quota di produzione, il residuo di Solow stimato sottostimerà (sovrastimerà) il tasso di crescita della produttività.

Inizialmente, nuovi tipi di capitale hanno una produttività marginale (ovvero l'incremento di produzione conseguente all'aumento dell'impiego di un fattore produttivo) alta. Le imprese accumulano quel capitale fino a quando il suo tasso

marginale di rendimento non è uguale al tasso di rendimento di altri capitali. Man mano che il capitale si accumula, il tasso di crescita dell'investimento nel capitale non misurato diventa negativo, causando una sovrastima della *TFP*. Quando la situazione si stabilizza, né la quota di produzione degli investimenti né lo stock di capitale non misurato crescono e l'errore di produttività è pari a zero. La figura 16 di seguito fornisce un'illustrazione.

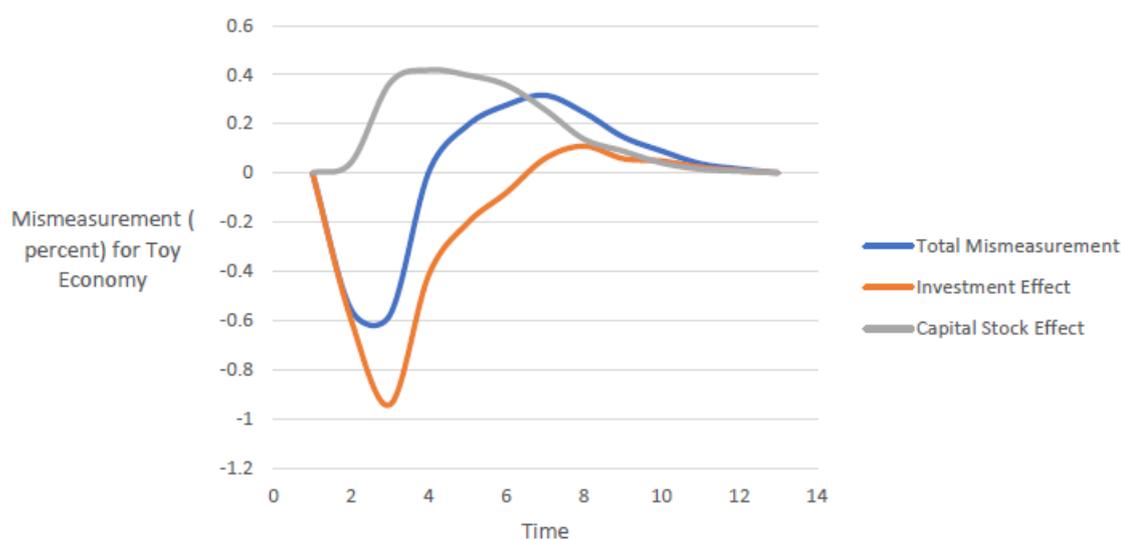


Figura 16: J-Curve per un'economia che sta accumulando una nuova tipologia di capitale (fonte Erik Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson)

In conclusione, vale la pena notare che questi sono problemi classici nella misurazione del capitale e il caso dell'IA non è certamente unico nel suo genere. È comunque probabile che questi problemi siano peggiori per l'IA, ma questo non è possibile affermarlo a priori. Guardando in avanti, questi problemi potrebbero essere particolarmente rilevanti per il capitale IA in quanto il suo accumulo supererà sicuramente il ritmo con il quale il capitale ordinario viene accumulato. Inoltre, il capitale IA è una nuova categoria di capitale che rappresenta una novità anche nella statistica economica. Questo implica anche che queste nuove categorie di capitale tenderanno ad essere raggruppate in *cluster* di capitale già esistente (alcuni anche con produttività marginale inferiore) portando al realizzarsi del rischio di sottostimare il potenziale produttivo del nuovo capitale. Pertanto, dall'analisi di questo modello è emerso un altro potenziale problema da risolvere che fa riferimento alla difficoltà di misurazione del potenziale del nuovo capitale IA. In particolare, una volta che è stato distinto il capitale IA dal capitale

ordinario, è necessario riuscire a misurare correttamente quanto questa nuova tipologia di capitale sia in grado di produrre in più rispetto al capitale attuale.

3.3. L'impatto sull'organizzazione dell'impresa e sui posti di lavoro

Fare una corretta previsione di come cambierà il mondo del lavoro e di quali saranno le professioni maggiormente esposte è complesso, in quanto l'IA non è un'innovazione specifica di un settore ma piuttosto una tecnologia trasversale a diversi settori. Risulta comunque ragionevole pensare che potrebbero esserci professioni destinate a sparire, professioni emergenti e / o professioni influenzate sotto altri punti di vista. Infatti, a cambiare è il concetto stesso di "competenza" in quanto, affinché la macchina sia in grado di svolgere un lavoro, è necessario che l'uomo sia specializzato in quel compito e sappia comprendere a fondo il funzionamento della macchina. Quindi, è abbastanza chiaro come l'IA inserita nel contesto lavorativo non abbia conseguenze solo sul lato produttivo di un'impresa ma anche sulla sua organizzazione e sui propri lavoratori.

3.3.1. Un esempio di fallacia Luddista: la produzione tessile

Finora è stato appreso che l'IA inserita nel contesto dell'Industria 4.0 porterebbe notevoli benefici alle aziende. Ma, nel complesso, l'intero settore del lavoro si troverà di fronte ad un netto mutamento, che potrebbe avere allo stesso tempo un impatto sia positivo che negativo. Infatti, se da un lato l'IA offre nuove possibilità di impiego, dall'altra è presente l'eventualità che il lavoro umano si veda sostituito dai robot *AI-based*. Questi ultimi, per come sono stati implementati, rendono un qualsiasi processo di lavoro più efficiente, generando tempi e costi inferiori rispetto a quelli che si sarebbero ottenuti se un dipendente umano avesse effettuato lo stesso compito. Ma così come verranno distrutti alcuni posti di lavoro, l'IA comunque richiederà figure professionali molto specifiche, e quindi è possibile che all'interno delle aziende i licenziamenti siano minori rispetto al previsto.

La robotica, grazie all'IA, è destinata a diventare il motore principale della competitività e della flessibilità nelle industrie manifatturiere su larga scala. Infatti, molte industrie manifatturiere di successo devono gran parte dei loro guadagni alla robotica, senza la quale non sarebbero state in grado di costruire solide basi operative. È quindi

abbastanza chiaro come IA e robotica rientrino tra i temi che acquisteranno sempre più rilevanza col passare degli anni. Intatti, non si tratta solo ed esclusivamente di IA, ma anche della sua implementazione nei vari settori, tra cui quello della robotica.

Come già ampiamente descritto fin qui, l'essere umano ha già affrontato periodi di trasformazioni simili a questo, uscendone la maggior parte delle volte con qualcosa in più. Il settore tessile fornisce un esempio utile per lo studio del cambiamento tecnologico e delle implicazioni sul mercato del lavoro. Infatti, questo settore ha subito diversi miglioramenti nel tempo. Si è iniziato con la filatura manuale, per poi andare con la filatura a ruota, procedendo con la filatura con il telaio ed infine sviluppando una macchina automatizzata per la filatura. Grazie a quest'ultimo strumento, un singolo lavoratore fu in grado di produrre un *output* che avrebbe richiesto decine di altri lavoratori. Come è facile immaginare, la riduzione del bisogno di manodopera nella produzione tessile ha portato ad un'agitazione popolare. I lavoratori disoccupati protestarono contro il nuovo sistema di produzione e in alcuni casi attaccarono le fabbriche sabotando o distruggendo le macchine. Il governo dell'epoca reagì dichiarando "rompere le macchine" un crimine punibile con la pena capitale. Coloro che si continuarono ad opporsi passarono alla storia con il nome di Luddisti, dal loro leader Ned Ludd. Analizzando il contesto a distanza di anni, la preoccupazione riguardo la disoccupazione causata dalla tecnologia trova fondamento solo nel breve termine. Infatti, nel lungo termine, l'aumento la disoccupazione previsto non si è mai materializzato. Una visione del mercato del lavoro intuitiva ma profondamente sbagliata del mercato, è pensare che esista una quota fissa di lavoro che può essere svolto sia da umani che da macchine. In accordo con questa visione, un aumento dell'uso dei macchinari nel processo produttivo necessariamente riduce il lavoro disponibile all'essere umano. Questo pensiero è fallace in quanto non riesce a riconoscere i due canali tramite cui è possibile creare nuovi posti di lavoro anche dalle nuove tecnologie. In primo luogo, le nuove tecnologie sono spesso associate all'emergere di nuovi settori e occupazioni. Infatti, relativamente all'esempio sopra citato, lo sviluppo della macchina tessile e dei telai elettrici ha guidato alla creazione di molti posti di lavoro nel nuovo settore della produzione di macchine. In secondo luogo, la produzione di massa nel settore tessile ha portato ad una riduzione del prezzo dei vestiti. Questo declino del prezzo ha permesso ai consumatori di comprare più vestiti con lo stesso ammontare di soldi, o di comprare lo

stesso ammontare di vestiti ad un costo più basso aumentando così la spesa per altri beni e servizi. Come ulteriore conseguenza, l'aumento della domanda di vestiti e di altri *output* ha guidato ad una maggiore produzione e all'aumentare dell'occupazione in altri settori dell'economia (in particolare in quelli non direttamente esposti alle tecnologie *labor-saving*).

In conclusione, questo esempio mostra come, nel lungo periodo, il cambiamento tecnologico non elimini totalmente l'occupazione ma piuttosto tenda a cambiarne fortemente la composizione. Infatti, ignorando l'emergere di nuove opportunità di lavoro in presenza di cambiamenti tecnologici, molti sono caduti vittima del "*luddite fallacy*", ovvero l'errore commesso da chi affronta l'argomento della disoccupazione tecnologica senza tenere conto degli effetti di compensazione prevedendo, erroneamente, una disoccupazione di lunga durata.

3.3.2. *L'Intelligenza Artificiale crea nuove professioni*

Come è stato discusso nel paragrafo precedente attraverso l'esempio della distruzione del telaio automatico nel 1811 da parte di Ned Ludd e dei suoi seguaci (i Luddisti), i lavoratori si sono sempre preoccupati che l'automazione possa mettere a rischio il proprio lavoro. Gli economisti hanno rassicurato i lavoratori che sarebbero stati creati nuovi lavori anche nel caso in cui un vecchio lavoro fosse eliminato. Tuttavia, questo fatto empirico non ha una legge economica come fondamento che dimostri come tale processo avvenga periodicamente.

Facendo un salto indietro nel tempo, l'economista britannico David Ricardo, ha sviluppato un modello astratto che mostra la possibilità di una disoccupazione tecnologica. Alla base di questo modello vi è il fatto che, ad un certo punto, a seguito di uno sviluppo tecnologico che porti le macchine a sostituire il lavoro umano, lo stipendio di equilibrio dei lavoratori potrebbe scendere così tanto da finire sotto il livello necessario per la sussistenza. Quindi, un essere umano razionale non troverebbe il motivo di iniziare a lavorare, e i lavoratori sarebbero incentivati ad accettare la disoccupazione lasciando le macchine a spartirsi la quota restante del lavoro. Perciò, è vero che le tecnologie di IA permetterebbero di sviluppare tecniche di lavorazione *smart* ma non approcciarsi con esse alla giusta maniera rischia di vanificarne i vantaggi. Quindi, è di elevata importanza

comprendere a fondo l'utilizzo dell'IA, in particolare capire come questi nuovi sistemi aggiungerebbero valore all'attività e agli *output* di un'impresa.

Attraverso uno studio del Pew Research Center, è stato chiesto a 1.896 esperti quale potrebbe essere secondo loro l'impatto delle tecnologie emergenti sui posti lavoro. Come risultato, metà di questi esperti (precisamente il 48%) immagina un futuro in cui robot e agenti digitali sostituiscono gran parte della forza lavoro attuale. Questi timori sono stati ripresi nuovamente in successive analisi che mostrano come l'automazione sia in grado di sostituire dal 14% al 54% dei posti di lavoro. Ad esempio, un'analisi di Bruegel ha rilevato che il 54% dei posti di lavoro nell'Unione Europea sono a rischio. Nel frattempo, due ricercatori dell'Università di Oxford Carl, Frey e Michael Osborne, hanno studiato 702 gruppi di lavoro e hanno scoperto che il 47% dei lavoratori statunitensi ha un'alta probabilità di vedere automatizzarsi il proprio lavoro nei prossimi 20 anni. Inoltre, secondo i dati del World Economic Forum "l'effetto sarà la creazione di 2 nuovi milioni di posti di lavoro e la sparizione di altri 7 milioni, con un saldo netto negativo di oltre 5 milioni di posti di lavoro. A livello di gruppi professionali le perdite si concentrerebbero nelle aree amministrative e della produzione: rispettivamente 4,8 e 1,6 milioni di posti distrutti". Tuttavia, nonostante questo bilancio drammatico, sempre secondo la stessa ricerca, tali perdite saranno compensate parzialmente dall'area finanziaria, dal management, dall'informatica e dall'ingegneria.

