



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI**  
**"M.FANNO"**

**CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA**

**PROVA FINALE**

**GLI EFFETTI DELL'AUTOMAZIONE SUL**  
**MERCATO DEL LAVORO**

**RELATORE:**

**CH.MA PROF.SSA FAVARO DONATA**

**LAUREANDO: RIZZI FILIPPO**

**MATRICOLA N. 1138412**

**ANNO ACCADEMICO 2018– 2019**



## Indice

Introduzione.....	1
1. Effetto dell'automazione sulle attività lavorative. Occupazione e salari .....	2
1.1 Automazione, IA e robot: cenni storici, preoccupazioni e aspetti definatori .....	2
1.2 Potenziale di automazione delle attività lavorative .....	5
1.3 Interazione tra occupazione e automazione .....	9
1.4 Interazione tra salari e automazione .....	11
2. Evidenze empiriche ed econometriche .....	16
2.1 Relazione tra produttività del lavoro e automazione .....	16
2.2 Effetto dell'automazione sul mercato del lavoro statunitense .....	19
3. Possibili scenari futuri .....	23
3.1 Dove si concentra il potenziale per l'automazione .....	23
3.2 Visioni alternative del futuro dell'automazione .....	26
3.3 Conseguenze dell'introduzione di una tassa sui robot.....	29
Conclusione .....	32
Bibliografia.....	33

## Introduzione

Il rapporto tra progresso tecnologico e benessere economico da alcuni decenni è oggetto di studio di molti economisti, i quali si chiedono quali possano essere gli effetti socio-economici del progresso tecnologico sul mercato del lavoro e sul sistema economico nel suo complesso. Sebbene l'articolo 15 della carta dei diritti fondamentali dell'Unione Europea stabilisca che “ogni persona ha il diritto di lavorare e di esercitare una professione liberamente scelta”, da alcuni anni sta avanzando l'idea secondo cui il progresso tecnologico possa causare una sostituzione consistente del lavoro con dei robot, e questo implicherebbe un aumento ingente della disoccupazione ed un'iniqua distribuzione della ricchezza. Nel corso del tempo, il progresso tecnologico ha notevolmente cambiato la ripartizione dell'occupazione nei diversi settori economici, dall'agricoltura fino ai servizi. Recenti rilevazioni empiriche mostrano che gli operai specializzati sono scesi nella scala di stratificazione occupazionale, svolgendo lavori che in precedenza erano eseguiti da lavoratori poco qualificati, spingendo ulteriormente questi ultimi verso il basso della sopra citata scala, o addirittura fuori dalla forza lavoro. Queste considerazioni sollevano alcune questioni che verranno esplorate nei capitoli che seguono. Nel primo capitolo verranno illustrati gli effetti dell'automazione sulle attività lavorative al fine di evidenziare come interagiscono occupazione e automazione e come l'automazione influenza i salari. Si farà inoltre cenno alla polarizzazione nel mercato del lavoro negli Stati Uniti. Nel secondo capitolo si esploreranno alcuni modelli econometrici e rilevazioni empiriche per sottolineare l'effetto dell'automazione sull'occupazione e sui salari. Nell'ultimo capitolo si cercherà di illustrare quali saranno le possibili direttrici di sviluppo future.

## 1. Effetto dell'automazione sulle attività lavorative. Occupazione e salari

Il progresso tecnologico è un tema che ha avuto un'influenza significativa in ambito sociale, politico e soprattutto economico, tanto che alcuni economisti si sono chiesti quali possano essere gli effetti dell'introduzione delle tecnologie sulla vita dei singoli individui e sul sistema economico nel suo complesso.

### 1.1 Automazione, IA e robot: cenni storici, preoccupazioni e aspetti definatori

Il timore che lo sviluppo e la successiva introduzione di innovazioni tecnologiche potesse rendere obsolete un numero crescente di figure professionali e di conseguenza sostituire milioni di lavoratori affonda le proprie radici nei secoli XVI e XVII, in cui eventi quali l'introduzione della macchina per la produzione di calze da donna da parte di William Lee nel 1589 e la rivoluzione industriale inglese ebbero l'effetto di corroborare l'opinione dominante, secondo la quale il progresso tecnologico, nel corso del tempo, avrebbe lasciato nel baratro della disoccupazione e della povertà i lavoratori dotati di competenze e abilità ordinarie, poiché facilmente acquisibili e riproducibili dalle nuove tecnologie. In Inghilterra tale sentimento di tecnofobia si manifestò nel 1811 con lo sviluppo del Luddismo, un movimento di protesta operaia, che mirava a distruggere macchine industriali per simboleggiare resistenza al mutamento tecnologico. Tuttavia, l'innovazione tecnologica è stata capace di creare nuove industrie e nuove attività. Emblematico è il caso dell'introduzione da parte del Times di Londra di una nuova macchina di stampa a vapore nel 1814, che riusciva a stampare 1100 pagine all'ora, ovvero cinque volte tanto rispetto alla pressa meccanica che la precedeva. Lo sviluppo tecnologico raggiunse il suo apice nella seconda metà del Novecento, a seguito della diffusione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, che negli anni Sessanta resero possibile l'introduzione dei primi robot industriali da parte della General Motors e dei primi personal computer negli anni Ottanta. In particolare, le funzionalità di questi ultimi consentirono l'utilizzo di fogli elettronici per automatizzare calcoli ripetitivi e routinari. Pertanto, nell'ambito della terza rivoluzione industriale sono emersi in maniera tangibile i frutti dell'automazione, che l'Enciclopedia Treccani definisce come l'impiego di un complesso di metodi e procedure tecniche che, operando efficacemente su apparecchi e dispositivi, garantiscono l'esecuzione automatica di un determinato processo o il funzionamento automatico di un macchinario. Il concetto di automazione poggia inevitabilmente sulle ICT,

termine che fa riferimento alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, ovvero al complesso di modalità volte a trasmettere, ricevere ed elaborare dati ed informazioni. In questo ambito stanno acquisendo importanza crescente i robot industriali. La Federazione Internazionale di Robotica li definisce come macchine controllate automaticamente, riprogrammabili e multiuso che possono essere programmate in tre o più assi per l'uso in applicazioni industriali. I risultati della terza rivoluzione industriale sono stati ripresi ed amplificati dalla quarta rivoluzione industriale, altrimenti nota come Industria 4.0. Tale concetto comprende una combinazione di tecnologie robotiche, sensoristica, connessione e programmazione che mira a ridurre il time to market, rendere il processo produttivo più efficace ed efficiente, aumentare la produttività, ridurre il margine di errore e fabbricare prodotti di qualità più elevata. Secondo uno studio della società Deloitte (2015), i principi cardine dell'Industria 4.0 sono i seguenti. In primo luogo mediante l'impiego di processi produttivi cyber-fisici le organizzazioni hanno la capacità di adeguarsi velocemente ai cambiamenti della domanda e dunque di confermarsi alle richieste dei singoli clienti. In secondo luogo tecnologie di produzione di nuova invenzione coinvolgono tutti gli asset del processo produttivo, stimolando la cooperazione tra uomini, macchine e sistemi (smart production). L'ultimo principio cardine della quarta rivoluzione industriale è da ricercare nell'industrial internet, in grado di veicolare all'interno e all'esterno delle fabbriche maggiori quantità di dati ed informazioni, più interazione ed efficienza. I risultati tangibili dell'industria 4.0 sono stati la stampa 3D, i Big Data management, internet of things (IoT), cloud computing, machine learning, data analytics, cyber physical system. Nella vita di tutti i giorni i risultati della quarta rivoluzione industriale hanno trovato applicazioni in vari ambiti, non solo all'interno delle fabbriche e in contesti produttivi. A titolo esemplificativo è opportuno citare il robot Asimo di Honda, che nel 2011 ha sorpreso il pubblico grazie alla sua capacità di afferrare un thermos, svitarne il coperchio e versare dentro del tè; o ancora i robot che vengono utilizzati come fattorini di un hotel per condurre i turisti nella loro stanza. Il fatto che tali tecnologie sono sempre più in grado di replicare il tratto distintivo delle persone, ovvero l'intelligenza, ha portato gli economisti ad interrogarsi sui possibili effetti negativi della tecnologia sull'occupazione già a partire dal XVIII secolo, durante la prima rivoluzione industriale. Sir James Steuart (1767), non approvava il progresso tecnologico solamente se avesse obbligato un individuo ad essere inoperoso, inidoneo a guadagnare in nessun'altra maniera se non attraverso il suo corrente impiego. L'economista sosteneva comunque che la riduzione dell'occupazione, a causa dell'adozione di una nuova tecnologia, si verifica necessariamente nei casi in cui essa venga adottata inaspettatamente all'interno del sistema e anche in questa ipotesi, l'incremento della disoccupazione strutturale sarebbe transitorio, mentre i benefici di

una maggiore produttività sarebbero permanenti. Dunque, i vantaggi nel lungo termine sono sufficientemente elevati da motivare una riduzione dell'occupazione nel breve periodo. Nel dibattito sugli effetti dell'introduzione di nuove tecnologie significativo fu il contributo di David Ricardo (1823), il quale inizialmente sosteneva che l'adozione di macchinari nel processo produttivo fosse in genere vantaggiosa a prescindere da conseguenze negative nel breve periodo, ma nella terza edizione di "Principles of Political Economy" cambiò parere, affermando che la sostituzione del lavoro umano con le macchine causa un danno agli interessi dei lavoratori. Ricardo non reputava che la disoccupazione tecnologica fosse l'unica conseguenza del progresso tecnologico in un dato settore; però, se si considera la sua teoria del "fondo salariale", secondo la quale i capitali impiegati per l'acquisizione dei macchinari devono obbligatoriamente essere prelevati dai fondi disponibili per pagare i lavoratori, l'occupazione si potrebbe ridurre come risultato di investimenti nell'introduzione delle nuove tecnologie. Ricardo reputava che questo effetto di spiazzamento fosse una conseguenza momentanea e che, nel lungo periodo, un incremento della produttività avrebbe portato ad una riduzione dei prezzi, ad un aumento del risparmio, del consumo e, in un secondo momento, ad un aumento della domanda di lavoro. Perciò, anche Ricardo credeva che i vantaggi nel lungo periodo giustificassero l'incremento di disoccupazione nel breve. Questo orientamento verrà sviluppato alcuni secoli più tardi dall'economista inglese John Maynard Keynes che, nel suo saggio "Economic Possibilities for our Grandchildren" (1930), coniò il termine disoccupazione tecnologica, intesa come una fase di disoccupazione strutturale "causata dalla scoperta di strumenti atti a economizzare l'uso di manodopera e dalla contemporanea incapacità di tenerne il passo trovando altri utilizzi per la manodopera in esubero". Keynes si disse comunque fiducioso del futuro malgrado la "nuova malattia", infatti nello stesso saggio asseriva: "Quello di cui soffriamo non sono acciacchi della vecchiaia, ma disturbi di una crescita fatta di mutamenti troppo rapidi, e dolori di riassetto da un periodo economico a un altro. L'efficienza tecnica è andata intensificandosi con ritmo più rapido di quello con cui riusciamo a risolvere il problema dell'assorbimento della manodopera". Muovendo dalle considerazioni di Keynes, Charles Frederick Roos (1934) credeva che la diminuzione dei costi relativi ai licenziamenti di lavoratori in eccedenza (perché sostituibili) ha un effetto benefico sul sistema economico, finché vengono effettuati nuovi investimenti. Da tale movimento marginale, il lavoro viene liberato per essere impiegato in altre attività produttive e quindi è certo un perfezionamento degli standard di vita. La macchina, secondo Roos, rilascia il lavoro umano per utilizzarlo in maniera più produttiva in un'attività per la quale non è stata ancora inventata una macchina. Ancora, Roos spiega perché la questione della disoccupazione tecnologica riemerge nei periodi di depressione economica: quando i profitti calano, l'imprenditore esamina