È quindi abbastanza chiaro che la sola idea di introdurre l'IA nei posti lavoro genera notevoli preoccupazioni se si fa affidamento solo su questi numeri. Tuttavia, è bene considerare anche le diverse opportunità che si mostrerebbero a seguito di questa ondata di innovazioni. Infatti, l'IA non porterebbe soltanto distruzione ma mostrerebbe nuovi orizzonti ancora da esplorare come la necessità di creare nuovi corsi che facilitino lo sviluppo delle nuove abilità necessarie ad interagire con le nuove tecnologie. Infatti, da quando l'automazione ha messo piede nell'ambiente lavorativo, si sta viaggiando verso un mutamento delle abilità richieste: si pensa che nel 2020 la *skill* più ricercata sarà il *problem solving* accompagnata da un pensiero critico e dalla creatività; senza tralasciare le capacità tecniche fondamentali per utilizzare i nuovi strumenti messi a disposizione. Perciò, come si può intuire, inserire l'IA nelle attività aziendali potrebbe comportare la necessità di svolgere alcuni *learning* che permettano ai dipendenti di sviluppare le conoscenze e le competenze necessarie per un corretto utilizzo di questi moderni

strumenti. In merito a questo punto, ci sono notizie positive per le organizzazioni che intendono approcciarsi a questo nuovo mondo. Prima di tutto, le abilità necessarie allo sfruttamento dell'IA si stanno diffondendo velocemente. Infatti, anche se non ci sono abbastanza *data scientist* e esperti di *ML* in circolazione, la richiesta di quest'ultime risorse viene soddisfatta da corsi educativi online (o *e-learning*) e dalle università impegnate su questo nuovo fronte. Tra le migliori organizzazioni impegnate in tale formazione, si possono trovare Udacity, Coursera, e fast.ai, che oltre che insegnare i semplici concetti introduttivi, si impegnano nello sviluppo di studenti *smart* e motivati, facendo della creazione di competenze in *ML* la loro *mission* principale. Inoltre, sempre con lo scopo di munirsi di risorse competenti, le aziende interessate possono utilizzare piattaforme online per lo *scouting* di nuovi talenti e / o esperti in *ML*. È quindi interesse delle imprese fare in modo che la nascita di questi nuovi strumenti e il loro continuo sviluppo si incontrino con un aumento del numero dei soggetti che siano in grado di interagirci così da generare *output* sempre migliori e in maniera più efficiente.

Questo complicato momento storico perciò potrebbe finire per avere un impatto positivo sulla produttività a favore del reddito. Si pensa che in futuro il salario sarà legato alla capacità di interagire e lavorare in simbiosi con le macchine. L'IA, del resto, amplifica le capacità cognitive umane portando persone e macchine a necessitare l'una dell'altra creando un contesto in cui l'integrazione tra uomo e macchina sarà alla base dell'attività produttiva di un'azienda. Perciò, passare a tecniche di lavorazione intelligente impone anche investire nel personale. Una parte dovrà necessariamente essere riqualficata, in modo tale che sappia muoversi nella *smart factory*. In aggiunta, è importante anche che le aziende valutino la possibilità di assumere nuove figure, appositamente pensate per guidare il cambiamento aziendale e per gestire i nuovi metodi lavorativi.

Come conseguenza, questo meccanismo porta all'instaurarsi di un circolo virtuoso dove, aumentando la domanda di nuove figure professionali, tende a crescere anche il bisogno di corsi di formazione sempre più aggiornati. Tutto questo porterà a sua volta alla creazione di attività lavorative nuove e perciò di figure professionali che oggi ancora non esistono. Infatti, aumenterà la valorizzazione delle professioni digitali e si stima che la domanda di talenti digitali crescerà a dismisura, aumentando in maniera esponenziale entro i prossimi anni. Si può dedurre da tutto questo, che l'introduzione dell'IA non

porterà ad un'economia stagnante ma, in maniera opposta, farà avviare un processo dinamico in cui l'aumento della domanda stimolerà l'offerta così da generare, almeno per un determinato periodo, nuove opportunità.

3.3.3. *Innovazione e premio salariale*

Si analizzi ora la relazione che potrebbe esserci tra IA, le abilità dei lavoratori e il loro premio salariale. I ricercatori hanno osservato che la differenza di salario tra i lavoratori laureati e quelli con livello di istruzione inferiore è aumentata notevolmente durante il precedente decennio. Una delle ipotesi principali per spiegare l'aumento di questa disuguaglianza è la teoria dello “*Skill-Biased Technological Change*” (SBTC). Secondo quest'ultimo punto di vista, le macchine e l'IA applicata ad esse aumenterebbe la produttività di tutti i lavoratori, ma i guadagni di produttività sono maggiori per i lavoratori che sono più istruiti (*high-skilled*). Il crescente vantaggio in termini di produttività generato dai lavoratori istruiti aumenta la domanda delle imprese per questo tipo di lavoratori. L'aumento della domanda coincide con una rapida crescita dell'offerta dei lavoratori più abili, così il livello di educazione medio aumenta drasticamente in tutte le regioni del mondo. Finché la crescita della domanda dei lavoratori *high-skilled* sarà maggiore della crescita dell'offerta, quest'eccesso porterà ad un aumento degli stipendi di questo tipo di lavoratori e così ad una disuguaglianza di stipendi nel mercato del lavoro. Attraverso la teoria *SBTC*, l'IA è vista come la continuazione di una lunga sequenza di innovazioni tecnologiche che hanno favorito maggiormente i lavoratori con una più alta educazione.

Secondo uno studio condotto da Aghion, Bergeaud, Blundell e Griffith c'è una relazione tra l'innovazione e il reddito medio salariale tra le imprese. Osservando la figura 17, notiamo che più la spesa di un'impresa in *R&D* è elevata più sono alti gli stipendi dei dipendenti di tali imprese. Queste imprese impiegano una maggiore frazione di lavoratori con *high-skill* rispetto alle imprese che investono meno in *R&D*. Questo ci porta ad osservare che le imprese più innovative (con maggiori investimenti in *R&D*) tendono ad esternalizzare le attività che richiedono abilità minori. Osservando invece la figura 18, risulta che più gli investimenti in *R&D* sono alti e più i rispettivi lavoratori hanno uno stipendio medio maggiore. Inoltre, i lavoratori *low-skilled* beneficiano maggiormente (rispetto ai lavoratori *high-skilled*) dal lavorare in un'impresa che investe in *R&D*, in

quanto questi ultimi hanno uno stipendio di poco più alto rispetto a quelli (dello stesso tipo) che lavorano in imprese meno innovative.

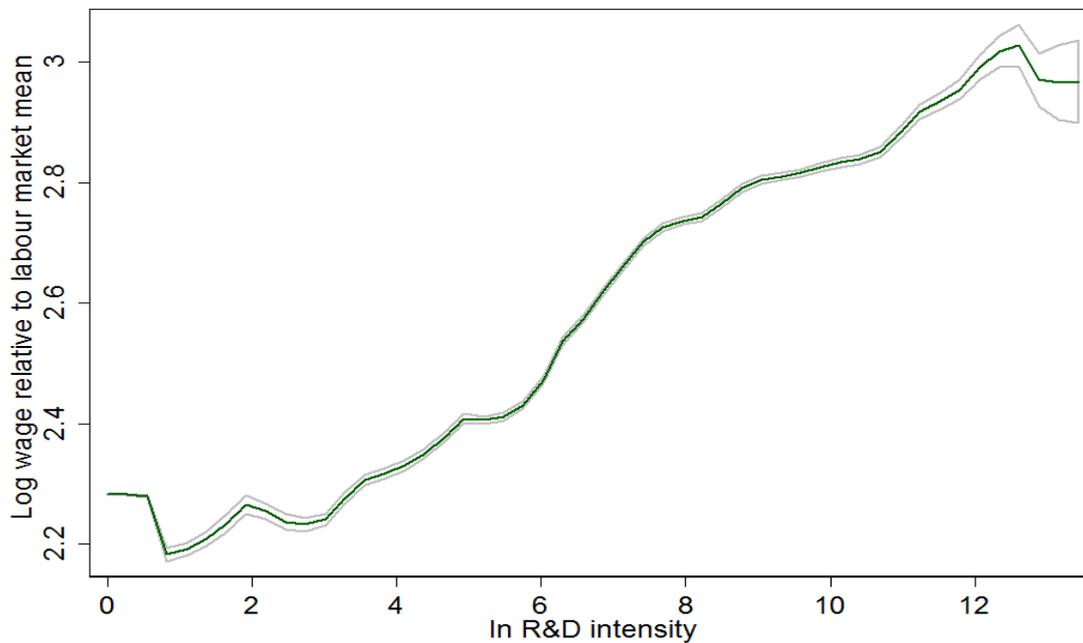


Figura 17: Logaritmo del salario orario e intensità della spesa in *R&D*
(fonte Aghion, Bergeaud, Blundell e Griffith)

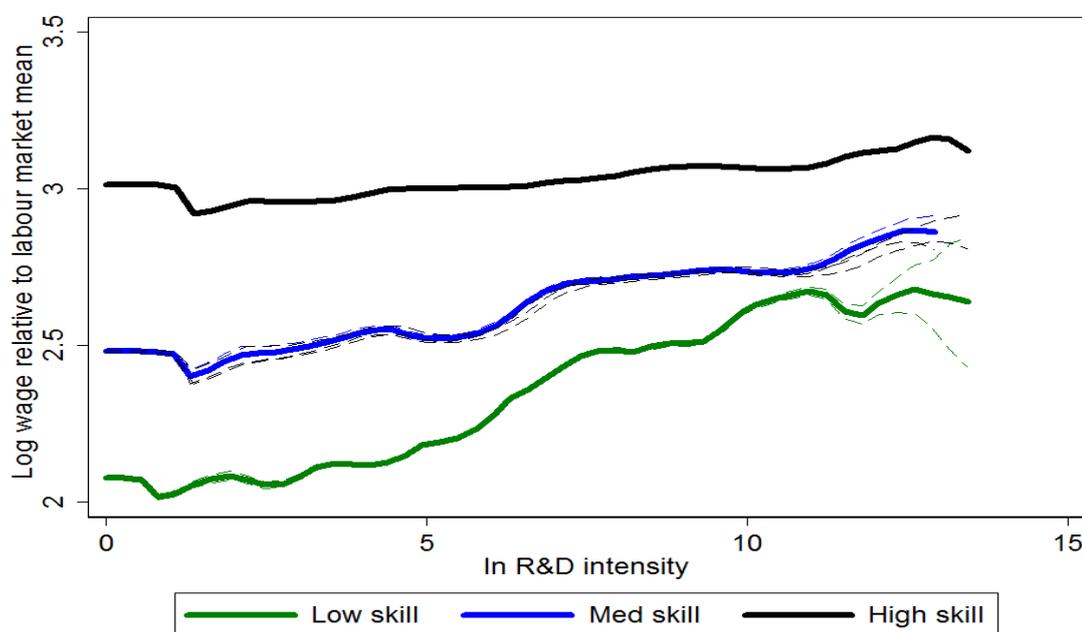


Figura 18: Logaritmo dello stipendio orario dei lavoratori con diverse abilità e intensità della spesa in *R&D*
(fonte Aghion, Bergeaud, Blundell e Griffith)

3.3.4. *Lavoratori high-skilled vs. low-skilled*

La ricerca condotta da Aghion, Bergeaud, Blundell e Griffith ha condotto al raggiungimento di un altro risultato importante, ovvero all'impatto che l'IA avrebbe sull'organizzazione delle imprese. Infatti, l'esito della loro ricerca mostra come le imprese che innovano maggiormente abbiano un grado di complementarità più alto tra i lavoratori *low-skilled* e gli altri fattori di produzione (capitale e lavoro *high-skilled*). Con i loro studi, i ricercatori vogliono notare come l'IA impatti sulla forma organizzativa delle imprese e in particolare sulla complementarità e sostituibilità tra i lavoratori con differenti livelli di abilità. Per spiegare meglio questo concetto, si provi ad immaginare come vengono risolti i problemi all'interno di un'azienda: lavoratori *low-skilled* riescono a risolvere da soli i problemi più semplici mentre quelli più difficili vengono inviati a monte ai lavoratori *high-skilled*. In particolare, in un'azienda innovativa, sono presenti molti più problemi ardui da risolvere e questo fa aumentare il valore del tempo degli impiegati *high-skilled*. Questo a sua volta, rende ancora più importante assumere impiegati *low-skilled* a valle ma con grandi capacità di risolvere i problemi così da evitare che questi vengano passati a monte, lasciando più spazio ai lavoratori *high-skilled* per risolvere i loro problemi. Questa grande complementarità tra i lavoratori non abili e gli altri fattori di produzione nelle imprese più innovative ha portato ad aumentare il loro potere contrattuale. Inoltre, alcuni recenti studi empirici hanno mostrato che la rivoluzione digitale ha guidato le imprese ad eliminare lo strato medio dell'organizzazione gerarchica guidando le imprese verso organizzazioni sempre più *flat*. Con il miglioramento dell'IA e delle tecnologie *AI-based* questo andamento dovrebbe continuare a rinforzarsi.

Un altro aspetto interessante da considerare è come varierà lo *span of control* dei dirigenti dell'impresa. In particolare, grazie all'IA e al conseguente miglioramento del monitoraggio dei delegati, l'attività di delega sarà più semplice e meno costosa. Questo lascia facilmente immaginare che grazie all'IA le imprese tenderanno ad avere strutture più piatte e integrate orizzontalmente con un'espansione dell'attività dell'impresa a prodotti, processi e *know-how* affini alla filiera tecnologico-produttiva già esistente.

3.3.5. *Aumento della produttività del lavoro ma meno posti disponibili*

Nonostante i cambiamenti che questa tecnologia apporterebbe ai lavoratori, una ricerca condotta dalla società di consulenza strategica Bain & Company, mostra come, entro il 2030, l'automazione potrebbe incrementare la produttività del lavoro in media del 30% in più rispetto al 2015. Tuttavia, dalla figura 19 è possibile osservare che quest'aumento della produttività varia di settore in settore, andando da un aumento relativamente modesto del settore sanitario ad un incremento notevole del settore manifatturiero, del *retail* e dei trasporti. L'impatto di questo cambiamento sul tasso di crescita annuale dipende da quanto velocemente quest'ultimo avviene. Infatti, la crescita della produttività varia da un minimo di 0,6% per anno ad un massimo di 4,5%, con una media del 2 o 3% annuo.

Nonostante questo aumento della produttività sia tendenzialmente positivo, in quanto consente alle aziende e ai settori di produrre di più impiegando meno risorse, esso ha anche un lato negativo. Infatti, un aumento della produttività di questo tipo può causare notevoli danni all'occupazione. Quindi, la società Bain, al fine di analizzare la portata potenziale delle perdite relative ai posti di lavoro nel settore dei servizi degli Stati Uniti, ha lavorato su una ricerca condotta dall'Università di Oxford che esamina le attività lavorative misurate secondo uno specifico parametro: facilmente automatizzabili e non facilmente automatizzabili. Comunque, nonostante tali stime siano relative agli USA, è alquanto probabile che i risultati siano validi nella maggior parte delle economie avanzate e in fase di sviluppo. I risultati di questa ricerca mostrano che l'automazione potrebbe eliminare fino al 50% di tutti i lavori attuali. Per arrivare a una stima veritiera del probabile impatto dell'automazione, è stato esaminato il contesto di mercato entro cui tale fenomeno potrebbe verificarsi, considerando quattro fattori principali: la scarsità di posti di lavoro; l'impatto dell'automazione sul costo complessivo di un prodotto o servizio; se le società avrebbero potuto ridistribuire i risparmi sui costi in profitti più alti, salari più alti o prezzi più bassi; e infine, l'impatto di prezzi e costi minori sulla crescita della domanda. Utilizzando questi quattro fattori, hanno segmentato l'intera forza lavoro statunitense in categorie distinte. In tutto, hanno esaminato oltre 16.000 combinazioni di compagnie e posti di lavoro. Hanno utilizzato un campione bilanciato di oltre 130 singole categorie industriali e di lavoro in dettagliati casi studio che vanno dagli assistenti di assistenza infermieristica e assistenti di volo ai sottoscrittori assicurativi ai *management*

analyst. Questo metodo ha permesso di calibrare le loro scoperte sulla base del livello di automazione possibile e probabile dato il progresso tecnologico nel prossimo decennio.

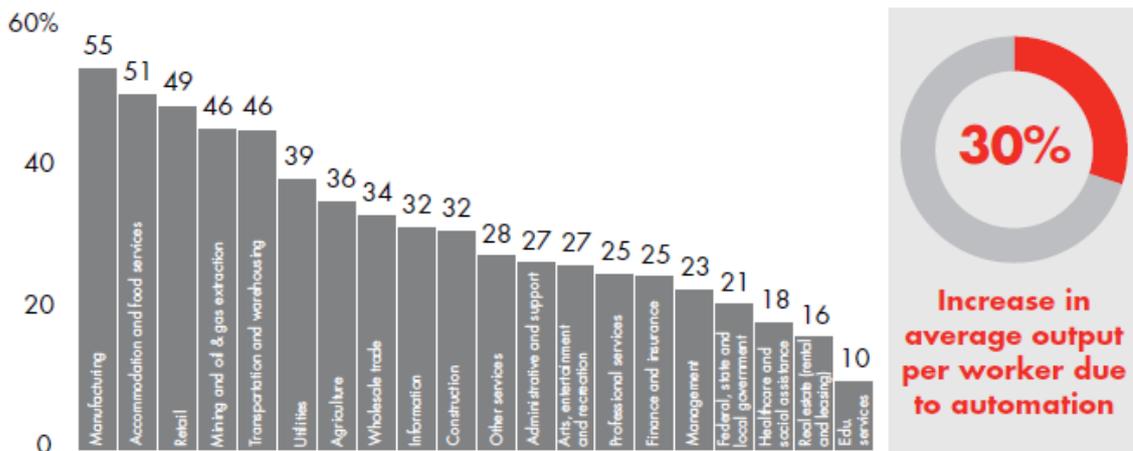


Figura 19: Aumento della produttività nei vari settori dal 2015 al 2030 (fonte Bain & Company)

Sempre secondo le ricerche condotte dalla società Bain & Company, entro il 2030, i datori di lavoro avranno bisogno di un minor numero di lavoratori, in particolare tra il 20% e il 25%, equivalenti a 30 milioni e 40 milioni di posti di lavoro negli Stati Uniti (vedi figura 20). Le tecnologie *AI-based* influenzeranno in modo diverso ogni settore e professione. In alcuni casi, i costi inferiori derivanti dall'automazione combinati con l'elevata domanda di beni o servizi potrebbero aumentare i posti di lavoro in un dato settore. Molti settori saranno in grado di ridurre i costi operativi del 10% o più, incluse alcune delle più grande società operanti nel settore dei servizi come il commercio al dettaglio e la ristorazione.

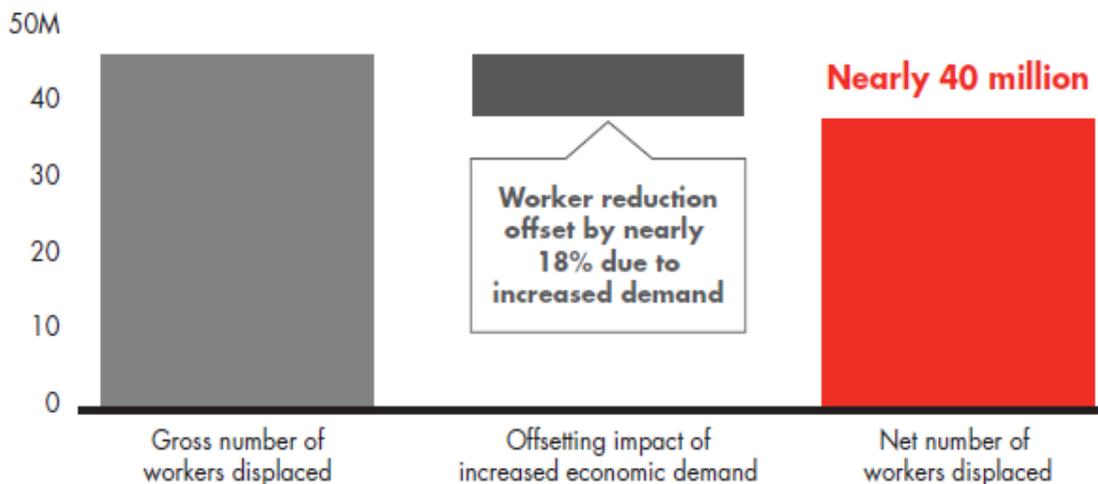


Figura 20: Posti di lavoro eliminati negli USA dall'automazione nel 2030 (fonte Bain & Company)

3.4. L'impatto sulla privacy

Come è ormai noto, l'impiego dell'IA permette il censimento, la raccolta e l'elaborazione di dati in quantità e per finalità non confrontabili con il passato. Al giorno d'oggi, attraverso le tecnologie usate quotidianamente da tutti, si forniscono un'infinità di informazioni che permettono alle aziende che li raccolgono di profilare gli individui. A tal proposito, si stima che circa il 90% dei dati oggi in circolazione siano stati prodotti soltanto nel corso degli ultimi due anni e che, durante il prossimo decennio, ci sarà un incremento dei mega-dati di circa il 40%.

All'interno di questo contesto, l'IA facilita il compito alle imprese in quanto permette a quest'ultime di processare in modo dinamico queste informazioni e correlarle tra loro così da descrivere dettagliatamente i gusti e gli interessi di ogni individuo. Essendo la natura di questi dati molto personale, l'impiego dell'IA nelle attività delle imprese solleva questioni delicate per quanto concerne la tutela della privacy.

Grazie ai *big data*, l'IA ha stimolato innovazioni entusiasmanti ma allo stesso tempo, ridisegnato il concetto di rischio nella privacy dei consumatori e nella sicurezza dei loro dati.

3.4.1. Natura del problema

All'inizio degli anni '80, gli economisti erano soliti pensare alla privacy dei consumatori come un'asimmetria informativa all'interno di una transazione. Infatti, i consumatori tendono a nascondere la propria disponibilità a pagare proprio come le imprese vogliono nascondere il loro reale costo marginale. L'economia delle informazioni suggerisce che sia gli acquirenti che i venditori hanno un incentivo a nascondere o rivelare informazioni private, e questi incentivi sono cruciali per l'efficienza del mercato. Nel contesto di una singola transazione, meno privacy non è necessariamente negativa per l'efficienza economica. Infatti, una tecnologia che, grazie ai *big data*, è in grado di rivelare il tipo di consumatore potrebbe portare ad una migliore corrispondenza tra prodotto e tipo di consumatore. Inoltre, aiuterebbe anche gli acquirenti a valutare la qualità del prodotto incoraggiando le imprese a migliorare la qualità della produzione

Al fine di analizzare al meglio le possibili implicazioni dell'IA sulla privacy degli individui, la ricercatrice Ginger Zhe Jin ha elaborato alcune considerazioni che vanno ad arricchire la letteratura già esistente. In particolare, lei fa notare che stanno sorgendo

nuove preoccupazioni in quanto i progressi tecnologici, che hanno consentito un declino radicale dei costi di raccolta, memorizzazione, elaborazione e utilizzo dei dati in quantità massicce, estendono l'asimmetria informativa ben oltre una singola transazione. Questi progressi sono spesso riassunti dai termini "*big data*" e "IA". Gli algoritmi IA più diffusi prendono i *big data* come *input* per comprendere, prevedere e influenzare il comportamento dei consumatori. L'IA moderna, utilizzata dalle aziende, potrebbe migliorare l'efficienza della gestione, motivare le innovazioni e far corrispondere meglio domanda e offerta. Ma l'IA nelle mani sbagliate faciliterebbe il verificarsi di frodi e inganni.

Poiché i dati possono essere archiviati, scambiati e utilizzati anche molto tempo dopo la transazione, è probabile che l'utilizzo futuro di questi dati aumenti con l'avvento di una tecnologia di elaborazione dei dati come l'IA. Ancora più importante, l'utilizzo futuro dei dati è ignoto ad entrambi i lati della transazione. Infatti, quando l'acquirente decide di fornire i dati personali per una transazione, il venditore potrebbe essere riluttante a limitarne l'utilizzo ad uno scopo particolare o ad un particolare orizzonte temporale. Questo perché anche se non prevede di utilizzare la stessa tecnologia dati, può sempre vendere i dati ad altri soggetti. Nascono così dei veri e propri mercati di dati che motivano il venditore a raccogliere tutte le informazioni che i consumatori sono disposti a dare.

Informazioni incomplete sull'uso futuro dei dati non sono l'unico problema in agguato nell'interazione tra IA e privacy dei consumatori. Ci sono almeno altri due problemi relativi all'incertezza sull'uso e sul valore dei dati futuri: uno è l'esternalità e l'altro è l'impegno. Per essere chiari, l'utilizzo futuro dei dati può essere vantaggioso o dannoso per i consumatori, pertanto i consumatori razionali potrebbero preferire la condivisione dei dati personali in una certa misura. Tuttavia, i benefici derivanti dall'utilizzo futuro dei dati, ad esempio una migliore classificazione dei consumatori, una migliore previsione della domanda o una migliore progettazione del prodotto, sono solitamente ricevuti solo da coloro che raccolgono le informazioni tramite l'utilizzo di dati interni o attraverso la vendita di dati a terze parti. Al contrario, i danni derivanti da un futuro abuso (furto d'identità, ricatto o frode) spesso sono relativi ai consumatori piuttosto che ai collezionisti di tali dati. Ciò è in parte dovuto al fatto che il consumatore vittima potrebbe aver condiviso le stesse informazioni con centinaia di venditori perdendo il controllo sulla gestione dell'informazione. Perciò, l'asimmetria tra benefici e danni

equivale a esternalità negativa dai venditori agli acquirenti. Se non c'è modo di risalire all'origine, i venditori hanno un incentivo a sovra-raccogliere le informazioni dell'acquirente.

Questa difficoltà nell'associare i danni ad un responsabile, insieme all'incertezza sull'uso futuro e l'asimmetria informativa, innesca anche un problema di impegno. Supponendo che i consumatori si preoccupino dell'uso dei dati, ogni venditore ha l'incentivo a vantarsi di avere la politica dei dati più *consumer-friendly*, ma tiene conto anche dell'opzione di rimangiarsi la parola una volta raccolti i dati. Infatti, è spesso difficile scoprire come in realtà siano trattati questi dati.

In breve, l'asimmetria informativa, l'esternalità e le preoccupazioni sull'impegno sono i tre nuovi problemi introdotti dall'IA in campo privacy. Più specificamente, aumentando la portata dell'uso dei dati dei consumatori, l'IA potrebbe aumentare i benefici attesi e i costi dei *big data*. Ma poiché i benefici sono per la maggior parte assorbiti dal proprietario dei dati, l'IA potrebbe incoraggiare un uso scorretto dei dati, nonostante i rischi maggiori per i consumatori. Per lo stesso motivo, i nuovi vantaggi offerti dall'IA potrebbero convincere le aziende ad abbandonare (segretamente) la promessa fatta in materia di privacy o sicurezza dei dati.

3.4.2. *Rischio sulla privacy dei consumatori e sulla sicurezza dei dati*

Sempre secondo la ricercatrice Ginger Zhe Jin, il rischio associato alla privacy e alla sicurezza dei dati è reale e, se guidato dai dati, può essere direttamente o indirettamente correlato all'IA. Ad esempio, poiché l'IA aumenta il valore atteso dei dati, le aziende sono incoraggiate a raccogliere, archiviare e accumulare dati, indipendentemente dal fatto che utilizzeranno l'IA o no.

Il danno più concreto che potrebbe derivare da una violazione dei dati è il furto di identità. Secondo il Bureau of Justice Statistics (BJS), il furto di identità colpisce 17,6 milioni (7%) di tutti gli abitanti degli Stati Uniti di età superiore ai 16 anni. Naturalmente, non tutti i furti di identità sono guidati da un'inadeguata protezione della privacy o da una scarsa sicurezza dei dati. Infatti, i truffatori praticavano molto prima che esistessero i *big data* e l'IA. Tuttavia, il furto d'identità è probabilmente correlato con l'uso scorretto dei dati. Come riportato da BJS, l'86% delle vittime del furto d'identità ha fatto uso

fraudolento di informazioni sugli account e il 64% ha riportato una perdita finanziaria a seguito dell'incidente.