attentamente i costi per cercare di minimizzarli. Poiché il costo della manodopera è il più elastico fra i fattori produttivi, è quello che viene esaminato per primo ed, eventualmente, rimpiazzato con altri meno costosi e più efficaci. Da questa situazione, nella visione di Roos scaturisce il timore della disoccupazione tecnologica. Degno di nota è il fatto che, escluso il Marxismo, intorno alla fine del XIX secolo, la discussione sul trattamento e la retribuzione dei lavoratori a seguito dell'adozione di nuove tecnologie sia pressoché scomparsa dalla politica economica, per poi riaffacciarsi, come annunciato da Roos, in momenti di crisi o di elevata disoccupazione.

## 1.2 Potenziale di automazione delle attività lavorative

A partire dalla sua istituzione nel 1990, il McKinsey Global Institute (MGI) mira ad accrescere la comprensione dello sviluppo dell'economia globale. In particolare, il MGI nel report "A future that works: automation, employment and productivity" (2016), intende valutare il potenziale di automazione insito nel mercato globale. Per farlo, vengono esplorati i dati derivati dall'Ufficio di statistica del lavoro degli Stati Uniti, grazie al quale è stato possibile esaminare dettagliatamente più di 2000 attività lavorative e valutarne il potenziale di automazione. Il risultato maggiormente evidente è che, mentre alcune occupazioni sono completamente automatizzabili, il 60% di tutte le occupazioni può essere automatizzato almeno per il 30%. Come illustrato nella figura 1 (*fonte: MGI, 2016*), il MGI ha individuato sette categorie di attività lavorative. Tre categorie hanno il più elevato potenziale tecnico per essere automatizzate:

1. lo svolgimento di attività manuali in ambienti prevedibili: circa un quinto delle attività lavorative svolte negli Stati Uniti rientrano in questa categoria, che ha il più elevato potenziale per essere automatizzata, ossia circa l'81%. Le tecnologie funzionano meglio in questi ambienti, dove i cambiamenti sono facili da anticipare. Si riferiscono principalmente ad attività nel settore manifatturiero, ai servizi di ristorazione e al retailing. Ad esempio nei ristoranti si stanno testando sofisticate tecnologie come camerieri robotici e robot adibiti alla preparazione di pietanze, che sono in grado di cucinare 400 hamburger in un'ora.
2. l'elaborazione di dati e la raccolta di informazioni: sono altre due categorie particolarmente suscettibili all'automazione. Queste attività sono comuni a quasi tutti i settori, che vanno dal personale delle risorse umane che registra la storia dei dipendenti fino al personale medico che redige le cartelle cliniche dei pazienti. Le organizzazioni hanno già da tempo automatizzato



attività come l'elaborazione delle buste paga, il calcolo del fabbisogno di risorse, la generazione di fatture e l'utilizzo di codici a barre per tracciare il flusso dei materiali. Grazie al progresso tecnologico, i computer stanno aumentando la qualità di queste attività. I sistemi di "automazione robotizzata dei processi" utilizzano software per automatizzare transazioni di dati ben definite attualmente eseguite da molti lavoratori.

Le altre quattro categorie di attività hanno un minore potenziale di automazione e includono:

1. l'esecuzione di attività manuali in ambienti imprevedibili: costituisce una quota elevata di settori quali la silvicoltura e l'edilizia. A titolo esemplificativo il MGI cita la gestione di una gru in un cantiere, la prestazione di assistenza medica come primo soccorso, la raccolta di rifiuti nelle aree pubbliche e l'installazione di materiale didattico. In questi esempi l'ambiente non è stabile e può cambiare in modo imprevedibile. Quindi svolgere queste attività richiede un elevato livello di flessibilità, che le rende più difficili da automatizzare.
2. l'interazione con gli stakeholder: può consistere nella spiegazione delle caratteristiche tecniche di un prodotto ai consumatori, far fronte alle lamentele ed ai reclami o fissare appuntamenti. Queste attività hanno un basso potenziale di automazione, attorno al 20%, in quanto rivestono un ruolo fondamentale le capacità sociali, linguistiche e cognitive, come il ragionamento logico e il problem solving.
3. l'applicazione delle competenze al processo decisionale: sono caratterizzate da un basso potenziale di automazione (18%) e comprendono attività atte a determinare gli obiettivi e interpretare i risultati. Si possono riscontrare nello sviluppo di un piano di marketing o nell'elaborazione di materiale pubblicitario.
4. la gestione e lo sviluppo delle persone: è la categoria meno suscettibile ad essere automatizzata (circa il 9%). Un esempio è l'istruzione scolastica. L'educazione è l'attività meno automatizzabile tra tutte quelle appartenenti a questa categoria, anche se la tecnologia digitale sta rafforzando sempre più la sua influenza, come testimoniato dalla moltitudine di lezioni didattiche disponibili online.

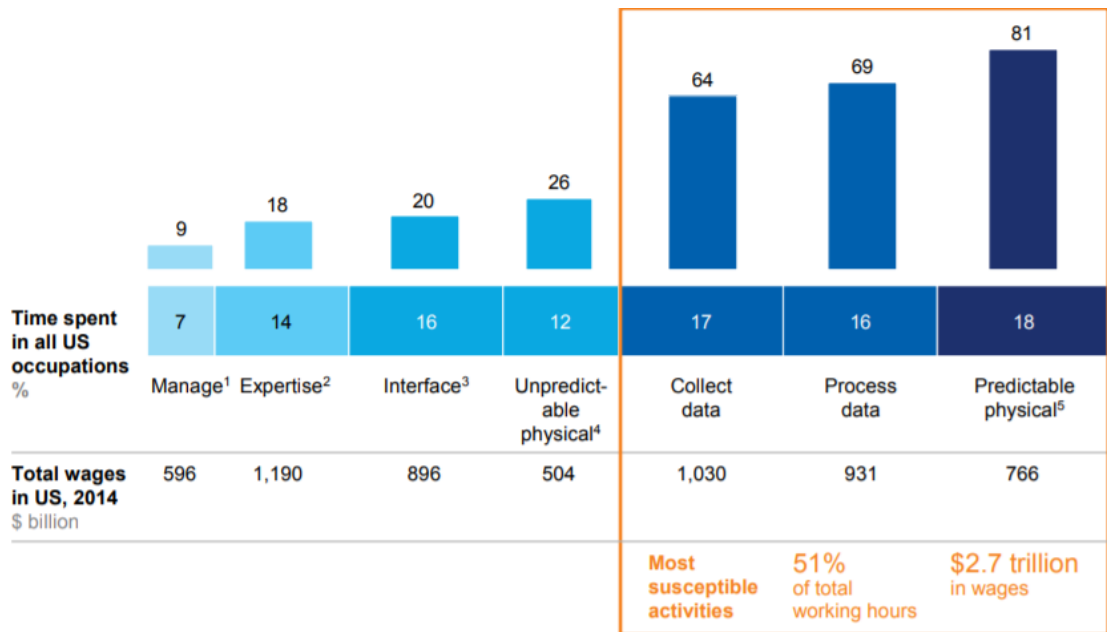


Figura 1. Potenziale di automazione di 7 categorie di attività lavorative. Fonte: McKinsey Global Institute (2016)

Autor, Levy e Murnane (2003) hanno avanzato un'altra classificazione delle attività in base al loro potenziale di automazione. Gli autori propongono per classificarle in due categorie.

Le attività che possono essere completamente automatizzate rientrano nella categoria delle "routine tasks". Si tratta di attività manuali e cognitive di livello medio: ad esempio i calcoli matematici relativi alla contabilità oppure l'esecuzione di un'attività manuale ripetitiva. Tali attività seguono procedure ripetitive e precise, pertanto vengono frequentemente codificate in software e svolte da macchinari o robot industriali. Vi sono però alcune professioni che non possono essere totalmente automatizzate, poiché molte attività possono essere comprese solo tacitamente e non è possibile codificarle in un algoritmo per permettere ad una macchina di svolgerle, questione che è stata racchiusa nel paradosso di Polanyi (1966), secondo il quale le attività più difficili da automatizzare sono quelle che implicano flessibilità, capacità di valutazione, discernimento, creatività ed intuizione che si acquisiscono solo tacitamente.<sup>1</sup> Perciò si è soliti definire questa macrocategoria di attività con l'espressione "non routine tasks", che a sua volta può essere suddivisa in due sottocategorie non suscettibili all'automazione. La prima chiamata *abstract* comprende attività che richiedono capacità di problem solving, intuizione, creatività e persuasione e sono caratteristiche di occupazioni manageriali e tecniche. La seconda sottocategoria invece è chiamata *manual* e include attività che richiedono capacità di adattamento al contesto, riconoscimento linguistico, visivo e la capacità di interagire di

<sup>1</sup> Gli economisti si riferiscono a questo fenomeno anche con il termine "paradosso di Moravec", in quanto Moravec (1988) scrisse: "È relativamente facile fare in modo che i computer forniscano performance a livello di un adulto in un test di intelligenza o al gioco degli scacchi, ma parlando di percezione o di mobilità è difficile o impossibile dar loro le capacità di un bambino di un anno".

persona. Inoltre Autor nella sua disamina sostiene che le attività che non sono totalmente automatizzabili possono essere affiancate dalle nuove tecnologie dell'informazione per renderle più efficaci ed efficienti. A sostegno di questa tesi vi è l'idea alla base della funzione di produzione O-ring elaborata da Kramer (1993). In tale modello, il fallimento in una fase della catena di produzione porta al fallimento l'intero processo produttivo. Analogamente, quando l'automazione o la computerizzazione rendono alcune fasi del processo produttivo più affidabili, economiche o veloci, questo aumenta il valore delle attività umane nel processo produttivo. La distinzione tra routine e non routine tasks è stata l'input a partire dal quale Autor (2003) ha elaborato il "task model", un modello che ha l'obiettivo di dimostrare in primo luogo che le routine tasks sono più facilmente automatizzabili mediante l'introduzione di robot industriali o intelligenze artificiali e in secondo luogo che un incremento degli input nelle routine tasks aumenta la produttività marginale delle non routine tasks. Il task model assume la forma di una funzione di produzione Cobb-Douglas:

$$Q = (L_S + C)^{1-\beta} L_{NS}^\beta, \quad \beta \in [0,1],$$

dove  $L_S$  e  $L_{NS}$  rappresentano la sensibilità delle attività all'automazione e  $C$  rappresenta il capitale informatico. L'offerta di lavoro è elastica rispetto ai livelli salariali, pertanto a seguito dell'incremento delle capacità di calcolo, i lavoratori operanti nelle attività suscettibili all'automazione ( $L_S$ ) riallocheranno la loro forza lavoro nelle attività meno suscettibili ( $L_{NS}$ ). Per evidenziare tali restrizioni, le  $L_{NS}$  possono essere riscritte come

$$L_{NS} = \sum_{i=1}^n (L_{PM,i} + L_{C,i} + L_{SI,i})$$

dove  $L_{PM,i}$ ,  $L_{C,i}$ ,  $L_{SI,i}$  rappresentano i vincoli all'automazione delle non routine tasks. In particolar modo  $L_{PM,i}$  si riferisce al fatto che i robot industriali non sono ancora in grado di eguagliare la profondità e l'ampiezza della percezione umana, dunque i loro sensori non sono ancora capaci di identificare oggetti e le loro caratteristiche in ambienti disordinati. La componente  $L_{C,i}$  si riferisce invece alla capacità creativa che le intelligenze artificiali non riescono a replicare, come comporre poemi ed elaborare teorie scientifiche. L'ultimo fattore  $L_{SI,i}$ , si collega all'intelligenza sociale, che al suo interno annovera abilità persuasive, interattive ed empatiche, che i robot non sanno identificare. In definitiva dunque tutte le occupazioni che implicano tali vincoli non possono essere sostituite da intelligenze artificiali, come mostra la figura 2 (fonte: Frey, C.B., Osborne, M., 2013), in cui all'aumentare dell'intelligenza sociale la probabilità di automazione tende a zero.

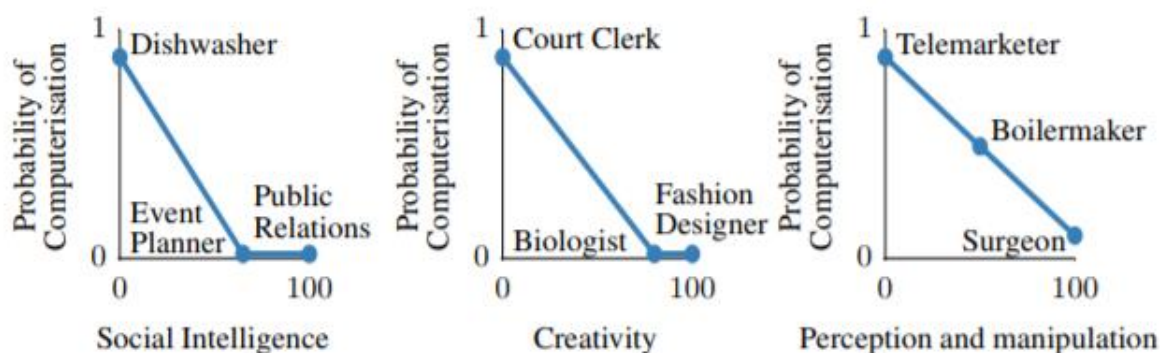


Figura 2. Probabilità di automazione. Fonte: Frey, C. (2013)

### 1.3 Interazione tra occupazione e automazione

La rilevazione che ciascuna attività lavorativa esibisce un differente potenziale di automazione ha avuto come immediata conseguenza il fenomeno che Goos e Manning (2003) hanno definito “job polarization”. Tale avvenimento si è manifestato nella forza lavoro nel momento in cui le professioni che richiedono un livello moderato di competenze, come gli operai del settore automobilistico, sembrano scomparire a favore delle attività che richiedono poche abilità e di quelle che invece richiedono un ampio spettro di conoscenze.

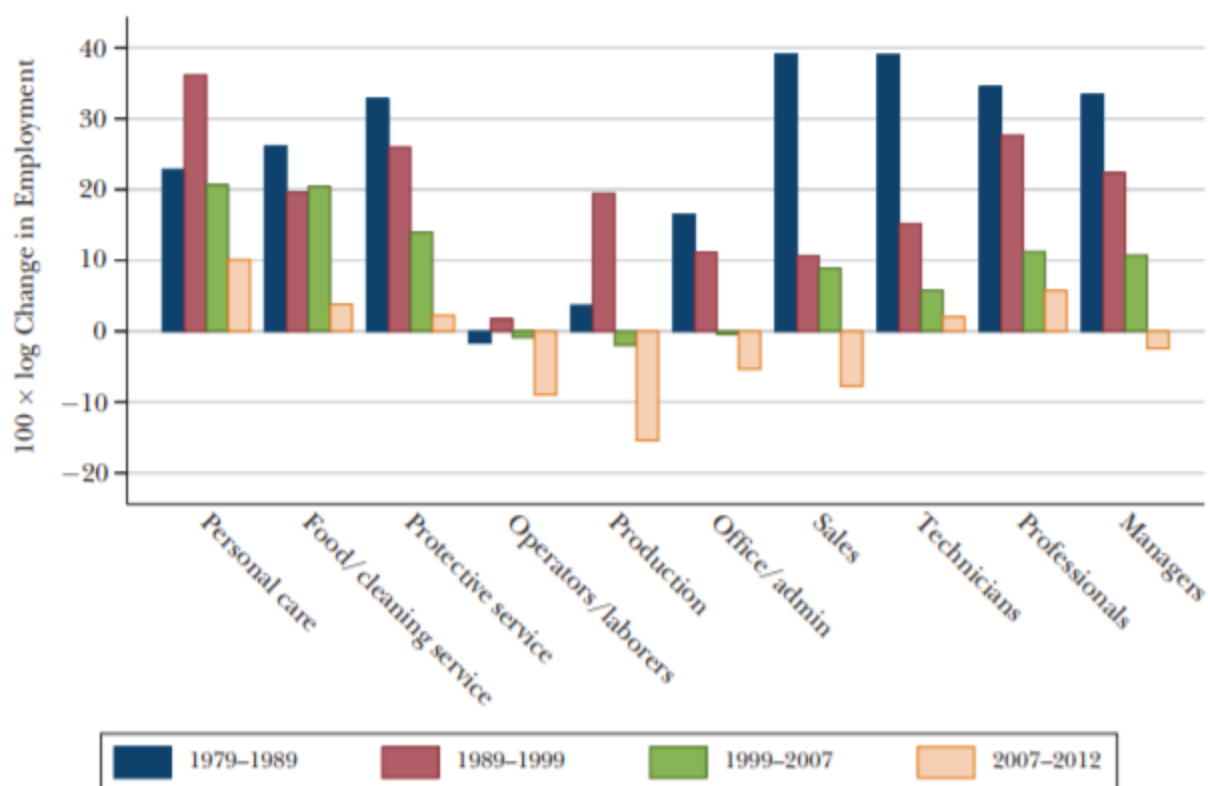


Figura 3. Cambiamento nell'occupazione dal 1979 al 2012 negli Stati Uniti. Fonte: Autor, D. (2015)

La figura 3 (fonte: Autor, D., 2015) evidenzia la job polarization, tracciando i cambiamenti delle percentuali nei dieci gruppi occupazionali per ogni decade dal 1979 al 2012 negli Stati Uniti.<sup>2</sup> Le dieci occupazioni a loro volta possono essere suddivise in tre gruppi. Nella parte destra del grafico vi sono le occupazioni manageriali, professionali e tecniche che implicano un elevato livello di educazione e sono altamente remunerate (*high skilled*). Muovendosi verso sinistra nel grafico, le successive 4 colonne evidenziano i cambiamenti dell'occupazione nelle professioni *middle skilled*, tra cui il supporto amministrativo. Invece nella parte sinistra del grafico le 3 colonne rimanenti illustrano l'andamento dell'occupazione nei servizi (*low skilled*), che Autor (2003) definisce attività che implicano la prestazione di assistenza per supportare altri individui. Goos e Manning evidenziano che la maggior parte delle persone impiegate nel settore dei servizi ha un livello di istruzione che non supera la scuola secondaria di secondo grado e la retribuzione oraria media in molti casi è inferiore rispetto alle altre 7 occupazioni presenti nel grafico. Come è possibile osservare nella figura, il rapido aumento dell'occupazione sia nelle professioni *high skilled* che in quelle *low skilled* ha ridotto la quota di occupazione in quelle *middle skilled*, le quali impiegavano il 60% della forza lavoro nel 1979 mentre nel 2012 la percentuale si è ridotta al 46%. Autor e Dorn (2013) sottolineano che il fenomeno della polarizzazione non è un tratto caratteristico esclusivo degli Stati Uniti, ma si è verificato anche in 16 paesi dell'Unione Europea, come illustrato nel grafico (fonte: Goos, Manning, 2014).

---

<sup>2</sup> Tra le occupazioni *high skilled* è possibile citare dirigenti aziendali, matematici, fisici, ingegneri. Le attività *middle skilled* comprendono impiegati d'ufficio, artigiani e operai del settore automobilistico, mentre quelle *low skilled* annoverano ad esempio autisti e coloro che erogano servizi di pulizia e sicurezza.