È possibile sostenere che l'ondata di violazioni dei dati che sta avvenendo sia determinata principalmente dalla disponibilità dei dati piuttosto che dalla tecnologia di elaborazione impiegata. Tuttavia, secondo la ricercatrice Ginger Zhe Jin, questo potrebbe essere vero al momento, ma le tendenze recenti suggeriscono che i criminali stanno diventando sempre più sofisticati e pronti a sfruttare le tecnologie IA di elaborazione dati. Sembra che non passerà molto tempo prima che questi algoritmi IA vengano sfruttati per stalking, ricatti e altri usi oscuri. Infatti, secondo Vines, è possibile spendere fino a 1.000 \$ per monitorare la posizione di qualcuno attraverso gli annunci *mobile*. Ciò è possibile sfruttando gli algoritmi di tracciamento e di *targeting* degli annunci ampiamente utilizzati nelle applicazioni *mobile*. Purtroppo, non è possibile sapere se questo trucco sia stato già implementato nel mondo reale, ma mostra due realtà agghiaccianti. Innanzitutto, i dati personali non sono disponibili solo per le grandi aziende che possono utilizzare l'IA per marketing di massa, ma è anche alla portata di piccole parti che possono sfruttare tali dati per il *targeting* personalizzato del consumatore. In secondo luogo, questi attori potrebbero essere in grado di usare l'IA al fine di sfruttare i benefici generati da queste tecnologie per scopi illegittimi.

Questi timori hanno scatenato preoccupazioni anche sulla discriminazione di prezzo. Infatti, come fa notare la ricercatrice Ginger Zhe Jin, se l'IA consente a un'impresa di prevedere la disponibilità a pagare di un consumatore, quest'informazione potrebbe essere impiegata per assorbire ogni centesimo di *surplus* del consumatore. Questa argomentazione è teoricamente plausibile, tuttavia è bene che sia valutata tenendo conto di almeno tre punti. In primo luogo, se più di una società è in grado di utilizzare l'IA per individuare la disponibilità a pagare del consumatore, la concorrenza tra queste potrebbe far diminuire la preoccupazione riguardo una possibile discriminazione di prezzo di primo grado. In secondo luogo, la letteratura ha da tempo dimostrato l'ambiguo effetto sul benessere della discriminazione di prezzo. Finché la discriminazione dei prezzi è imperfetta (vale a dire che le aziende non possono far pagare a ciascun consumatore un prezzo uguale al livello massimo che egli è disposto a pagare), alcuni consumatori potrebbero trarne beneficio della pratica (tramite un prezzo inferiore) e altri potrebbero soffrirne. Terzo, nel lungo periodo, l'IA potrebbe ridurre i costi operativi all'interno

dell'azienda e promuovere innovazioni di prodotto che soddisfino meglio la domanda dei consumatori. Questi cambiamenti potrebbero essere vantaggiosi sia per l'azienda che per i suoi consumatori.

3.4.3. *Sfide future*

A seguito di quanto enunciato finora, la ricercatrice Ginger Zhe Jin pone alcuni interrogativi interessanti: si deve continuare a far evolvere il mercato secondo le leggi attuali o è necessario aggiornare la regolamentazione? In che modo le aziende scelgono le tecnologie per elaborare i dati? Come bilanciare le innovazioni *AI-based* ai fini di mitigare il rischio in termini di *privacy* e *data protection* derivante da queste nuove tecnologie? Queste domande meritano attenzione da parte dei ricercatori di diverse discipline, tra cui economia, informatica, scienze dell'informazione, statistica, marketing e diritto.

La preoccupazione principale è che le imprese non siano pienamente consapevoli del rischio generato per la *privacy* e la sicurezza dei dati. Quindi, per ripristinare la piena responsabilità, è necessario superare diversi ostacoli, tra cui vi è:

- la difficoltà di osservare come questi dati sono raccolti, archiviati e impiegati;
- la difficoltà di quantificare le conseguenze sulla *privacy* e sulla protezione dei dati, specialmente prima che gli eventi avversi si realizzino;
- la difficoltà di tracciare un nesso causale tra l'impiego dei dati di un'impresa e le sue conseguenze.

Quindi, queste difficoltà esistono, non solo a causa di limiti tecnici, ma anche a causa di incentivi disallineati. Ci potrebbero essere diversi modi per affrontare questo disallineamento degli incentivi, tra cui una nuova legislazione, autoregolamentazione del settore, sentenze del tribunale e tutela dei consumatori. Al riguardo, la disciplina comunitaria ha potuto beneficiare di un'innovazione grazie alla stesura del nuovo Regolamento per la Protezione dei Dati Personali (*General Data Protection Regulation* o *GDPR*). Quest'ultimo, pur non contenendo alcun riferimento esplicito all'IA, definisce alcuni principi e regole applicabili ai nuovi sistemi tecnologici usati dalle imprese per il trattamento dei dati personali. Infatti, compare nel Regolamento un principio fondamentale da questo punto di vista, ovvero il principio che tutela il soggetto del trattamento dei dati dalle decisioni automatizzate. In particolare, l'articolo 22 del

Regolamento per la Protezione dei Dati Personale afferma che “l'interessato ha il diritto di non essere sottoposto a una decisione basata unicamente sul trattamento automatizzato, compresa la profilazione, che produca effetti giuridici che lo riguardano o che incida in modo analogo significativamente sulla sua persona”. Inoltre, l'impiego dell'IA nel trattamento dei dati va regolato anche sotto il punto di vista della discriminazione. Infatti, è fondamentale che, un sistema basato sull'IA, durante l'analisi dei dati, non fornisca soluzioni basandosi su parametri potenzialmente discriminatori.

In conclusione, è possibile notare che l'IA può portare ad un aumento delle criticità legate al trattamento dei dati personali rendendo necessario adeguare a questo nuovo contesto gli strumenti di tutela esistenti. Apparentemente, nessun approccio è privo di sfide ma, dato l'enorme impatto che l'IA e i *big data* potrebbero avere sull'economia, è importante costruire l'ambiente di mercato giusto. Questo ambiente dovrebbe rispettare la privacy e la sicurezza dei dati dei consumatori, incoraggiare un uso responsabile dei dati e promuovere innovazioni favorevoli ai consumatori.

3.5. Implicazioni sulla distribuzione dei benefici e sulla disoccupazione

3.5.1. Progresso tecnologico e benessere

Nel 1930 Keynes scrisse un saggio sulle "*economic possibilities of our grandchildren*", in cui descriveva come le possibilità tecnologiche potrebbero tradursi in un aumento delle possibilità di utilità. Da questo saggio emerge la sua preoccupazione per la qualità della vita che sarebbe emersa in un mondo con troppo tempo libero. Ma ciò che è effettivamente accaduto negli ultimi anni ha portato alla luce il verificarsi di un'altra possibilità: l'innovazione nell'IA potrebbe generare una lobby ristretta di persone con maggiore accesso alla ricchezza prodotta, mentre la maggioranza dei lavoratori ordinari potrebbe trovarsi con stipendi molto ridotti.

Di seguito viene fornita la tassonomia descritta dai ricercatori Anton Korinek e Joseph E. Stiglitz nel proprio articolo. I due ricercatori hanno analizzato un contesto in cui l'arrivo di una nuova tecnologia IA minacci di sostituire parzialmente o completamente i lavoratori nell'esecuzione delle loro attività.

First-best

Al fine di analizzare il rapporto tra progresso tecnologico e benessere, si inizi considerando uno scenario di *first-best*, in cui si ipotizza che tutti i mercati siano perfetti e che le persone possano stipulare un'assicurazione contro l'avvento delle innovazioni "*behind the veil of ignorance*" (cioè prima di sapere se saranno lavoratori o imprenditori). Lo scopo principale di considerare questa impostazione "ideale" è dimostrare che da una prospettiva ex ante, ripagare i lavoratori per le perdite generate dal progresso tecnologico è una questione di efficienza economica e non di redistribuzione. Inoltre, se i servizi assicurativi fossero perfetti e accessibili a tutti gli agenti prima che conoscano il loro ruolo nell'economia, tutti gli agenti si assicurerebbero contro qualsiasi rischio che potrebbe influire in modo significativo sul loro benessere. Ad esempio, i lavoratori stipulerebbero un contratto assicurativo che li tuteli dal rischio di un calo dei salari. Questo porta alla seguente osservazione:

osservazione 1) Si consideri un mondo di *first-best* in cui tutti gli individui abbiano accesso a un mercato assicurativo perfetto prima di conoscere il loro ruolo nell'economia (lavoratore o innovatore). In tale contesto, qualora si presenti un'innovazione, i vincitori potrebbero compensare i perdenti attraverso una condivisione ottimale del rischio. Di conseguenza, il progresso tecnologico offrirebbe a tutti le migliori condizioni e sarebbe approvato e sostenuto da tutta la società.

Questa osservazione fa riferimento ad uno scenario ideale ma ciò che accadrebbe in uno scenario reale è molto differente. Infatti, se si immaginasse un contesto non ideale, potrebbe verificarsi che, anche dopo aver saputo di essere lavoratori, la maggior parte di quelli sostituiti dal progresso tecnologico non abbiano contratti assicurativi. Purtroppo, questa è la situazione che più si avvicina alla realtà quotidiana e ci sono buone ragioni per cui tali servizi assicurativi ideali non sono presenti nel mondo reale. Innanzitutto, i lavoratori dovrebbero stipulare l'assicurazione prima che le implicazioni dell'IA siano chiare così da avere un premio assicurativo associato basso. Infatti, ottenere oggi un'assicurazione che tuteli il lavoratore da un'eventuale riduzione del salario comporterebbe grandi somme da pagare a causa dell'elevata probabilità che l'IA riesca ad affermarsi. In secondo luogo, anche per periodi di tempo limitati, i mercati assicurativi

rispetto alle innovazioni tecnologiche non sono così perfetti. Tra i motivi principali vi sono:

- la difficoltà nell'immaginare e descrivere cosa accadrebbe in futuro a seguito di un'innovazione e scrivere un contratto assicurativo che tenga conto di tali informazioni. Affrontare questo problema richiederebbe la sottoscrizione da parte di un individuo di un contratto assicurativo che lo tuteli da qualsiasi evento tecnologico in grado di minacciare il proprio salario;
- la maledizione dell'asimmetria informativa che inibisce i mercati assicurativi portando a problemi di selezione avversa (ovvero una situazione in cui una variazione delle condizioni contrattuali provoca una selezione nella platea dei contraenti che risulta sfavorevole per la parte che ha modificato le condizioni a proprio vantaggio). Sebbene non vi sia alcun motivo per cui i lavoratori debbano essere più informati sui progressi dell'IA rispetto agli assicuratori, in un mercato ideale i vincitori dell'innovazione fornirebbero assicurazioni ai perdenti, e i vincitori (ad esempio gli imprenditori) sarebbero quasi sicuramente maggiormente informati rispetto ai perdenti (ad esempio i lavoratori);
- la possibilità che l'innovazione sia soggetta a problemi di *moral hazard*, ovvero la presenza di un'assicurazione può influire sulla probabilità che si verifichi l'evento assicurato. Anche in questo caso, nonostante sia improbabile che i lavoratori influiscano sul ritmo del processo innovativo nell'IA, le azioni degli imprenditori potrebbero essere influenzate. Se dovessero assicurare completamente tutti i loro guadagni dall'innovazione, non ci sarebbe l'incentivo minimo per esercitare lo sforzo. Tuttavia, in un mondo assicurativo perfetto, i vincitori assicurerebbero i perdenti e l'assicurazione totale non sarebbe necessaria garantendo così l'incentivo ad esercitare lo sforzo.

In conclusione, si può rispondere all'osservazione 1 notando che in assenza di mercati assicurativi perfetti "*behind the veil of ignorance*", c'è in generale bisogno di redistribuzione. Infatti, la possibilità che i lavoratori abbiano accesso ad alcune assicurazioni contro il rischio di IA, ma non ad un'assicurazione perfetta, non elimina la necessità di redistribuzioni. La redistribuzione è generalmente necessaria a meno che la vendita dell'assicurazione avvenga "*behind the veil of ignorance*". Infatti, nel momento stesso in cui si viene a conoscenza della nuova tecnologia IA, quest'ultima potrebbe

ancora avere conseguenze redistributive: i lavoratori per spogliarsi del rischio si troverebbero costretti a pagare un premio trovandosi così con un *welfare* inferiore a quello degli imprenditori.

Mercati perfetti ex post e assenza di costi di redistribuzione

Si analizzi ora lo scenario di *second best* caratterizzato dall'assenza dei mercati assicurativi perfetti sopracitati, ma in cui, ex post, tutti i mercati funzionano senza interferenze e possono esserci redistribuzioni senza costi. Questo porta alla seguente osservazione:

osservazione 2) Se la redistribuzione non fosse costosa e venisse effettuata opportunamente, il progresso tecnologico sarebbe sempre desiderato da tutti gli agenti. In tal caso, vi sarebbe unanimità politica nel sostenere il progresso tecnologico.

Se il mondo fosse *first-best* ex-post (ovvero i lavoratori hanno, dopo l'innovazione dell'IA, un'assicurazione contro il rischio generato dall'IA), allora la curva delle possibilità di utilità o frontiera di Pareto (ovvero l'insieme dei punti di una curva corrispondenti a livelli di utilità che assicurano allocazioni efficienti in senso paretiano) si sposterebbe. L'esempio fornito in figura 21 illustra una frontiera delle possibilità di utilità per due tipologie di agenti: lavoratori e imprenditori. In quest'esempio, il progresso tecnologico aumenta il livello di utilità massimo degli imprenditori per qualsiasi dato livello di utilità dei lavoratori. In altre parole, l'innovazione ha aumentato le possibilità di produzione, e con redistribuzioni forfettarie, un'espansione nelle possibilità di produzione implica automaticamente un'espansione delle possibilità di utilità (ovvero tutti potrebbero stare in situazioni migliori). Nonostante questo, il fatto che tutti potrebbero stare meglio non implica necessariamente che staranno meglio. Infatti, questo dipende dalle disposizioni istituzionali.