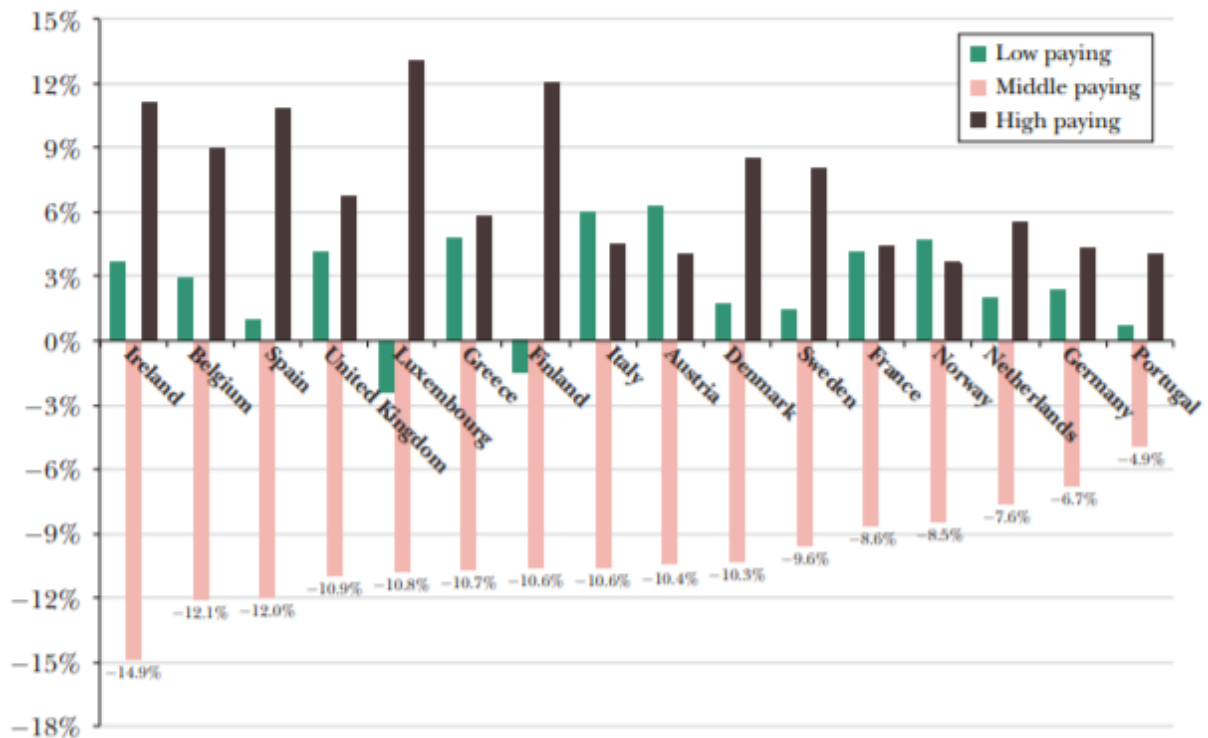


Figura 4. Il fenomeno della job polarization nell'Unione Europea. Fonte: Goos, Manning e Salomons. (2014)

#### 1.4 Interazione tra salari e automazione

Da quanto illustrato nelle figure 3 e 4 si potrebbe pensare che il fenomeno della polarizzazione si possa estendere non solo all'occupazione ma anche ai salari, ovvero aumentare la retribuzione sia nelle professioni *high skilled* sia in quelle *low skilled*. Tuttavia secondo Autor, giungendo a questa conclusione non si terrebbe in considerazione il ruolo svolto da tre forze mitiganti: la complementarità, l'elasticità della domanda e l'offerta di lavoro. Per quanto concerne la prima forza mitigante, Autor cita come esempio la complementarità tra le tecnologie dell'informazione e l'occupazione nel settore bancario, in modo particolare la relazione tra gli ATM e gli impiegati bancari. Gli ATM furono introdotti negli anni Settanta negli Stati Uniti e nel corso del tempo il loro numero è quadruplicato pressoché ovunque. Con la crescita esponenziale del loro numero, il ruolo degli impiegati negli sportelli bancari è mutato. Bessen (2015) ha osservato l'azione di due forze di segno opposto: in primo luogo, riducendo i costi operativi di una filiale bancaria, gli ATM hanno indirettamente provocato un aumento della domanda di impiegati; in secondo luogo al personale bancario è stato consentito di curare

maggiormente la relazione con il cliente e di erogare ulteriori servizi, dal momento che funzioni in precedenza svolte da loro sono state assorbite dagli ATM. Questo esempio però non può assurgere a paradigma, in quanto i lavoratori traggono maggior beneficio dall'automazione se svolgono attività che sono complementari alle tecnologie ma che non sono totalmente sostituibili da esse. Ritornando all'esempio precedente, un impiegato bancario che è in grado di distribuire la valuta ma che non è in grado di curare la relazione con i clienti sarà penalizzato dall'introduzione degli ATM e vedrà il salario decrescere all'avanzare dell'automazione.

L'elasticità dell'offerta di lavoro può mitigare i guadagni salariali. Per esempio, l'ingresso di nuovi impiegati nel settore bancario mitigherà qualsiasi guadagno salariale, dal momento che le attività svolte sono abbondantemente disponibili nell'economia. Un altro esempio è formulato da Hsieh e Moretti (2003), i quali documentano che l'ingresso nel settore immobiliare di nuovi agenti a seguito dell'aumento del prezzo delle case ha totalmente compensato i guadagni salariali che altrimenti si sarebbero verificati.

L'ultimo fattore, l'elasticità della domanda, può sia attenuare sia amplificare i guadagni dall'automazione. Nel caso di prodotti agricoli l'aumento della produttività, derivante dall'uso di nuove tecnologie, è stata accompagnata dal declino della quota di reddito familiare destinata al cibo. In altri settori, come l'assistenza sanitaria, i progressi tecnologici hanno invece condotto ad un aumento della spesa.

Nella sua analisi, Autor (2015) inizialmente esplora l'effetto dell'automazione sui salari nelle *non routine abstract task*, come le professioni manageriali, professionali e tecniche. Le tecnologie dell'informazione e l'automazione dovrebbero essere fortemente complementari a queste professioni. Infatti, riducendo drasticamente i costi e aumentando la portata delle informazioni e delle analisi a loro disposizione, l'informatizzazione consente ai lavoratori di svolgere le "abstract task" per specializzarsi ulteriormente nella loro area. Per lo stesso motivo, le tecnologie dell'informazione sostituiscono molte professioni di supporto a quelle sopra citate, come le segreterie mediche, l'assistente legale e l'assistente di ricerca. Se la domanda per gli output prodotti dalle "abstract task" è inelastica, gli incrementi di produttività potrebbero mitigare i guadagni salariali.

Per quanto concerne alla reazione che potrebbe avere l'offerta di lavoro, l'autore osserva che se i lavoratori potessero trasferirsi velocemente nelle professioni ad elevata istruzione, allora i guadagni salariali si annullerebbero. Ovviamente però, molte professioni richiedono titoli di studio elevati, pertanto il percorso che è necessario seguire per inserirsi nel mercato del lavoro è lungo dai cinque ai dieci anni. Infatti, nel 1975 il 40% delle ore lavorate dalla forza lavoro

maschile con meno di dieci anni di esperienza erano erogate da coloro in possesso di una laurea. Nell'ultimo decennio la quota di ore lavorate da lavoratori con meno di dieci anni di esperienza e in possesso di una laurea è aumentata: nel 2012 era pari al 52% delle ore lavorate dalla forza lavoro maschile e al 62% da quella femminile.

Le tecnologie dovrebbero incrementare i salari nelle professioni che fanno un uso intensivo delle “abstract task”, grazie alla combinazione di una serie di fattori, tra i quali l'elasticità della domanda dei servizi e l'inelasticità dell'offerta di lavoro nel medio-lungo periodo. Tali sinergie non riguardano invece le “manual task”, come assistenti di volo e addetti sanitari. Queste attività sono influenzate solo in parte dallo sviluppo tecnologico e implicano minime possibilità di essere automatizzate. Come osservato da Baumol (1967), anche nei settori tecnologicamente sottosviluppati (technologically lagging) i salari devono crescere nel corso del tempo per disincentivare i lavoratori ad abbandonare tali settori ed entrare in altri più sviluppati dal punto di vista tecnologico. Quindi mentre le nuove tecnologie hanno fortemente contribuito a creare il fenomeno della polarizzazione dell'occupazione, non ci si attende che i cambiamenti nell'occupazione culmineranno in una polarizzazione dei salari, ad eccezione di alcuni momenti o in certi mercati del lavoro. Infatti, Autor e Dorn (2013) evidenziano che i salari delle manual task crebbero durante gli anni Novanta quando il mercato del lavoro era estremamente rigido, ma dopo il 2000 l'occupazione nelle manual task aumentò mentre i salari in queste occupazioni diminuirono. Un'illustrazione dell'andamento dei salari è riportata nel grafico 5 (*fonte: Autor, D. 2015*), in cui l'asse orizzontale rappresenta il salario orario medio mentre l'asse verticale mostra la variazione percentuale nei salari considerando anche le abilità richieste da ciascuna attività. Si può osservare che tra il 1979 e il 2007 i salari crebbero costantemente nelle occupazioni che richiedono elevate abilità (ovvero le occupazioni professionali, tecniche e manageriali menzionate in precedenza). Invece la crescita dei salari nelle attività che richiedono un livello inferiore di conoscenze (*middle skilled*) è stata meno rapida e ha rallentato nel corso del tempo. L'andamento delle retribuzioni nelle occupazioni low skilled ha visto un andamento negativo a partire dal 2000 quando ha assunto anche valori negativi e ciò può essere spiegato dal fatto che il declino nell'occupazione nelle attività middle skilled ha costretto molti lavoratori ad entrare nella categoria delle occupazioni low skilled. Un tratto comune dell'andamento dei salari può essere ricercato nel fatto che durante gli anni della Grande Recessione dal 2007 al 2012, le retribuzioni calarono pressoché ovunque. Il premio Nobel 2012 Christopher Pissarides ritiene invece che l'automazione arresti la crescita dei salari dei lavoratori *low skilled*. Egli sostiene che i policy maker dovrebbero sopportare gli sforzi per aggiornare ed affinare le competenze dei lavoratori nella fascia bassa. Questo perché le nuove tecnologie, come



l'intelligenza artificiale, certamente sostituirebbero alcuni posti di lavoro, e i lavoratori senza occupazione devono essere in grado di adattarsi ai nuovi posti di lavoro che verranno creati in seguito dalle tecnologie.

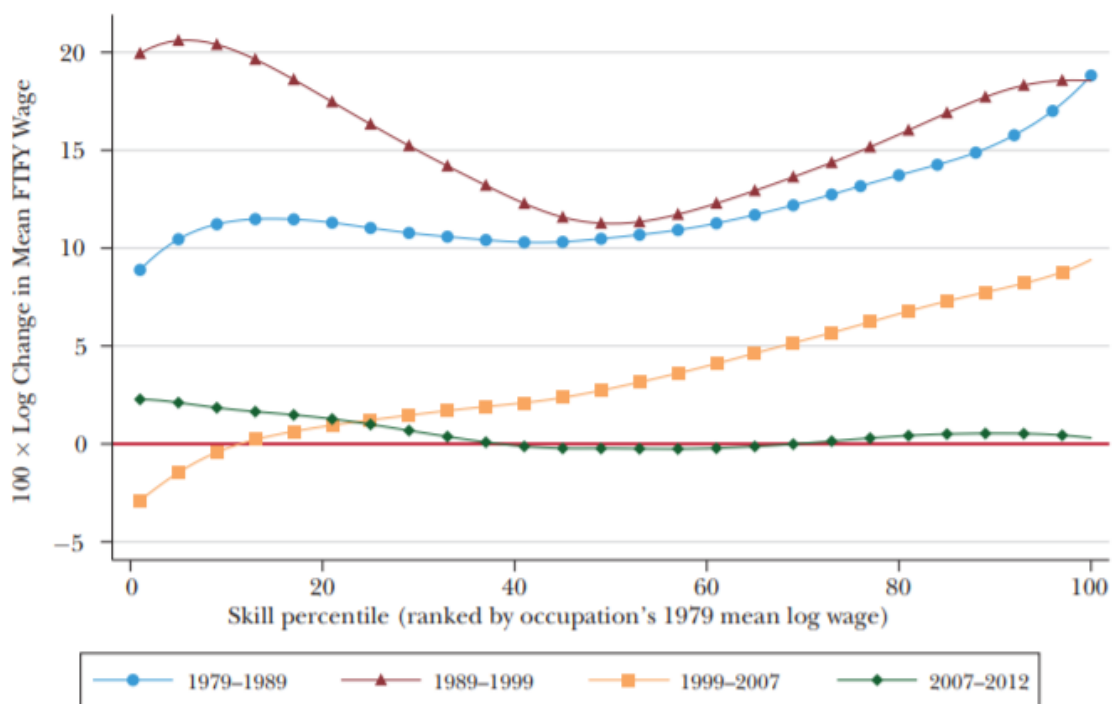


Figura 5. Cambiamenti nei salari nelle diverse occupazioni. Fonte: Autor, D. (2015)

Inoltre, il McKinsey Global Institute (2016) si è chiesto se i salari orari possano essere dei fattori usati per prevedere il potenziale di automazione delle attività. Come illustrato nella figura 6 (fonte: McKinsey Global Institute, 2016), l'evidenza empirica suggerisce che vi sia una correlazione negativa tra i salari orari e il potenziale di automazione ma vi è anche un elevato grado di variabilità, perciò i salari non sono in grado di prevedere il potenziale di automazione delle attività, infatti una buona parte dei lavori altamente retribuiti possono essere automatizzati.<sup>3</sup> I lavoratori che guadagnano meno di 15\$ l'ora svolgono attività che hanno il più elevato potenziale per essere automatizzate, mentre coloro che guadagnano tra i 15\$ e i 30\$ all'ora hanno una probabilità di essere automatizzati pari al 46%. Al di sopra di questo livello salariale non vi è un evidente correlazione tra i salari e il potenziale di automazione del lavoro, infatti più di 17 milioni di lavoratori americani guadagnano tra i 30\$ e i 45\$ l'ora, ma il

<sup>3</sup> Il McKinsey Global Institute ha rilevato che la correlazione tra i salari e il potenziale di automazione è significativa (p-value < 0,01) ma vi è un elevato grado di variabilità ( $r^2=0,19$ ).

potenziale di automazione delle loro attività è simile a quello dei lavoratori che percepiscono dai 90\$ ai 105\$ l'ora.

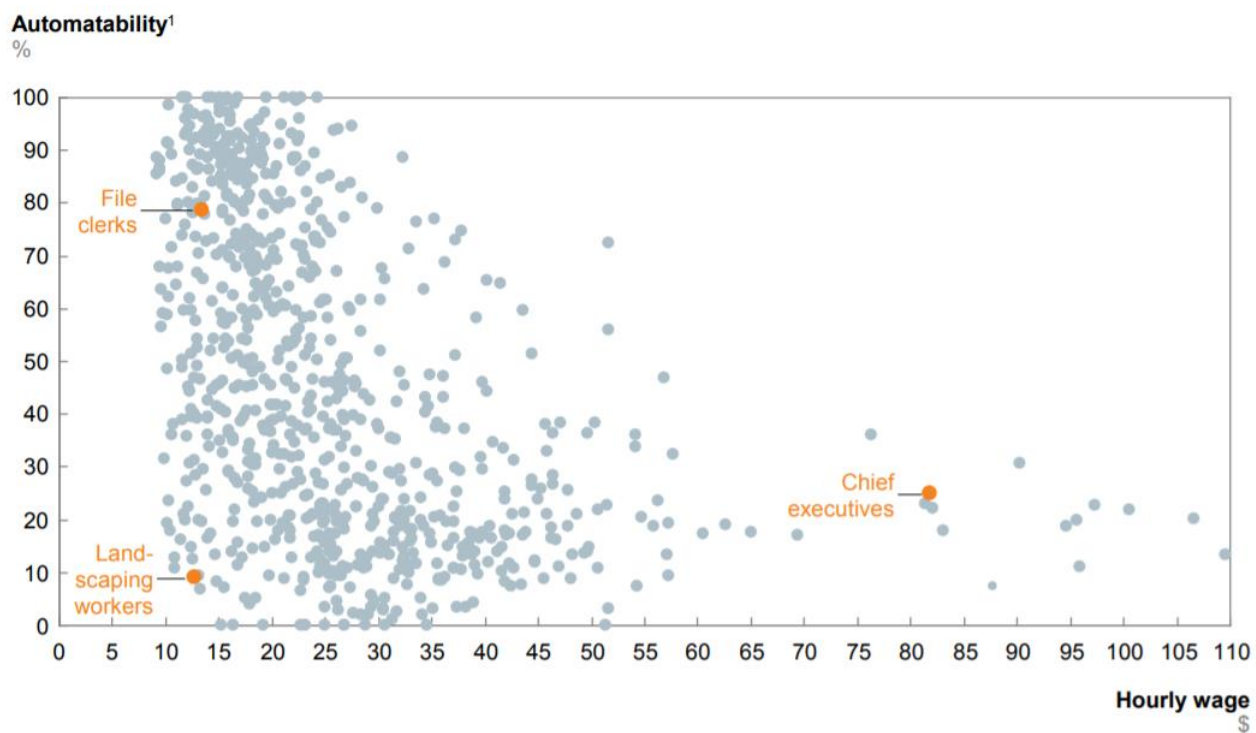


Figura 6. Relazione tra potenziale di automazione e salario orario. Fonte: MGI (2016)

## 2. Evidenze empiriche ed econometriche

A partire dagli anni Ottanta, alcuni economisti hanno iniziato a raccogliere dati per fornire evidenze empiriche e costruire modelli econometrici allo scopo di stimare gli effetti dell'automazione sul mercato del lavoro.

### 2.1 Relazione tra produttività del lavoro e automazione

Acemoglu (2014) si è chiesto se il sopra citato fenomeno della polarizzazione sia stato in parte causato dall'impatto delle tecnologie sulla produttività del lavoro. L'autore ha esaminato il database NBER-CES dell'industria manifatturiera, per stimare e tracciare una semplice regressione che mostri la relazione tra gli investimenti nelle nuove tecnologie e la produzione di un settore, considerando un arco temporale compreso tra il 1980 e il 2009. La regressione assume la forma:

$$\log Y_{jt} = \gamma_j + \delta_t + \sum_{t=81}^{09} \beta_t \times IT_j + e_{jt},$$

dove  $Y$  è la produzione industriale (espressa in logaritmi),  $\delta_t$  è una dummy che esprime il tempo,  $IT$  è una misura statica del grado di automazione nell'industria ed  $e$  è il termine di errore. In particolare, l'intensità del grado di automazione  $IT$  è data dal rapporto tra la spesa sostenuta per l'acquisizione di nuove tecnologie e la spesa totale in conto capitale. Questa regressione normalizza il coefficiente sulla variabile  $IT$  a zero, pertanto la serie  $\{\beta_{81}, \beta_{82}, \dots, \beta_{09}\}$  rappresenta il coefficiente su  $IT$  di ogni anno a partire dal 1980.

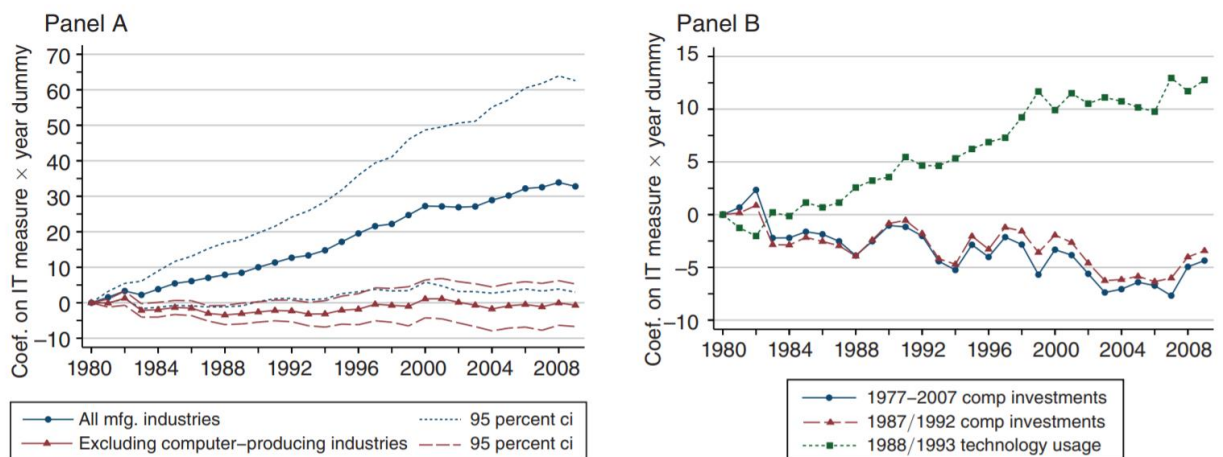


Figura 7. Relazione tra produttività ed intensità di automazione. Fonte: Acemoglu D. (2014)

La figura 7A (fonte: Acemoglu, D., 2014) mostra la relazione tra il livello di produttività dell'industria e il tempo; come è possibile osservare, vi è una marcata differenza nella crescita della produttività tra i settori che investono nelle nuove tecnologie e quelli che non fanno

altrettanto. Tuttavia la crescita nei settori più sviluppati ha rallentato negli anni 2000 fino ad arrestarsi nel 2009, quando i guadagni di produttività si sono annullati.<sup>4</sup> Tale andamento sembrava collimare con il paradosso di Solow (1987), dall'economista americano che affermava “si può vedere l'era dei computer dappertutto, tranne che nelle statistiche di produttività”, in quanto sosteneva che l'avvento della tanto celebrata rivoluzione informatica non ha generato quella crescita economica che sarebbe stata lecito aspettarsi. Un esempio risiede nel settore bancario americano. Shu e Strassmann (2005) hanno esaminato 12 banche operanti negli Stati Uniti nel periodo 1989-1997 e hanno evidenziato che le tecnologie, pur riducendo i costi operativi (*cost effect*) e facilitando le transazioni (*network effect*), non sono in grado di aumentare la produttività. Una possibile spiegazione a questa tendenza può essere ricercata nel fatto che il modello di regressione elaborato sia fuori luogo, poiché forse gli incrementi di produttività derivanti dagli investimenti nelle nuove tecnologie si stanno verificando altrove. I dati disponibili nel sopra citato database non permettono di escludere questa possibilità e Stiroh (2002) sottolinea che l'aumento della produttività a seguito dell'automazione è stato più pronunciato nel settore manifatturiero rispetto agli altri. Una seconda possibile spiegazione per questi risultati inaspettati è che il metodo utilizzato per misurare gli investimenti nelle tecnologie dell'informazione, che si basa sulla media aritmetica degli investimenti dal 1977 al 2007, non riesca a cogliere il segno. Plausibilmente infatti sarebbe più opportuno concentrarsi su un orizzonte temporale maggiormente ristretto rispetto a riferirsi a 3 decenni. Un'ultima spiegazione infine risiede nel fatto che la regressione non sia in grado di evidenziare le innovazioni che sono integrate nelle nuove tecnologie di produzione, come computer a controllo numerico e sistemi di guida automatica di veicoli. Per esaminare questa questione, l'autore esplora i dati contenuti nel *Survey of Manufacturing Technology* (SMT) condotto nel 1993, in cui sono state raccolte informazioni sull'utilizzo di 17 tecnologie di produzione avanzate. La figura 7B documenta che la produttività del lavoro crebbe rapidamente nell'industria manifatturiera durante gli anni Ottanta, raggiunse il suo apice negli anni Novanta per poi rallentare dopo il 1999. I dati del SMT si riferiscono esclusivamente a 5 settori in cui le 17 tecnologie sono maggiormente utilizzate, pertanto l'autore riformula il modello considerando solo tali 5 settori<sup>5</sup>. I risultati, riportati nella figura 7B, indicano che l'ammontare degli investimenti in computer è debole indicatore della crescita di produttività in questi 5 settori. Eyadat e Kozak (2005) esaminano invece l'impatto del progresso tecnologico sui profitti