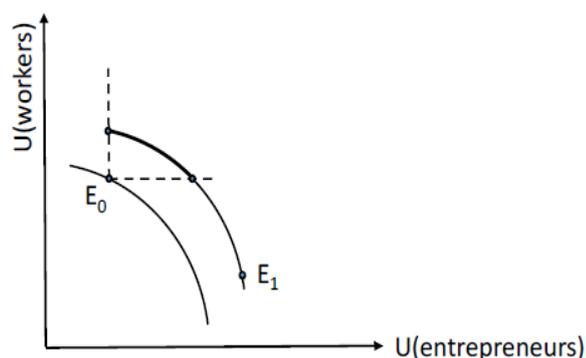


Figura 21: Frontiera di Pareto prima e dopo l'innovazione senza costi di redistribuzione
(fonte Anton Korinek e Joseph E. Stiglitz)

Relativamente alla figura 21, si denoti l'equilibrio iniziale con E_0 e l'equilibrio post-innovazione con E_1 . Detto questo, si nota come i lavoratori si trovino in una condizione peggiore rispetto agli imprenditori. Questo a sua volta ha due importanti implicazioni:

- innanzitutto, senza un'adeguata redistribuzione i lavoratori resisterebbero all'innovazione così come fecero i seguaci del Luddismo;
- in secondo luogo, in una democrazia in cui i lavoratori rappresentano la maggioranza, sarebbe logico che gli imprenditori sostengano la redistribuzione così da assicurarsi che i lavoratori non si trovino in condizioni peggiori e, di conseguenza, non contestino l'innovazione. Infatti, se venisse effettuata una redistribuzione appropriata, così che i frutti del progresso tecnologico siano condivisi tra tutti, il progresso tecnologico sarebbe sostenuto all'unanimità da tutti i soggetti.

Nella figura 21, è stata contrassegnata in grassetto la parte della frontiera di Pareto relativa alla post-innovazione che rappresenta un miglioramento di Pareto e si trova a nord-est di E_0 . Naturalmente, l'innovazione potrebbe non essere *labor-saving* (ovvero un'innovazione che consente di ridurre l'impiego di manodopera nei processi produttivi), e l'equilibrio di mercato E_1 potrebbe trovarsi a nord-est di E_0 . Sebbene questo caso sia più semplice, la distribuzione dei guadagni derivanti dall'innovazione potrebbe ancora essere controversa, specialmente nel caso in cui porti a forti disparità di reddito.

Mercati perfetti ma presenza di costi di redistribuzione

Esiste un ulteriore scenario in cui, mentre si sta tentando la redistribuzione, la nuova curva delle possibilità di utilità potrebbe trovarsi vicino all'equilibrio originale all'interno della vecchia frontiera delle possibilità di utilità. Questo porta alla seguente osservazione:

osservazione 3) Se il mondo fosse *first-best ex-post* (dopo l'innovazione), ma la redistribuzione fosse limitata o costosa, allora un miglioramento di Pareto potrebbe non essere possibile, e alcuni gruppi della società potrebbero opporsi al progresso tecnologico. Con una funzione di benessere sociale sufficientemente diseguale, il benessere sociale può essere ridotto.

La figura 22 descrive il caso in cui la frontiera delle possibilità di utilità è limitata dai costi imposti dalla redistribuzione. In particolare, si può notare che, a seguito di un'innovazione, la curva si sposta verso il basso. In tal caso, se si provasse ad effettuare una redistribuzione dagli innovatori ai lavoratori, si perderebbe così tanto lavoro che i lavoratori si troverebbero in una situazione peggiore.

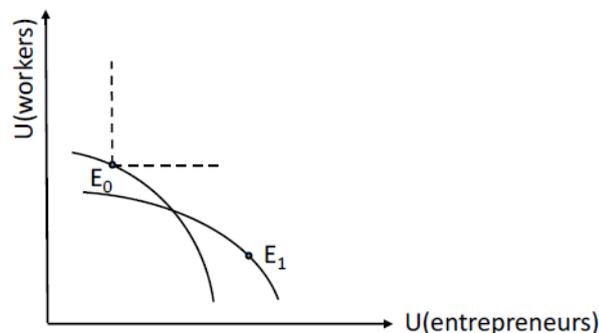


Figura 22: Frontiera di Pareto potenziale con costi di redistribuzione
(fonte Anton Korinek e Joseph E. Stiglitz)

Alcuni economisti sostengono che il caso descritto nella figura 22 sia quello più vicino alla realtà attuale. Quindi, in questo caso l'innovazione non va intesa come un miglioramento di Pareto ma come un cambiamento tecnologico che ha come effetto quello di migliorare la situazione di alcune persone e di peggiorare la situazione di altre. Il problema di questa funzione è l'assenza di un peso attribuito alla disuguaglianza che permetta di considerare diversamente un dollaro per i ricchi (gli imprenditori) e un dollaro

per i poveri (i lavoratori). Infatti, senza la presenza di un peso, i lavoratori perdenti si opporrebbero razionalmente all'innovazione e, se quest'ultimi rappresentassero la maggioranza, gli imprenditori, al fine di mantenere la loro posizione, si troverebbero obbligati ad effettuare una redistribuzione equa dei benefici. Questo è, naturalmente, un problema causato dal comportamento collettivo degli imprenditori in quanto, relativamente al singolo imprenditore, il suo contributo alla disuguaglianza economica è in genere limitato. Di conseguenza, gli imprenditori impiegano molto spesso i loro sforzi in azioni atte a migliorare ulteriormente il loro potere di mercato, abbassando i redditi reali dei lavoratori.

Tuttavia, è possibile che nel lungo periodo si instauri un meccanismo a cascata in cui le continue innovazioni farebbero aumentare la ricchezza degli imprenditori così tanto da far arrivare i benefici anche ai lavoratori. Quindi, secondo questa prospettiva, un miglioramento di Pareto è possibile nel lungo periodo (come mostra la figura 21) anche se un'intera generazione di lavoratori si trova a vivere in cattive condizioni nel breve / medio periodo. D'altro canto, una volta che le macchine diventino sufficientemente intelligenti, gli imprenditori potrebbero non avere più incentivi a finanziare l'innovazione, facendo diminuire il tenore di vita dei lavoratori. In particolare, in un sistema dominato dal denaro, gli imprenditori, sempre più ricchi, potrebbero usare la loro influenza economica e politica per resistere alla redistribuzione. Inoltre, anche se l'ipotesi dell'effetto "a cascata" nel lungo periodo fosse corretta, nel breve periodo potrebbero verificarsi tremende sofferenze e sconvolgimenti sociali.

Mercati imperfetti

Si consideri ora il quarto scenario illustrato di seguito:

osservazione 4) Se l'economia non fosse di *first-best* ex post, la frontiera delle possibilità di utilità potrebbe spostarsi verso l'interno a seguito di un ampliamento delle possibilità di produzione. Inoltre, questo potrebbe anche essere vero in assenza di costi di redistribuzione.

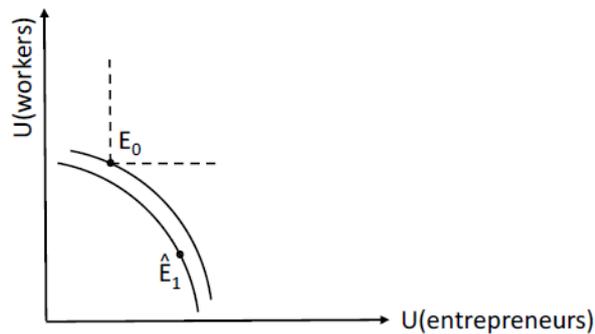


Figura 23: Frontiera di Pareto potenziale con mercati imperfetti
(fonte Anton Korinek e Joseph E. Stiglitz)

Quando si parla di un'economia che non è di *first-best*, si intende un'economia che mostra imperfezioni di mercato (problemi di informazione, rigidità di prezzo e salari, ecc.) che possono causare problemi alla domanda aggregata, monopoli e monopsonie, e così via. Generalmente, ciò significa che l'equilibrio di mercato non è Pareto efficiente. Questo caso è illustrato nella figura 23, dove l'equilibrio iniziale E_0 , a seguito dell'innovazione, si sposta verso il basso in E_1 . Quindi, è possibile osservare che, sotto queste condizioni, l'innovazione, che avrebbe potuto portare a una maggiore efficienza in assenza di imperfezioni di mercato, rende i lavoratori più disagiati.

3.5.2. *Progresso tecnologico e disuguaglianza*

Esistono due canali principali attraverso i quali il progresso tecnologico dell'IA potrebbe influire sulla distribuzione delle risorse e quindi sulla disuguaglianza: in primo luogo, attraverso il *surplus* guadagnato dagli imprenditori e, in secondo luogo, attraverso gli effetti sugli altri agenti presenti nell'economia.

Surplus guadagnato dagli imprenditori

La tecnologia IA è un bene non rivale, ma potrebbe essere escludibile. Ovvero:

- non rivale significa che le informazioni possono essere utilizzate senza essere esaurite (inoltre, la tecnologia potrebbe anche essere usata da diversi attori economici allo stesso tempo). Se le informazioni riguardo un'innovazione sono ampiamente condivise, possono essere utilizzate da tutta la società e fornire benefici a tutti;

- escludibile significa che ad altri può essere impedito di ottenere o utilizzare una tecnologia, ad esempio non mostrandola al pubblico (come il segreto aziendale) o utilizzando istituzioni sociali come i diritti di proprietà intellettuale (come i diritti d'autore o brevetti). Questa esclusione può fornire agli innovatori un potere di mercato che consente applicare un prezzo alto all'innovazione e guadagnare un *surplus*.

La società si trova di fronte la scelta di un *trade-off* per definire il livello ottimale di ingegnerizzazione dell'innovazione (nel caso in questione delle tecnologie IA). In uno scenario di *first-best*, non vi sono problemi di agenzia nel processo di innovazione, e una soluzione ottimale potrebbe essere finanziare le innovazioni e renderle liberamente disponibili a tutti. Questo modello di finanziamento dell'innovazione è comune per i progetti relativi alla ricerca di base e ha dato origine a innovazioni molto significative nella storia, tra cui l'invenzione di Internet. Un'altra soluzione potrebbe essere sostenere la produzione di innovazioni al fine di ottenere premi non economici come il prestigio oppure la prevalenza di tecnologia *open source* così da generare progresso cumulato (come avviene per i *software* e l'IA).

Comunque, in molte circostanze, gli agenti privati tendono ad innovare e / o finanziare l'innovazione al fine di ottenere un rendimento (o *surplus*). Quindi, il *surplus* guadagnato dagli imprenditori gioca un ruolo economico importante, in quanto premia gli imprenditori per ciò che realizzano (rappresenta il ritorno economico all'attività di innovazione). Tuttavia, molto spesso capita che le innovazioni siano legate al potere di mercato che porta a inefficienze rispetto alla soluzione di *first-best* in cui le innovazioni sono distribuite come beni pubblici.

Di seguito sono analizzati due casi che determinano se gli imprenditori riescano ad ottenere del *surplus* dagli investimenti in IA:

- se l'ingresso all'innovazione fosse limitato, il reddito netto guadagnato dagli imprenditori sarebbe generalmente superiore ai costi sostenuti per innovare. Le restrizioni all'attività innovativa possono anche derivare dalla struttura del mercato: nei mercati caratterizzati dalla concorrenza di Bertrand, il primo che riesce a sviluppare un'innovazione può godere di una posizione di monopolio. Infatti, qualsiasi altro potenziale concorrente sa che se entra nel mercato, l'*incumbent* ridurrà i prezzi a un costo marginale così da scoraggiare il potenziale

entrante che, con i prezzi così bassi, preferirà non entrare perché incapace di recuperare l'investimento;

- se esistesse un insieme sufficientemente ampio di potenziali innovatori con pari competenze (concorrenza perfetta), nessuno avrebbe sufficiente potere di mercato per influenzare le scelte degli altri. Tuttavia, dato che i profitti per l'innovazione sono altamente stocastici, ci saranno comunque vincitori e vinti. Nel contesto delle nuove tecnologie IA, la distribuzione dei profitti sembra essere sempre più distorta, con un basso numero di imprenditori che ottengono profitti enormi e la grande maggioranza che guadagna poco in cambio dei loro sforzi. Ciò genera notevoli disparità anche tra gli imprenditori.

In entrambi i casi, i rendimenti ottenuti da un imprenditore potrebbero non corrispondere strettamente ai rendimenti sociali dell'innovazione; in particolare, alcuni dei rendimenti possono riflettere la cattura dei profitti che altrimenti sarebbero andati ad altri imprenditori. Al fine di evitare il formarsi di questa disuguaglianza, una delle soluzioni possibili potrebbe essere tassare e ridistribuire il *surplus* così da garantire che l'IA sia considerata un miglioramento di Pareto. Anche le politiche *antitrust* svolgono un ruolo fondamentale in questo contesto riducendo le rendite e garantendo che i benefici derivanti dalle innovazioni siano condivisi tra tutti. Inoltre, la ricerca pubblica, che garantisce al governo di appropriarsi delle rendite piuttosto che lasciarle ai privati, unitamente a politiche di concorrenza più forti, potrebbe ridurre il formarsi di monopoli e quindi aumentare la probabilità che l'IA sia un miglioramento di Pareto. Infine, i lavoratori dovrebbero notare che le innovazioni legate all'IA (comprese quelle create da imprenditori privati) trovano fondamento sul sostegno pubblico. Infatti, la società ha pagato per generare questa conoscenza e dovrebbe quindi poter accedere al *surplus* generato dall'innovazione. Una proposta per garantire che i lavoratori accedano ai vantaggi generati dall'innovazione potrebbe essere quella di offrire ai lavoratori quote di imprese così da garantire che il loro benessere aumenti insieme a quello degli imprenditori.

Effetti sugli altri agenti

L'innovazione può portare anche a ridistribuzioni non direttamente coinvolte nel processo di innovazione (ad esempio i lavoratori possono essere soggetti a un improvviso

aumento o calo della domanda di lavoro). Queste ridistribuzioni possono quindi essere viste come esternalità dell'innovazione e sono una delle principali ragioni per cui l'innovazione solleva preoccupazioni sulla disuguaglianza. Si possono distinguere due categorie di tali esternalità: esternalità pecuniarie e non-pecuniarie.