---

<sup>4</sup> Houseman, Bartik e Sturgeon (2013) sottolineano che la crescita di produttività nell'industria manifatturiera statunitense negli ultimi due decenni è dovuta alle industrie che producono nuove tecnologie. Infatti, al di fuori di queste industrie vi è una debole relazione tra gli investimenti nelle nuove tecnologie e l'aumento di produttività.

<sup>5</sup> I 5 settori comprendono fabbricazione di prodotti metallici, apparecchi elettronici, mezzi di trasporto e strumenti relativi a prodotti industriali (ad esclusione delle industrie produttrici di computer).

e sull'efficienza dei costi nel settore bancario statunitense nel periodo 1992-2003. Gli autori mostrano l'esistenza di una correlazione positiva tra l'implementazione di nuove tecnologie da un lato e la redditività e la riduzione dei costi dall'altro. In particolare, hanno esaminato i dati contenuti nel database Worldscope, che contiene informazioni relative a 68 banche statunitensi dal 1986 al 2005, allo scopo di provare che gli investimenti nelle IT hanno aumentato la redditività delle banche. I risultati sono contenuti nella tabella seguente (fonte: Sushanta K., 2008).

Tabella 1 Relazione tra investimenti nelle ICT e redditività. Fonte: Sushanta, K. (2008)

PANEL REGRESSIONS FOR BANK PROFITS ( $\pi_t$ )			
	Model 1	Model 2	Model 3
Constant	0.052 (0.079)	-0.259** (0.077)	-0.138 (0.439)
$p_t$	1.365** (0.043)	1.797** (0.053)	1.246** (0.194)
$IT_t$	-0.017** (0.005)	-0.099** (0.014)	-0.103** (0.035)
$W_t$	1.202** (0.024)	1.394** (0.035)	1.226** (0.257)
$Q_t$	-0.167** (0.022)	-0.293** (0.028)	-0.096 (0.231)
Instruments	—	—	$x_{t-1}$ ; $IT_{t-1}$ ; $C_t$ ; $H_t$
		Hausman test: $\chi^2(4) = 139.02$ ( $p$ value = 0.00)	
Adjusted $R^2$	0.99	0.98	0.99
Banks	68	68	68
Observations	1293	1293	1225

In cui la variabile  $p_t$  rappresenta il prezzo medio,  $IT_t$  indica le spese sostenute per l'adozione della nuova tecnologia,  $W_t$  rappresenta il costo del personale mentre  $Q_t$  indica altri costi operativi. Ad eccezione del prezzo medio, tutte le altre variabili sono espresse in logaritmi per misurare le rispettive elasticità. Le stime sono state condotte mediante l'approccio FGLS (feasible generalized least squares). I coefficienti positivi associati al costo del personale suggeriscono che, nel settore bancario, l'adozione di nuove tecnologie richiede manodopera altamente qualificata che, sebbene richieda elevati salari, garantisce un'elevata produttività e di conseguenza contribuirebbe ad incrementare i profitti. Beccali (2007) avverte questa considerazione, giungendo a tre conclusioni diametralmente opposte:

1. La quota di mercato (determinata con l'Herfindahl-Hirschman index) non è influenzata dall'automazione.

2. I prezzi sono positivamente correlati con la redditività ed esiste una relazione negativa tra gli investimenti nelle nuove tecnologie e i profitti.

3. Banche con elevati livelli di tecnologia hanno una minore redditività e ciò significa che la riduzione dei prezzi, resa possibile dall'efficienza delle tecnologie che riducono i costi, non è sufficiente a compensare la perdita derivante dalle esternalità negative.

Beccalli inoltre estende queste conclusioni anche al settore dei servizi nel suo complesso, aggiungendo che nonostante le banche investano molto nell'implementazione di nuove tecnologie, vi è una debole relazione tra gli investimenti nelle IT e la redditività e questo indica l'esistenza di un paradosso della redditività. In ultima analisi, Sushanta e Shirley (2008) evidenziano che la relazione tra gli investimenti in nuove tecnologie e la redditività è condizionata dall'intensità dei network effect: se è debole, gli investimenti nelle ICT tenderanno a ridurre i costi del personale ed incrementare i profitti. Tuttavia, gli autori suggeriscono che nel settore bancario statunitense vi è un forte network effect, pertanto l'effetto complessivo sui profitti è negativo e questo sembra avvallare le conclusioni di Beccalli.

## 2.2 Effetto dell'automazione sul mercato del lavoro statunitense

Acemoglu e Restrepo (2016) hanno stimato gli effetti dell'introduzione dei robot industriali nel mercato del lavoro statunitense, avvalendosi di modelli economici ed empirici che illustrano per quale motivo le nuove tecnologie potrebbero ridurre l'occupazione e i salari. Gli autori evidenziano che l'influenza dei robot nei mercati del lavoro locali sono determinati dall'occupazione di base in un'industria e dall'aumento nazionale dei robot per ogni lavoratore nella stessa industria. I risultati stimano l'impatto dell'introduzione dei robot dal 1993 al 2007 in alcuni mercati di lavoro locali e rilevano una correlazione negativa con l'occupazione ed i salari, in particolare un robot riduce l'occupazione di 7 posti di lavoro mentre un robot ogni 100 lavoratori riduce i salari dell'1,6%. Inoltre, Acemoglu sottolinea come i più colpiti siano i lavoratori dotati di competenze ordinarie che svolgono attività routinarie ed il settore manifatturiero. Tuttavia l'impatto globale dei robot industriali nel periodo in esame è stato contenuto, dal momento che i robot spiegano solo lo 0,65% del declino nell'occupazione. Successivamente, Acemoglu considera i dati relativi a 722 zone negli Stati Uniti, dove ciascuna zona coincide con un mercato del lavoro locale, rilevati ogni anno dal 1988 al 2014.

Tabella 2. Stime dei cambiamenti nell'occupazione dal 1990 al 2007. Fonte: Acemoglu, D. (2016)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Panel A. Census employment to population ratio.</i>						
Change in exposure to robots from 1993 to 2007	-0.013*** (0.005)	-0.012*** (0.003)	-0.010*** (0.002)	-0.010*** (0.002)	-0.011*** (0.003)	-0.015*** (0.005)
Observations	722	722	722	722	717	714
<i>Panel B. CBP employment to population ratio.</i>						
Change in exposure to robots from 1993 to 2007	-0.025** (0.010)	-0.021*** (0.005)	-0.017*** (0.005)	-0.016*** (0.005)	-0.009** (0.004)	-0.022** (0.010)
Observations	722	722	722	722	716	714
<i>Covariates &amp; sample restrictions:</i>						
Census division dummies	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Demographics		✓	✓	✓	✓	✓
Broad industry shares			✓	✓	✓	✓
Trade and routinization				✓	✓	✓
Down-weights outliers					✓	
Removes highly exposed areas						✓

Dalla tabella 2 (fonte: Acemoglu D., 2016) emergono le stime del cambiamento nell'occupazione e nei salari dal 1990 al 2007. Si può osservare che negli Stati Uniti il numero di robot è cresciuto fino a raggiungere la quota di uno ogni cento lavoratori. Pertanto negli Stati Uniti, dal 1990 al 2007, i robot hanno ridotto l'occupazione dello 0,7% e i salari dell'1,6%.

Per ottenere ulteriori rilevazioni empiriche più recenti, Carbonero et al (2018) ricorrono ai dati disponibili nel World Input Output Database che contiene le informazioni relative a 41 paesi per il periodo 2005-2014. Da questi dati emerge che nel 2014 i robot industriali furono adottati principalmente in Giappone, negli Stati Uniti, nelle maggiori economie europee, ma anche in alcuni paesi in via di sviluppo come Cina, India e Brasile. Considerando il fatto che i robot eseguono attività in modo efficace ed efficiente un numero pressoché infinito di volte, in alcuni settori industriali connotati da lavoratori che eseguono attività ripetitive potrebbe essere conveniente sostituirli con dei robot industriali. Per questa ragione si osserva il cambiamento della densità dei robot (robot ogni 10000 lavoratori) tra il 2005 e il 2014. Dai dati emerge che, a livello globale, i robot hanno trovato una diffusione più capillare nei settori ad elevata intensità di lavoro. Questo è un tratto caratteristico delle economie sviluppate, mentre in quelle in via di sviluppo il numero di robot è aumentato anche in altri settori, come ad esempio nella lavorazione della gomma e della plastica. Nella figura è illustrato l'andamento temporale della produzione di robot relativo ad alcuni paesi: in modo particolare, la Cina a partire dal 2013 ha installato più robot di ogni altro paese al mondo, la Corea del Nord è uno dei maggiori investitori mondiali nelle nuove tecnologie, mentre l'Italia mostra un andamento in declino.

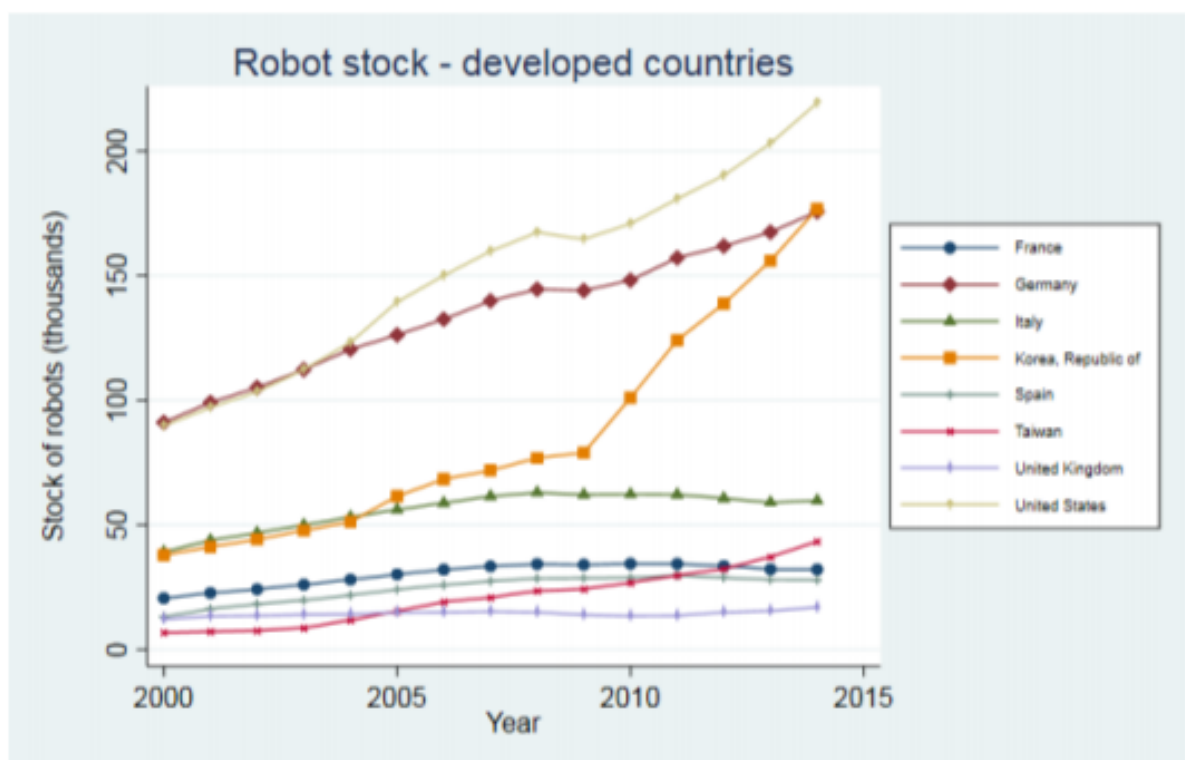


Figura 8. Andamento temporale della produzione di robot. Fonte: Carbonero et al. (2018)

Gli autori conducono la loro analisi assumendo che l'output  $Y$  nel settore  $i$ , paese  $j$  e anno  $t$  sia prodotto attraverso la combinazione di lavoro  $L$  e robot  $R$ , pertanto  $Y_{i,j,t} = F(N_{i,j,t}, R_{i,j,t})$ . Inoltre se denotiamo il salario con  $W_{i,j}$ , la domanda di lavoro risulta essere:

$$N_{i,j,t} = F(Y_{i,j,t}, W_{i,j}, R_{i,j,t})$$

Come osservato in precedenza, nelle economie sviluppate il numero di robot aumenta più rapidamente nei settori ad alta intensità di lavoro. Tale modello deve però affrontare alcune questioni legate all'endogeneità. La prima è che sia gli investimenti effettuati nei robot sia nei lavoratori potrebbero essere influenzati da fluttuazioni transitorie nel corso del ciclo economico che potrebbero non far cogliere appieno gli effetti. La seconda riguarda la casualità inversa: per esempio, l'abbondanza di manodopera potrebbe far diminuire l'incentivo a installare robot. Per mitigare il primo problema è possibile seguire quanto proposto da Karabarounis e Neiman (2013), che utilizzano il logaritmo di ciascuna variabile strumentale, mentre per quanto concerne la seconda questione è possibile utilizzare un indice di progresso tecnologico  $TP$ . Si considera la capacità dei robot di eseguire attività differenti, seguendo l'idea che maggiori e diverse attività svolte da robot differenti riflettono il progresso tecnologico, mentre una concentrazione di un complesso di robot uguali tra loro che svolgono lo stesso compito è stata definita da Acemoglu e Restrepo (2018) con il termine "capital deepening", che può essere



intesa come il miglioramento delle tecnologie esistenti che fanno aumentare la produttività delle attività già automatizzate ed innalzano la domanda di lavoro. Per questa ragione si calcola la quota di robot richiesta da ogni attività e successivamente l'indice di progresso tecnologico TP, ottenuto come l'inverso della deviazione standard della quota di robot nell'anno t. Di conseguenza, maggiore è la capacità dei robot di eseguire differenti attività, minore sarà la deviazione standard e maggiori saranno sia l'indice TP che il "capital deepening".

La regressione assumerà dunque la forma seguente:

$$N_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 robot_{i,j} + \beta_2 robot_{i,j} \times li_{2005} + \beta_3 li_{2005} + \beta_4 VA_{ij} + \beta_5 W_{ij} + u_{ij}$$

Tabella 3 Relazione tra implementazione di robot industriali e occupazione. Fonte: Carbonero (2018)

Dependent variable: employment	World		Dev-ep countries		Dev-ing countries	
robot stock	-0.032**	-0.027**	-0.000	-0.005	-0.031*	-0.010
	(0.013)	(0.012)	(0.005)	(0.007)	(0.018)	(0.014)
robot stock × labour intensity		-0.037**		0.012		-0.108***
		(0.019)		(0.010)		(0.027)
labour intensity	-0.000	0.012	0.003	0.002	-0.010	0.055***
	(0.005)	(0.008)	(0.004)	(0.004)	(0.008)	(0.013)
N	477	477	360	360	117	117
R <sup>2</sup>	0.90	0.91	0.85	0.86	0.93	0.95

La tabella 3 (fonte: Carbonero, 2018)<sup>6</sup> mostra i risultati della regressione condotta mediante l'approccio OLS. A livello globale, l'effetto stimato dell'installazione di robot ha un coefficiente di -0,032, con un livello di significatività del 5%. Ciò significa che un aumento di un punto percentuale dello stock di robot fa diminuire l'occupazione dello 0,032%. Per quantificare l'impatto, se il numero medio di robot aumenta più del 20%, come accaduto tra il 2005 ed il 2014, l'occupazione diminuisce dello 0,8%. L'impatto è condizionato dall'intensità di lavoro: le industrie ad alta intensità di lavoro rivelano un impatto maggiore di un terzo rispetto ai settori ad elevata intensità di capitale. Questa differenza è imputabile ai paesi in via di sviluppo, con un coefficiente di -0,031, mentre i settori ad alta intensità di lavoro in questi paesi sono quelli più colpiti dall'automazione, con un effetto negativo di -4,3%. Nella tabella successiva (fonte: Carbonero, 2018) vengono mostrati i risultati della regressione condotta con l'approccio IV.

<sup>6</sup> All'interno delle parentesi sono indicati gli errori standard mentre gli asterischi \*, \*\*, \*\*\* indicano rispettivamente un livello di significatività dello 0,1, 0,05 e 0,01.

Tabella 4 Relazione tra implementazione di robot industriali e occupazione. Fonte: Carbonero (2018)

Dependent variable: employment	World		Dev-ep countries		Dev-ing countries	
robot stock	-0.055**	-0.044**	-0.029***	-0.034***	-0.343***	-0.329
	(0.028)	(0.018)	(0.009)	(0.009)	(0.112)	(0.480)
robot stock × labour intensity		-0.023		0.012		-0.011
		(0.044)		(0.019)		(0.411)
labour intensity	0.007	0.015	0.002	0.001	-0.016	-0.010
	(0.008)	(0.015)	(0.005)	(0.005)	(0.021)	(0.217)
N	477	477	360	360	117	117
R <sup>2</sup>	0.84	0.85	0.80	0.80	0.35	0.38

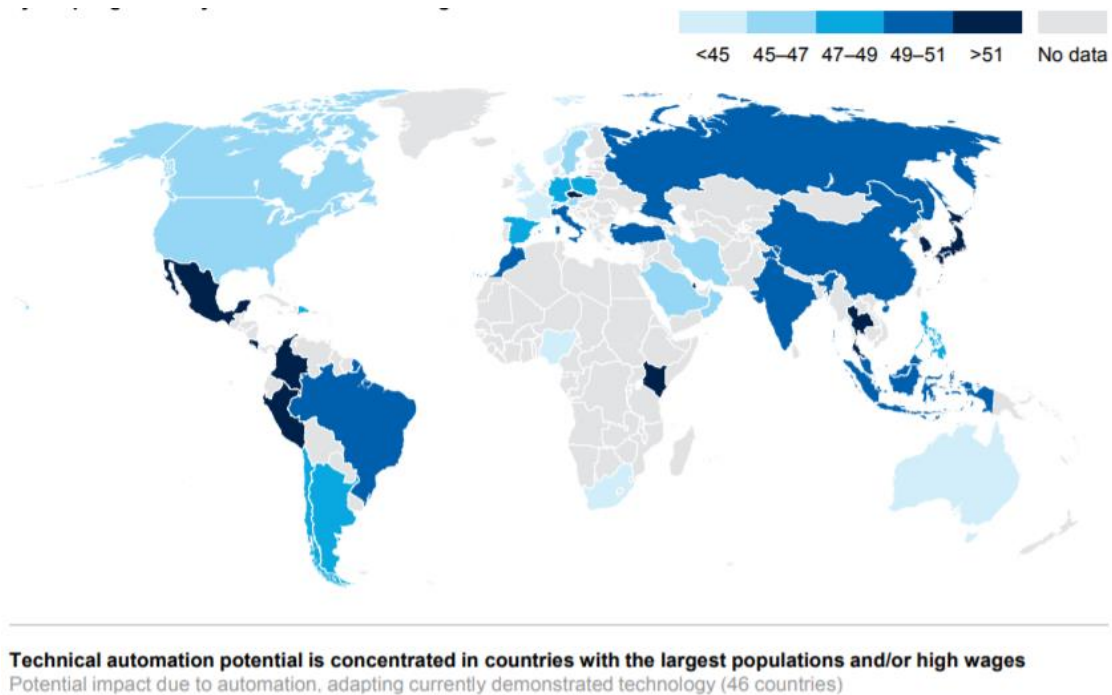
Tutti i coefficienti sono maggiori rispetto a quelli con il metodo OLS e possono essere considerati più precisi. A livello globale tra il 2005 e il 2014, si ottiene un impatto negativo sull'occupazione dell'1,3%. Nei paesi sviluppati si osserva un effetto negativo sull'occupazione dello 0,54% mentre nelle economie in via di sviluppo, le stime riflettono una riduzione dell'occupazione di quasi il 14%. Per valutare le stime ottenute, è possibile confrontarle con quelle di Acemoglu e Restrepo (2017), secondo i quali un robot aggiuntivo riduce l'occupazione di 5,6 lavoratori, ovvero dello 0,52% (o dello 0,57% se si considerano i paesi sviluppati), pertanto i risultati sono in linea con quelli trovati nel modello elaborato da Carbonero.