Le esternalità pecuniarie sono i cambiamenti dei prezzi e degli stipendi e relativamente a queste, come ha già osservato l'economista John Richard Hicks, le innovazioni tendono a modificare la domanda dei fattori e, in equilibrio, determinano un cambiamento dei prezzi di tali fattori, in particolare un cambiamento nei salari. Se, come molti esperti predicono, l'IA sostituisse direttamente il lavoro umano, la richiesta di lavoro umano potrebbe diminuire e sua volta gli stipendi. Ad esempio, le *self-driving cars* potrebbero portare ad una riduzione degli stipendi dei conducenti, o la tecnologia *AI-based* in grado di leggere una lastra potrebbe abbassare gli stipendi dei radiologi. Viceversa, l'IA potrebbe portare ad un aumento della domanda di informatici e a un notevole aumento dei loro stipendi. Poiché l'IA è una *GPT*, ci sono ragioni per credere che i progressi in queste tecnologie si ripercuotano su settori diversi portando, nei prossimi decenni, a cambiamenti significativi sui salari in tutta l'economia. Quindi, anche se ci sono spesso perdenti, il progresso tecnologico per definizione sposta la frontiera delle possibilità produttive (ovvero il luogo dei punti che mostra le combinazioni di beni che è possibile ottenere in modo efficiente dato il vincolo delle risorse produttive e la tecnologia). Ciò implica che il beneficio totale ottenuto dai vincitori del progresso supera la perdita subita dagli sconfitti. Perciò, è possibile affermare che le esternalità pecuniarie dell'innovazione danno origine a ridistribuzioni potenzialmente costose, e rendono l'economia inefficiente. Al fine di contrastare il declino dei salari sarebbe necessario definire alcune politiche da seguire. Tra queste, nel caso in cui il potere contrattuale dei datori di lavoro sia eccessivo, potrebbe esserci un aumento del salario minimo così da garantire che nessuno dei lavoratori a tempo pieno si trovi in condizioni di povertà. Inoltre, garantire un'elevata domanda aggregata di lavoro (e quindi un basso tasso di disoccupazione) aumenterebbe anche il potere contrattuale dei lavoratori portando a salari più alti. Tra le altre politiche da seguire, potrebbe esserci l'imposizione di una tassa sul capitale così da far aumentare il costo di questo e indurre gli imprenditori ad innovazioni di tipo *capital-augmenting* piuttosto che *labor-saving*.

Come si è già affermato precedentemente, l'innovazione può anche generare esternalità non-pecuniarie su soggetti diversi dall'imprenditore. Esempi classici di questo tipo possono essere i casi in cui l'innovazione potrebbe influenzare le quantità richieste, o la probabilità di acquistare o vendere un bene o un fattore, inclusa la probabilità di essere disoccupati. Tuttavia, alcuni effetti sono tali da poter essere interpretati sia come esternalità pecuniarie sia come esternalità non-pecuniarie. Ad esempio, le innovazioni di prodotto possono essere interpretate anche come variazioni di prezzo. In alternativa, possono anche essere interpretate come esternalità non-pecuniarie. Infatti, si può pensare ad un prodotto (ad esempio uno *smartphone*) come un *bundle* di servizi acquistabili solo in proporzione fissa (poiché non è possibile acquistare separatamente le diverse funzioni dello *smartphone*). Secondo questa prospettiva, un'innovazione rappresenta un cambiamento strutturale dei mercati incompleti in quanto modifica il *bundle* dei servizi disponibili in un prodotto.

3.5.3. *Intelligenza Artificiale e il ritorno di Malthus*

Tra le tante analisi effettuate dai ricercatori Anton Korinek e Joseph E. Stiglitz, è possibile trovarne una che analizza la questione IA sotto un punto di vista a lungo termine. Attualmente l'IA si trova ancora in una fase embrionale in cui, durante l'esecuzione delle proprie attività, è necessario l'intervento umano. Questa è comunemente definita Intelligenza Artificiale stretta. Al contrario, l'intelligenza umana permette a tutti gli individui di eseguire le attività autonomamente. Questa capacità è definita intelligenza generale. Se l'IA raggiungesse e superasse i livelli umani di intelligenza generale, si applicherebbero una serie di considerazioni radicalmente diverse. Alcuni tecno-ottimisti predicono l'avvento dell'IA generale già nel 2029, sebbene la stima effettuata dagli esperti di IA indichi l'anno 2040 o 2050, con la maggior parte degli esperti che assegna una probabilità del 90% al sorgere del livello generale dell'IA nel secolo attuale. Date queste previsioni, si è reputato fondamentale riflettere sulle implicazioni che un IA generale avrebbe sull'umanità.

Supponendo che il sistema sociale ed economico attuale sia mantenuto anche a seguito dell'avvento dell'IA generale, i ricercatori Anton Korinek e Joseph E. Stiglitz hanno individuato due scenari principali. Nel primo scenario l'uomo e la macchina si fondono, ovvero le capacità degli esseri umani saranno migliorate grazie all'ausilio di una

tecnologia sempre più avanzata. Il secondo scenario vede le entità artificialmente intelligenti svilupparsi separatamente dagli umani ma avendo i loro stessi obiettivi e comportamenti.

Primo scenario: miglioramento umano e disuguaglianza

Lo scenario in cui gli esseri umani si potenziano con le macchine può portare a massicci aumenti della disuguaglianza umana, a meno che i politici non riconoscano in tempo la minaccia e prendano provvedimenti per equalizzare l'accesso alle tecnologie. Se l'intelligenza diventa una questione di *ability-to-pay*, è plausibile che gli uomini più ricchi diventino "più intelligenti" rispetto ai più poveri, lasciando la maggioranza della popolazione sempre più indietro. Per coloro che possono permetterselo, l'incentivo all'acquisto del miglioramento è grande, specialmente perché sono in competizione con altri ricchi. D'altro canto, coloro che non possono permettersi le ultime tecnologie dovranno fare affidamento su ciò che è di pubblico dominio e se il ritmo dell'innovazione aumenta, aumenterà il divario tra la migliore tecnologia e ciò che è disponibile pubblicamente.

Secondo scenario: agenti artificialmente intelligenti e il ritorno di Malthus

Relativamente al secondo scenario, questo considera le entità artificialmente intelligenti svilupparsi separatamente dagli esseri umani. Per descrivere il sistema economico che ne deriva, Anton Korinek suppone che esistano due tipi di entità, gli esseri umani e le entità IA, e ne analizza gli effetti inserendole nei modelli malthusiani. Il cuore dei modelli malthusiani (dell'economista Thomas Malthus) è costituito dalla nozione secondo cui sopravvivenza e riproduzione richiedono risorse, che sono potenzialmente scarse. Formalmente, i modelli malthusiani tradizionali descrivono il modo in cui le forniture di fattori scarsi interagiscono con due insiemi di tecnologie correlate, una tecnologia di produzione e una tecnologia di consumo / riproduzione. In primo luogo, gli esseri umani sono i fornitori del fattore lavoro, che viene impiegato in una tecnologia di produzione per generare beni di consumo. In secondo luogo, una tecnologia di consumo / riproduzione converte i beni di consumo per la sopravvivenza e la riproduzione degli esseri umani, determinando a sua volta la fornitura futura del fattore lavoro. Negli ultimi due secoli, l'essere umano, almeno nei paesi avanzati, ha avuto la fortuna di sottrarsi ai vincoli malthusiani. Infatti, l'accumulo di capitale e il rapido aumento del progresso

tecnologico generato dalla rivoluzione industriale, hanno fatto in modo che la tecnologia per produrre beni di consumo fosse costantemente in anticipo sui consumi dei beni necessari a garantire la sopravvivenza del genere umano.

Relativamente a Korinek, nella sua teoria, confronta le tecnologie di produzione e di consumo / riproduzione degli esseri umani e delle entità IA e osserva che differiscono sostanzialmente. Dal lato della produzione, l'essere umano sta rapidamente perdendo terreno a causa del lavoro fornito dalle entità IA. In altre parole, le entità IA stanno diventando sempre più efficienti nella produzione di *output* rispetto agli umani. Dal punto di vista del consumo / riproduzione, la "tecnologia" impiegata dagli umani per convertire i beni di consumo (come il cibo e le abitazioni) in futuri esseri umani ha subito relativamente pochi cambiamenti (la biologia degli esseri umani cambia molto lentamente). Al contrario, la tecnologia di riproduzione delle entità IA, impiegata per convertire i beni di consumo dell'IA (come l'energia, il silicio, l'alluminio) in futura IA, è soggetta a progressi esponenziali.

Prese insieme, queste due dinamiche portano l'essere umano a trovarsi in situazioni svantaggiose nel lungo termine, a meno che non vengano presi i giusti provvedimenti. Infatti, all'inizio, coloro che non sono in possesso di determinate abilità, in un mondo dominato dall'IA, potrebbero trovarsi sempre più svantaggiati nella corsa alle scarse risorse. La proliferazione delle entità IA inizialmente metterà solo una modesta pressione sui prezzi delle scarse risorse, quindi l'umanità nel complesso trarrebbe beneficio dall'alta produttività delle entità IA. Inoltre, beneficerebbero di grandi guadagni anche tutti i fattori scarsi e preziosi per la riproduzione e il miglioramento dell'IA, come il lavoro umano qualificato nella programmazione o la proprietà intellettuale. Tuttavia, col passare del tempo, le tecnologie di produzione e consumo superiori delle entità IA porterebbero ad una concorrenza spietata su tutti i fattori scarsamente disponibili (come la terra e l'energia) portando ad un aumento dei loro prezzi e rendendoli sempre più inaccessibili agli umani normali. Alla fine, questo potrebbe costringere gli umani a ridurre il loro consumo fino al punto in cui il loro reddito reale sarà così basso da non permettergli di consumare il necessario per vivere e facendo diminuire così il numero degli esseri umani.

3.5.4. Le analisi di Bain & Company

La società Bain & Company ha condotto uno studio anche sull'impatto che l'automazione potrebbe avere sul reddito. In particolare, la loro analisi mostra che i lavoratori USA che attualmente guadagnano tra 30.000 e 60.000 dollari all'anno sono i più soggetti a rischio: fino al 30% potrebbe essere licenziato, e molti subiranno una diminuzione del loro salario. D'altro canto, l'impatto sui lavoratori che guadagnano meno di 30.000 dollari all'anno dovrebbe essere leggermente più basso. Infine, ci si aspetta che l'automazione abbia un impatto ancora più basso su chi ha un reddito compreso tra 60.000 e 120.000 dollari all'anno e un impatto ancora minore su chi guadagna più di 120.000 dollari (vedi figura 24).

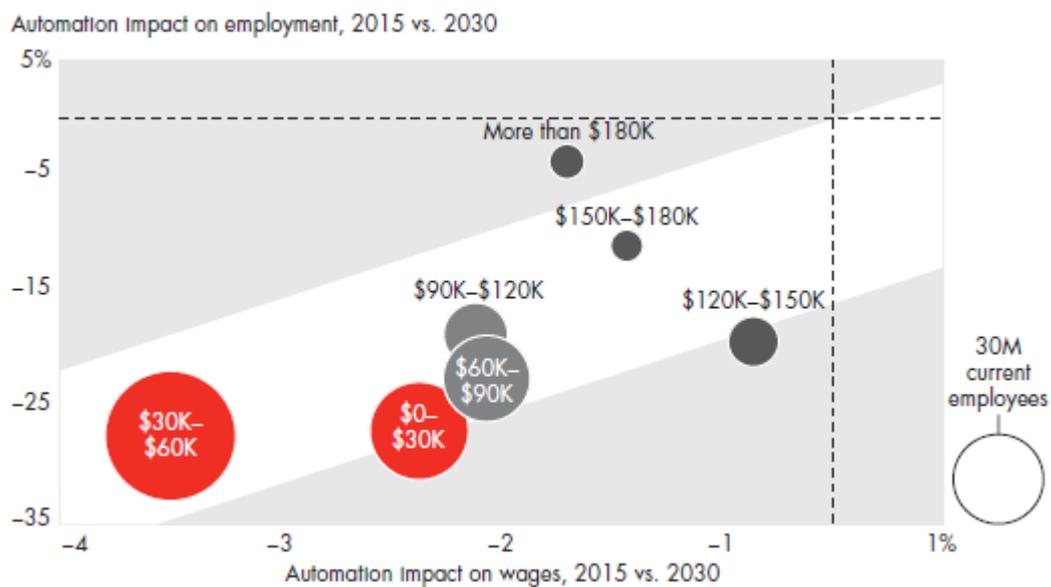


Figura 24: Impatto sul salario e sugli impieghi dell'automazione (fonte Bain & Company)

Il rapido sviluppo delle tecnologie IA probabilmente supererà il ritmo con il quale le economie possono riassorbire e ridistribuire milioni di lavoratori che potrebbero quindi perdere il proprio posto di lavoro. Questo tipo di dislocazione strutturale spesso porta alla disoccupazione di lunga durata. Uno studio condotto dalla US Social Security Administration ha rilevato che 20 anni dopo aver perso un lavoro, i guadagni medi erano ancora inferiori del 27%. Un altro studio di un economista della Federal Reserve Bank di Boston ha rilevato che un lungo periodo di disoccupazione ha ridotto i guadagni del 67% immediatamente e il 32% 10 anni dopo. Inoltre, anche quando i lavoratori hanno semplicemente cambiato settore, i guadagni sono rimasti inferiori del 10%.

Oltre alla perdita dei posti di lavoro e alla riduzione dei salari, l'automazione potrebbe anche aumentare la disuguaglianza tra il reddito percepito dal lavoratore e il profitto guadagnato dall'imprenditore. La quota di reddito prodotta dalla manodopera è già in calo e, con l'automazione, probabilmente diminuirà ulteriormente. Sempre secondo la ricerca condotta da Bain, si stima che, entro il 2030, i costi operativi a livello di settore potrebbero diminuire dal 10% al 15%, a seconda della struttura attuale dei costi del settore e del livello di automazione previsto. Sotto tali condizioni, l'aumento della redditività sarebbe in gran parte destinato ai proprietari di capitali, riducendo così ulteriormente la quota del reddito destinata alla manodopera. La proprietà del capitale è già altamente concentrata. Ad esempio, in Francia, i livelli di disuguaglianza della ricchezza sono in calo, ma il 10% dei ricchi detiene ancora il 55% della ricchezza totale. In Cina, dove la disuguaglianza di reddito è aumentata significativamente negli ultimi anni, il 10% dei ricchi possiede oltre il 67% della ricchezza. Ma i livelli più alti si registrano negli Stati Uniti, dove il 10% dei ricchi possiede il 73% della ricchezza.

3.6. Altre evidenze

3.6.1. L'analisi di Accenture

Per capire il valore dell'IA come nuovo fattore di produzione, Accenture, insieme a Frontier Economics, ha modellato il potenziale impatto dell'IA su 12 economie sviluppate che insieme generano più del 50% dell'*output* economico mondiale. Al fine di stimare il potenziale economico dell'IA, Accenture ha confrontato tra loro due differenti scenari:

- lo scenario base che riflette il tasso di crescita atteso annuale sotto le attuali assunzioni;
- lo scenario IA in cui è descritta la crescita economica attesa a seguito dell'impatto dell'IA sull'economia.

Inoltre, poiché per misurare l'impatto effettivo di una nuova tecnologia sull'economia è necessario che sia trascorso un tempo significativo dalla sua introduzione, le stime di Accenture sono relative all'anno 2035.

È bene precisare che, come affermato precedentemente, i benefici apportati dall'IA potrebbero essere anche intangibili e quindi difficili da misurare. Per ovviare

questo problema, l'analisi si è focalizzata sul valutare l'impatto in termini di Valore Aggiunto Lordo (VAL), ovvero la misura dell'incremento di valore che si verifica nell'ambito della produzione e distribuzione di beni e servizi finali a partire da beni e risorse primarie iniziali a seguito dell'intervento dei fattori produttivi (capitale e lavoro). Il modello si basa su un *continuum* di *task* che possono essere eseguite sia dagli umani che dall'IA, considerando quest'ultima come una forza lavoro aggiuntiva in grado di gestire attività che richiedono un livello avanzato di agilità cognitiva. Quindi, per stimare la percentuale delle attività svolte dei lavoratori che potrebbero essere eseguite da macchine intelligenti (ovvero il tasso di assorbimento dell'IA), Accenture ha adottato un approccio *task-based*.

Come si può osservare dalla figura 25, le stime sono aggregate per Paese e sono state adattate in modo da riflettere:

- il lavoro a lungo termine: è stato supposto che l'occupazione resterà costante nel lungo periodo;
- le differenze tra il potenziale tecnologico dell'IA e ciò che è stato effettivamente raggiunto: è stato considerato un assorbimento dell'IA da zero al massimo potenziale tecnologico. In particolare, è stato ipotizzato che un assorbimento del 50% sarebbe ragionevole nel periodo di tempo analizzato (cioè si suppone l'IA raggiunga il 50% del suo potenziale tecnologico);
- capacità dei paesi di assorbire le tecnologie IA: un fattore chiave per la misura dell'impatto dell'IA sulle economie dei Paesi, è la capacità di ciascun di essi di beneficiare di queste nuove tecnologie e del grado con cui ciascuno di essi è pronto ad integrarle nella sua economia. Tali capacità sono state misurate attraverso un indicatore chiamato "Capacità di Assorbimento Nazionale" (*National Absorptive Capacity* o "NAC").

In aggiunta, sono state integrate al modello quantitativo le interviste condotte con gli esperti di diverse discipline.

Analizzando la figura 25, è possibile notare come la percentuale di crescita dei Paesi nello scenario IA sia doppia rispetto a quella che ci avrebbe nello scenario base. Inoltre, i risultati della ricerca mostrati in figura 25, rivelano come gli Stati Uniti godano dei più alti benefici economici generati dall'IA ostentando un tasso di crescita pari al 4,6% nel 2035. Relativamente al Giappone, l'IA farebbe triplicare il tasso di crescita del

VAL portandolo dallo 0,8% al 2,7%. In generale tutti i Paesi potrebbero vedere raddoppiare i loro tassi di crescita economica annuale.

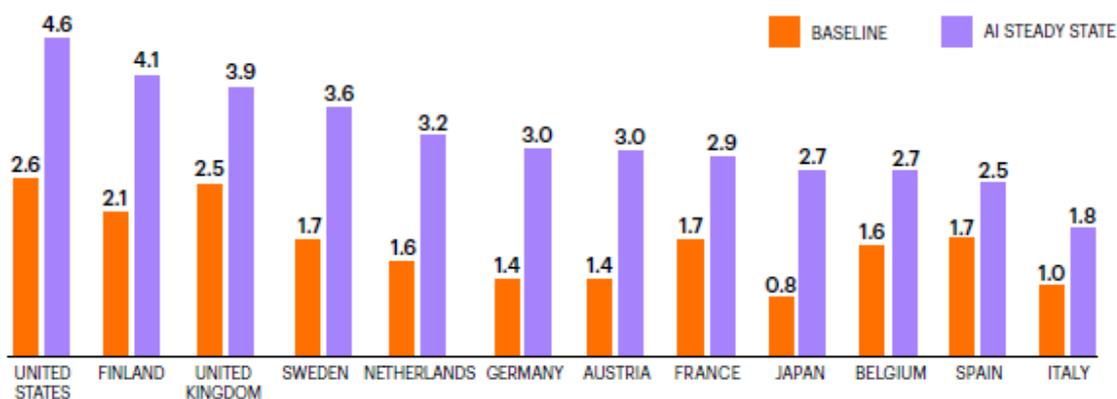


Figura 25: Percentuale di crescita del VAL prima e dopo l'innovazione dell'IA (nel 2035) (fonte Accenture)

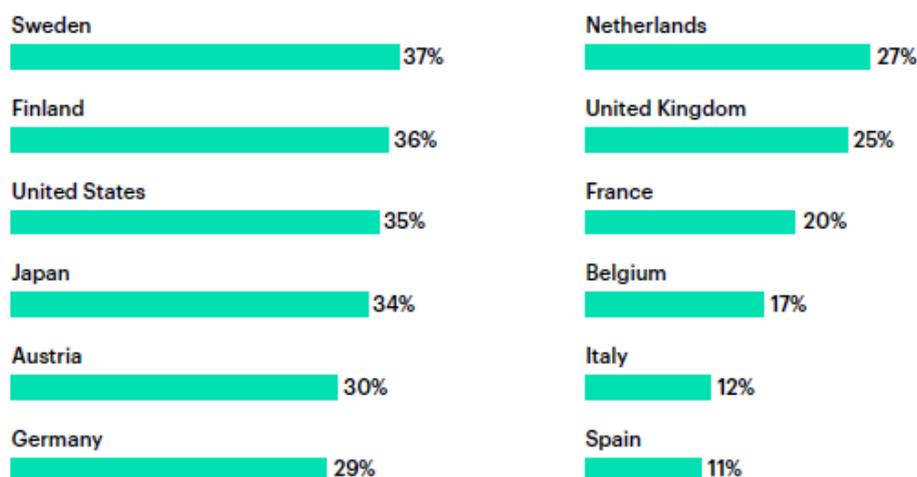


Figura 2612: Aumento della produttività a seguito dell'innovazione dell'IA (nel 2035) (fonte Accenture)

La figura 26 mostra invece di quanto l'IA farebbe aumentare la produttività del lavoro nei Paesi studiati. Tale aumento di produttività ridurrebbe drasticamente il numero di anni necessari per raddoppiare le dimensioni delle economie dei paesi analizzati (figura 27). Infatti, la figura 27 mostra con il colore grigio gli anni necessari a raddoppiare le dimensioni dell'economia nello scenario base e con il colore viola quelli necessari nello scenario IA. Complessivamente, l'analisi in questione mostra la capacità dell'IA di generare notevoli benefici in tutti i paesi, di contrastare le scarse prospettive di crescita

economica e di ridefinire un periodo di crescita economica elevata e duratura. Nonostante questi risultati, l'evidenza attuale mostra ancora un ampio divario tra le iniziative avviate dai manager e l'apertura mentale nei confronti di queste nuove tecnologie. Infatti, anche se circa il 54% dei top manager reputa la collaborazione uomo-

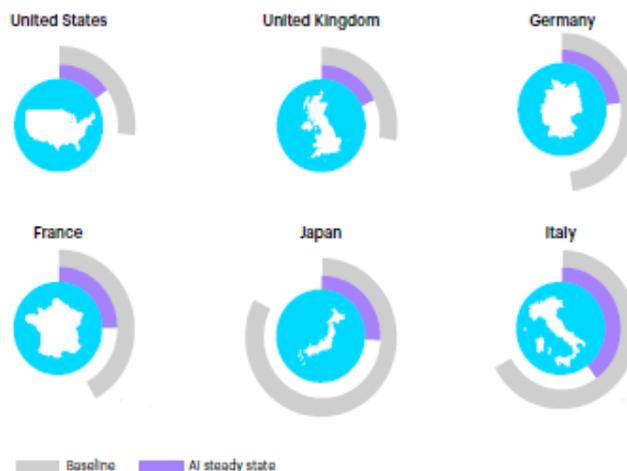


Figura 27: Tempo impiegato per raddoppiare le dimensioni dell'economia (il cerchio intero indica 100 anni) (fonte Accenture)

macchina fondamentale per il business, soltanto il 3% sta pensando di aumentare gli investimenti per la riqualificazione dei propri dipendenti entro il prossimo triennio. Marco Morchio, Accenture Strategy Lead per Italia, Europa Centrale e Grecia, commenta: «Per riuscire a crescere nell'era dell'IA, le aziende devono investire di più in formazione, al fine di preparare i dipendenti a un nuovo modo di lavorare in cooperazione con le macchine».

In conclusione, la ricerca mostra chiaramente come aumentare gli investimenti per lo sviluppo delle competenze IA sia di fondamentale importanza anche per sostenere l'occupazione: infatti, il 63% dei dirigenti ritiene che la propria società sarebbe in grado di generare nuovi posti di lavoro attraverso l'impiego dell'IA. Contemporaneamente, il 62% dei lavoratori prevede un impatto positivo delle nuove tecnologie sul proprio lavoro. Secondo Accenture andrebbe riorganizzato il lavoro assegnando di volta in volta le *task* alle macchine e alle persone, stando attenti a bilanciare la necessità di automatizzazione del lavoro con quella di valorizzazione delle capacità delle persone.

3.6.2. Quota del capitale e automazione

Come viene suggerito da alcuni dei modelli descritti precedentemente, il capitale gioca un ruolo chiave nell'analisi degli effetti generati dall'IA sul sistema economico. La figura 29 riporta la quota del capitale nei diversi settori industriali degli Stati Uniti secondo i dati raccolti dei ricercatori Jorgenson, Mun S. Ho e Jon D. Samuels. Osservando

la figura 28, appare evidente come la quota del capitale aggregata sia aumentata su molti settori (tra cui agricoltura, costruzioni, prodotti chimici, produzione di apparecchiature informatiche, veicoli a motore, editoria, telecomunicazioni e commercio all'ingrosso e al dettaglio) a partire dal 2000. Gli unici settori in cui non si vede questa tendenza sono quelli dei servizi, ovvero il settore dell'educazione, quello amministrativo e il sanitario. Infatti, in questi settori, la quota di capitale è relativamente stabile.

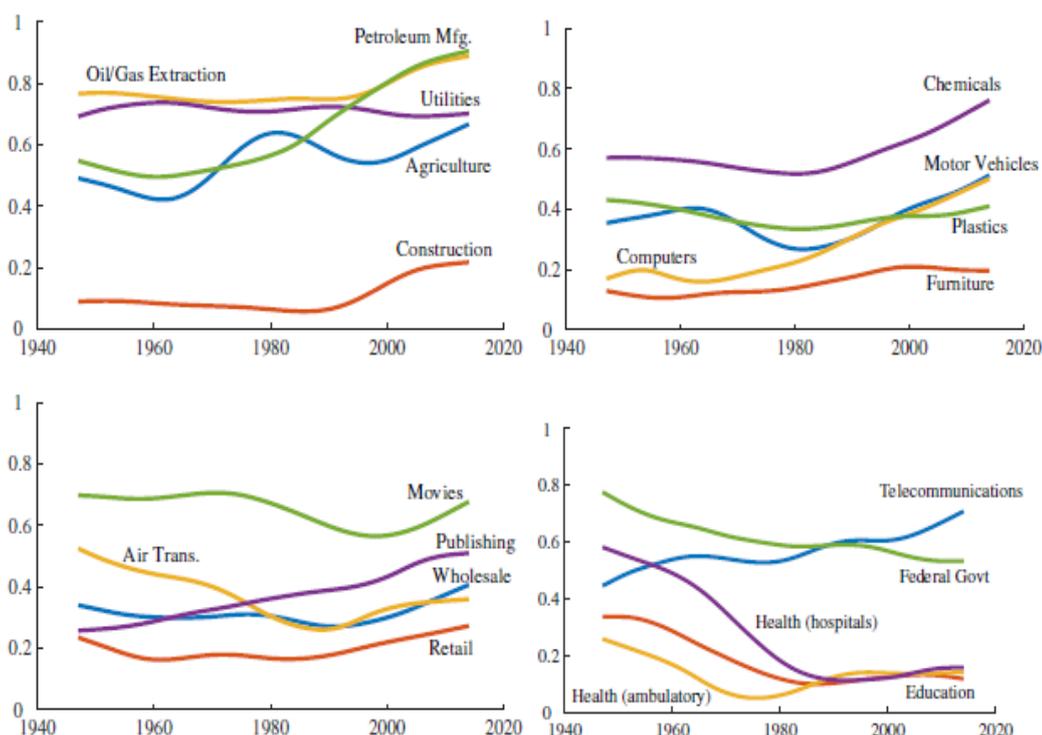


Figura 28: Quota capitale per settore
(fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

La figura 29 mostra l'andamento della quota del capitale relativa al settore dei mezzi di trasporto (tra cui anche i motoveicoli) nelle diverse nazioni. L'importanza di questi risultati è dovuta al fatto che il settore automobilistico è il settore che ha investito maggiormente nei robot industriali negli ultimi due decenni. La quota capitale nel settore dei mezzi di trasporto mostra un largo aumento negli Stati Uniti, Francia, Germania e Spagna. Inoltre, è interessante notare che Italia e UK mostrano una diminuzione a partire dal 1955.

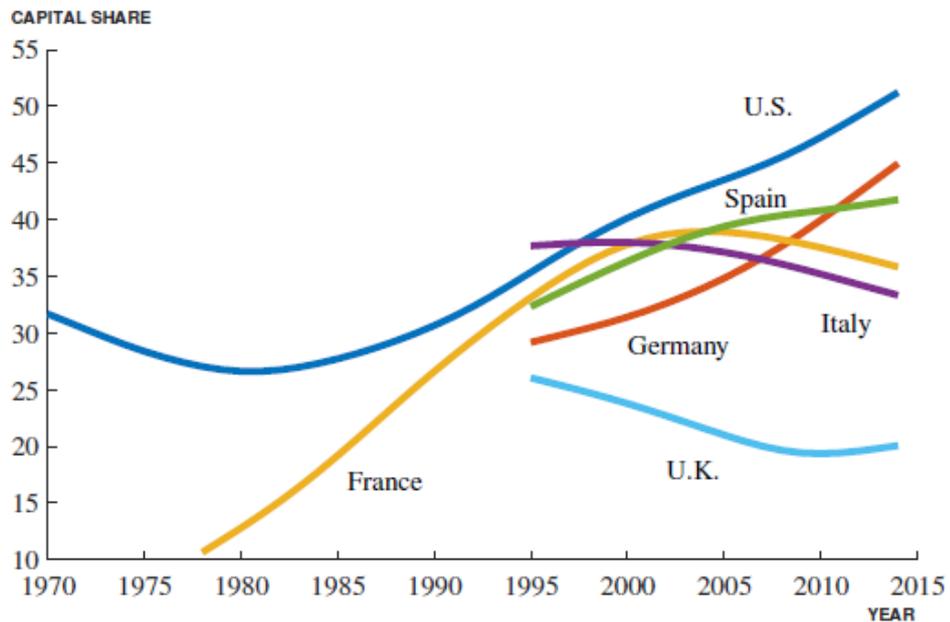


Figura 29: La quota del Capitale nel settore dei mezzi di trasporto (fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

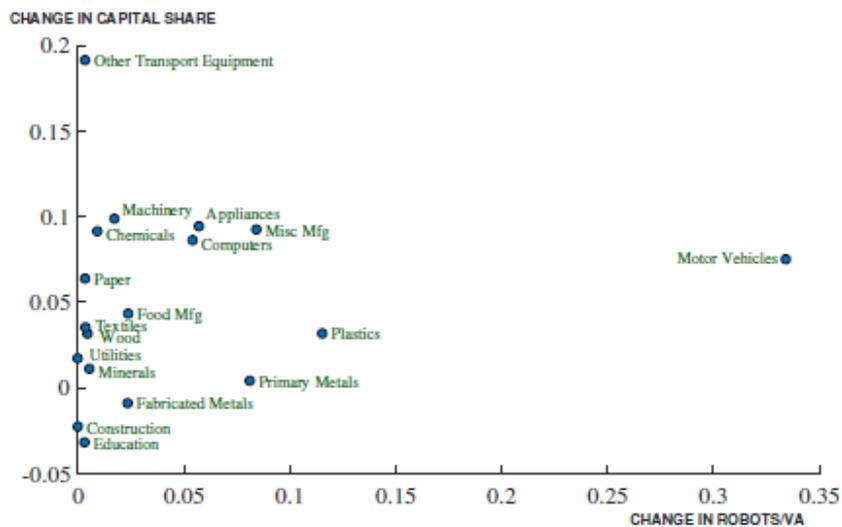


Figura 130: Cambiamento della quota del capitale e dei robot/VA tra il 2004 e il 2014 (fonte Philippe Aghion, Benjamin F. Jones e Charles Jones)

Infine, la figura 30 mostra i risultati della ricerca condotta da Jorgenson, Mun S. Ho e Jon D. Samuels basandosi sui dati raccolti da Acemoglu e Restrepo. A loro volta, i ricercatori Acemoglu e Restrepo, utilizzarono i dati della Federazione Internazionale dei Robot al fine di studiare l'impatto che una loro adozione avrebbe sul mercato del lavoro degli Stati Uniti. Osservando la figura 30, è possibile notare che, come accennato precedentemente, l'industria dei veicoli a motore è il maggior utilizzatore di robot industriali. Infatti, oltre il 56% dei nuovi robot industriali acquistati nel 2014 sono stati installati nell'industria automobilistica. Inoltre, si può osservare un basso livello di correlazione tra gli investimenti in robot e il cambiamento della quota di capitale tra il 2004 e il 2014.

CAPITOLO IV

4. CONCLUSIONI

Anche se gli argomenti trattati finora possono sembrare contrastanti gli uni con gli altri, è bene continuare a pensare che l'IA sia solo agli albori e che, quindi, ogni sua possibile conseguenza rimane pur sempre ancora teorica e stimata. Infatti, esistono modelli che sostengono teorie contrapposte tra loro fornendo, tuttavia, dimostrazioni convincenti. Proprio per questo motivo, è bene riflettere su ogni possibilità senza tralasciare nulla e senza focalizzarsi su unico pensiero. Fatta questa premessa, sono stati nominati fin qui termini come “Intelligenza Artificiale” e “*machine learning*” ma se effettivamente avverranno cambiamenti importanti lo si percepirà solo se queste nuove tecnologie riusciranno veramente ad affermarsi. Infatti, poiché si tratta di tecnologie che necessitano prima di tutto di investimenti relativi ai macchinari, all'implementazione dei software ed alla formazione delle competenze per interagirci, quest'ondata di cambiamenti richiederà tempo prima di inserirsi completamente nel sistema. Pertanto, al fine di osservare come si stanno muovendo i principali settori del sistema economico, sono state analizzate le diverse innovazioni *AI-based* sul quale questi settori stanno investendo e il risultato emerso è confortante. Infatti, è stato osservato un trend abbastanza favorevole per le tecnologie IA che mostra come quest'ultima stia giocando e giocherà un ruolo importante nella scelta degli investimenti delle imprese.

Successivamente, al fine di facilitare la comprensione del fenomeno, è stata rappresentata l'IA attraverso il fattore del “capitale” e sono stati analizzati gli effetti che un possibile investimento in questa direzione avrebbe comportato. In particolare, è stato verificato come l'automazione, sotto determinate condizioni e contrariamente a quanto si possa pensare, possa essere considerato come un *labor-augmenting technical change* e *capital-depleting technical change*. È stato osservato anche come un aumento della quota capitale generi un aumento della crescita economica di lungo periodo, lasciando quindi sperare in un guadagno aggregato dell'intera comunità. Infine, è stato trattato un modello volto a individuare l'effetto dell'introduzione dell'IA sul processo di ricerca e scoperta di nuova conoscenza. Tale modello ha mostrato come, nel nostro decennio, la ricerca si trovi di fronte a numerose difficoltà dovute alla moltitudine di dati e di informazioni a

disposizione. Quindi, una tecnologia come l'IA potrebbe generare notevoli benefici per i ricercatori in quanto, grazie alla sua capacità di calcolo e di elaborazione, faciliterebbe i compiti agli scienziati, rendendo loro accessibili dati e informazioni in tempi notevolmente più brevi. Infine, è stato osservato anche come un aumento dei robot, sotto specifiche condizioni, possa essere in grado di fornire una spinta alla produttività, a discapito tuttavia dei lavoratori occupati nelle mansioni aventi un maggior tasso di ripetitività.

Quindi, arrivati a questo punto, è alquanto probabile essersi fatti un'opinione (positiva o negativa) del fenomeno IA, tuttavia è bene specificare che questa tecnologia (così come tutte le altre) non è né “buona” né “cattiva”, al più uno strumento neutro. Infatti, a rendere una tecnologia “cattiva” o “buona” è l'utilizzo che ne viene fatto. Quindi, prima di immaginare l'IA come una minaccia all'esistenza umana, sarebbe necessario sviluppare una regolamentazione etica in grado di tutelare l'essere umano da ogni suo possibile impiego. Tale regolamentazione dovrebbe coprire diversi aspetti, tra cui quello della sicurezza, della privacy e della trasparenza. Inoltre, come è stato osservato nei capitoli precedenti, l'IA potrebbe portare ad una distribuzione non equa dei benefici generati ed è pertanto necessario tutelare tutti i soggetti del sistema anche da questa possibile evenienza.

La minaccia però non è soltanto per il soggetto singolo. Infatti, l'IA potrebbe portare all'instaurarsi di un processo fortemente innovativo in cui si assisterebbe ad una selezione delle imprese che ne ridurrebbe drasticamente il numero e / o ne rafforzerebbe la struttura. Infatti, le imprese si troverebbero a far fronte ad una nuova tecnologia che le costringerebbe ad una riorganizzazione dei propri modelli e processi di *business*. È quindi chiaro come interi settori si troveranno di fronte ad una riorganizzazione e ad un riammodernamento della loro struttura. Ovviamente, anche in questo caso il rischio si potrebbe ripercuotere sul singolo, in quanto una trasformazione dei settori potrebbe portare ad una distruzione / creazione di posti di lavoro. Infatti, è proprio quest'ultimo argomento a preoccupare maggiormente l'opinione pubblica. Per la maggior parte dei lavoratori questa tecnologia è percepita come una minaccia all'occupazione a causa anche delle tensioni prodotte nella storia da altre innovazioni tecnologiche. La tecnologia IA è percepita, infatti, come una “distruzione creatrice” operante in un sistema “algocratico”

che vede l'algoritmo al centro del sistema economico e in possesso del potere necessario a trasformarlo e / o distruggerlo.

È necessaria quindi una collaborazione tra politica ed economia cercando di chiamare tutti ad una riflessione collettiva sulla visione futura dell'intero sistema economico, evitando così di sfociare in pensieri fini a sé stessi. Uno sforzo mentale che porterebbe l'intera società ad un gradito superiore, risolvendo gran parte dei problemi che oggi rischiano di diventare irrisolvibili e costruendo un sistema che sia in grado di sopportare sempre di più le difficoltà presenti e future.

SITOGRAFIA

AA. VV. (2018), “*Intelligenza artificiale per le imprese: tutti i vantaggi per il futuro delle aziende*”, <https://www.insidemarketing.it/intelligenza-artificiale-le-imprese-tutti-vantaggi-futuro-delle-aziende/>

AA. VV. (2018), “*Intelligenza artificiale, ecco come cambia il business*”, <https://www.wired.it/economia/business/2017/11/24/intelligenza-artificiale-business-2/>

AA. VV. (2018), “*Intelligenza Artificiale: cos'è, come funziona e a cosa serve?*”, <http://www.intelligenzaartificiale.it/>

AA. VV. (2018), “*Reti Neurali*”, <http://www.intelligenzaartificiale.it/reti-neurali/>

Acemoglu D. e Restrepo P. (2018), “*Modeling Automation*”, <https://economics.mit.edu/files/14861>

Aghion P., Jones B.E. e Jones C.I. (2017), “*Artificial Intelligence and Economic Growth*”, <https://web.stanford.edu/~chadj/AI.pdf>

Agrawal A., McHale J. e Oettl A., (2018), “*Artificial Intelligence and Recombinant Growth*”, <http://www.nber.org/chapters/c14024.pdf>

Angelini R. (2017), “*Intelligenza Artificiale e governance. Alcune riflessioni di sistema*”, <http://www.sipotra.it/wp-content/uploads/2017/10/Intelligenza-artificiale-e-governance.-Alcune-riflessioni-di-sistema.pdf>

Brynjolfsson E. e McAfee A. (2011), “*Why Workers Are Losing the War Against Machines?*”, <https://www.theatlantic.com/business/archive/2011/10/why-workers-are-losing-the-war-against-machines/247278/>

Brynjolfsson E., Rock D. e Syverson C. (2017), “*Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics*”, <http://www.nber.org/chapters/c14007.pdf>

Dorn D. (2015), “*The Rise of the Machines How Computers Have Changed Work*”, https://www.ubscenter.uzh.ch/assets/publicpapers/PP4_the_rise_of_the_machines.pdf

Graetz G. e Michaels G. (2015), “*Robots at Work*”, <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1335.pdf>

Harris K., Kimson A. e Schwedel A. (2018), “*Labor 2030: the collision of demographics, automation and inequality*”, <http://www.bain.com/publications/articles/labor-2030-the-collision-of-demographics-automation-and-inequality.aspx>

Jin G.Z. (2018), “*Artificial Intelligence and Consumer Privacy*”, <http://www.nber.org/chapters/c14034.pdf>

Korinek A. e Stiglitz J.E. (2017), “*Artificial Intelligence and Its Implications for Income Distribution and Unemployment*” <http://www.nber.org/chapters/c14018.pdf>

Maci L. (2018), “*Intelligenza Artificiale, che cos'è e perché trasformerà le aziende*”, <https://www.economyup.it/startup/intelligenza-artificiale-che-cos-e-e-perche-trasformera-le-aziende/>

Milgrom P.R. e Tadelis S. (2018), “*How Artificial Intelligence and Machine Learning Can Impact Market Design*”, <http://www.nber.org/chapters/c14008.pdf>

Purdy M. e Daugherty P. (2016), “*Why Artificial Intelligence is the Future of Growth*”, https://www.accenture.com/t20170927T080049Z_w_us-en/_acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.PDFla=en