### 3. Possibili scenari futuri

Nei prossimi decenni gli economisti prevedono che la crescente automatizzazione delle attività lavorative implicherà l'istituzione di nuove professioni e la sostituzione di altre. Qualora gli impieghi prodotti dal progresso tecnologico non saranno in grado di bilanciare il numero di lavoratori rimpiazzati, il sistema economico dovrà fronteggiare problemi di disoccupazione e di ripartizione della ricchezza.

#### 3.1 Dove si concentra il potenziale per l'automazione

Secondo una ricerca condotta dal McKinsey Global Institute (2016), la quota più massiccia del potenziale per l'automazione si concentra in Cina, India, Giappone, Stati Uniti e nelle maggiori economie europee, ovvero in tutti i paesi con la popolazione più numerosa e/o con i salari maggiormente elevati. Infatti questi paesi nel loro insieme contano 8 miliardi di dollari di salari e 700 milioni di lavoratori.



*Figura 9 Dove si concentra il potenziale per l'automazione. Fonte: MGI. (2016)*

Vi sono due esempi che illustrano la differenza nel potenziale di automazione. Il primo riguarda il confronto tra Cina e India. Entrambi i paesi possono vantare la forza lavoro più numerosa del pianeta e hanno un simile potenziale per l'automazione, che corrisponde circa al 50%. Inoltre hanno simili settori trainanti: l'industria manifatturiera e il retail rivestono un ruolo chiave in Cina mentre l'agricoltura rappresenta una quota significativa dell'occupazione in India. Ancora, l'India ha un numero più elevato di addetti alla cucitura e saldatura impegnati nell'industria manifatturiera rispetto alla Cina, ed entrambe le professioni hanno un elevato potenziale di automazione se si rapportano ad altre, come la gestione e lo sviluppo delle risorse umane e i tecnici specializzati, che invece si distinguono per essere meno suscettibili all'automazione. Il secondo esempio mira invece ad evidenziare le differenze tra il Giappone e gli Stati Uniti. Complessivamente le attività lavorative svolte nell'economia giapponese hanno un potenziale di automazione pari al 55%, la percentuale è inferiore negli Stati Uniti, in cui il 46% delle attività lavorative è automatizzabile. Questa differenza è dovuta ad un differente peso dei singoli settori nelle due economie. Per esempio, il potenziale di automazione dell'economia Giapponese si concentra maggiormente nell'industria manifatturiera (71%) e nelle attività di supporto amministrativo, mentre invece nell'economia statunitense rivestono un ruolo preponderante attività ingegneristiche e l'architettura che hanno un minore potenziale di automazione dal momento che richiedono l'applicazione di competenze che i robot non sono in grado di riprodurre.

Tuttavia, anche se le tecnologie dell'automazione si stanno sviluppando velocemente, il percorso da compiere per raggiungere la completa adozione è ancora lungo ed impiegherà alcuni decenni. Secondo il MGI, nel prossimo futuro non si potrà non considerare alcuni fattori che sono in grado di influenzare la velocità dello sviluppo e dell'adozione delle nuove tecnologie:

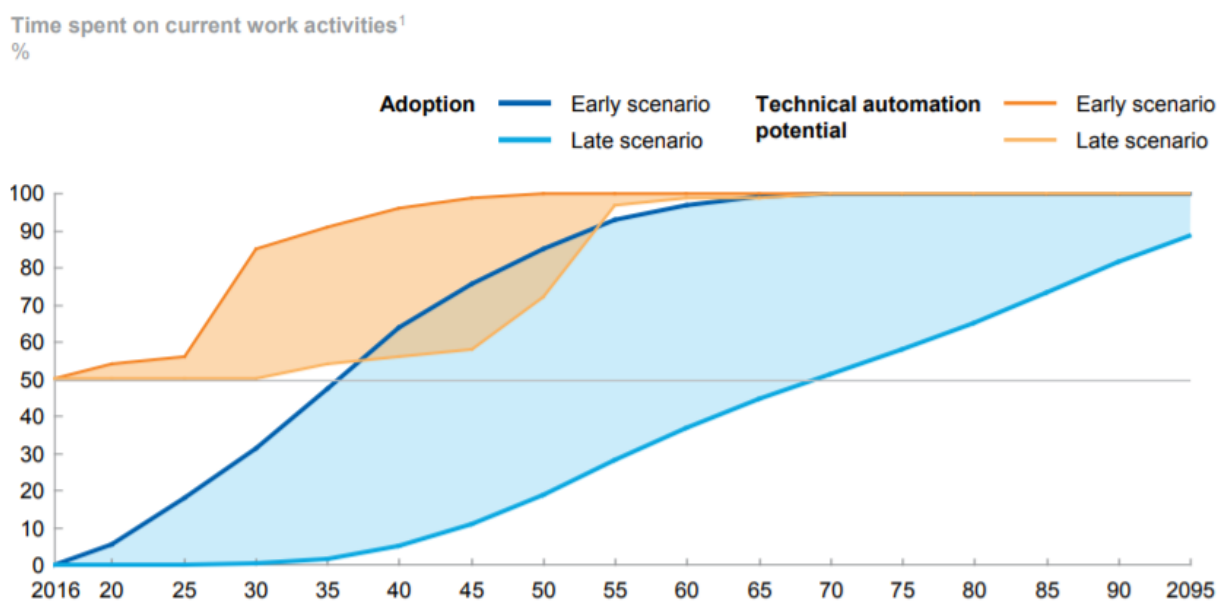
1. Fattibilità tecnica: la tecnologia deve essere inventata, integrata e adattata affinché possa automatizzare specifiche attività. È un fattore evidente soprattutto nelle capacità sociali e di ragionamento, che faticano ad essere automatizzate.
2. Costi di ricerca e sviluppo: lo sviluppo di nuove tecnologie richiede l'impiego di capitale, soprattutto nelle fasi iniziali e nel caso in cui la tecnologia non venga adottata dalle imprese, i costi sostenuti (sunk cost) non sono recuperabili e potrebbero erodere la redditività di un'organizzazione.
3. Dinamiche del mercato del lavoro: nello sviluppo delle nuove tecnologie e nella decisione di implementarle si dovrà considerare anche l'offerta, la domanda di lavoro e il salario orario. Per esempio il ruolo di cuoco in un ristorante ha un potenziale di automazione del 75%, ma la decisione di impiegare la tecnologia sarà influenzata dal salario orario di un cuoco e l'abbondanza di persone che sono disposte a lavorare come cuoco in corrispondenza di quel salario. Le dinamiche del mercato del lavoro differiscono anche a seconda dell'area geografica che si esamina. L'introduzione di robot nel settore manifatturiero avverrà prima nei paesi dove il costo orario della manodopera è elevato, come nell'America Settentrionale e nell'Europa Occidentale. Inoltre gli effetti dell'automazione possono interagire con l'offerta di lavoro. Per esempio se i lavoratori che percepiscono un reddito medio vengono sostituiti dall'adozione di nuove tecnologie, sono costretti a ricollocare la loro forza lavoro in professioni meno retribuite e quindi l'offerta di lavoro aumenta e i salari diminuiscono, oppure potrebbero uscire temporaneamente dalla forza lavoro perché demotivati.
4. Benefici economici: l'automazione può portare un incremento dei profitti, della produttività e della qualità. Per esempio, i veicoli e i camion a guida automatica sono in grado di ridurre non solo i costi di manodopera relativi ai conducenti ma anche di migliorare la sicurezza e massimizzare l'efficienza del carburante.
5. Accettazione sociale e normativa: l'adozione di una tecnologia, anche se conveniente per un'organizzazione, può essere ostacolata dalla reazione della società. Infatti gli individui potrebbero sentirsi a disagio di fronte ad un mondo in cui i robot hanno sostituito l'interazione umana, come per esempio negli ospedali. Anche le politiche dei governi possono rallentare l'adozione di nuove tecnologie.

### 3.2 Visioni alternative del futuro dell'automazione

Per valutare la velocità alla quale l'automazione influenzerà le attività nell'economia globale e quindi tracciare un campione di possibili scenari futuri, il McKinsey Global Institute ha costruito un modello che semplifica gli effetti dei cinque fattori sopra citati in un modello a quattro stadi. La prima fase consiste nello sviluppo della capacità, ovvero nel lasso di tempo in cui l'automazione raggiungerà ogni livello di prestazione richiesto per ciascuna capacità relativa ad ogni attività lavorativa. Il modello considera il periodo di evoluzione tecnologica per ciascuna capacità attraverso incontri e sondaggi con esponenti dell'industria e del mondo accademico. La seconda fase riguarda lo sviluppo di una soluzione, ovvero le capacità sviluppate nella prima fase devono essere integrate in soluzioni specifiche alle applicazioni. L'analisi suggerisce che il processo di sviluppo di una soluzione richiede da uno a nove anni. La terza fase si riferisce alla fattibilità economica dell'automazione: i costi relativi allo sviluppo e alla propagazione di soluzioni puntuali, definiranno il ritmo di conseguimento della fattibilità economica. La fattibilità economica dell'automazione infatti, sarà influenzata dalla comparazione con il costo del lavoro umano, condizionato a sua volta dalle dinamiche della domanda e dell'offerta. In aggiunta al risparmio sui costi di manodopera, l'automazione potrebbe portare maggiori vantaggi ai datori di lavoro, tra i quali si annovera un incremento della qualità e dell'efficienza e un decremento della percentuale di errore. Nel modello del MGI si considera che l'adozione inizi quando il costo dell'automazione di un'attività è pari al costo del lavoro. Successivamente si confrontano le retribuzioni (specifiche per occupazione e paese e il loro andamento) e costi delle soluzioni. Al di là del beneficio economico, è necessario osservare che l'adozione dell'automazione è determinata dalla velocità di trasformazione dell'organizzazione, dalle scelte di policy e dall'approvazione da parte degli stakeholder. Perciò come illustrato nella figura 10 (*fonte: MGI, 2016*), la quarta fase di adozione viene stimata attraverso diverse curve a forma di S costruite a partire dai tassi storici di adozione della tecnologia nei decenni precedenti.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> La linea blu scuro rappresenta uno scenario di adozione anticipata, mentre la linea blu chiaro uno scenario di adozione ritardata.



<sup>1</sup> Forty-six countries used in this calculation, representing about 80% of global labor force.

Figura 10. L'automazione impiegherà decenni a diffondersi. Fonte: McKinsey Global Institute. (2016)

Sempre secondo il MGI l'automazione sarà un fenomeno che riguarderà tutti i paesi, siano essi economie emergenti o avanzate. Avvalendosi del modello appena illustrato gli scenari ipotizzabili sono illimitati: ai due poli vi è da un lato una situazione in cui il progresso tecnologico incrementa la sua velocità nei decenni successivi e l'automazione rimpiazzerebbe in questo modo più del 50 per cento delle ore lavorative in due terzi dei paesi entro il 2036; all'estremo opposto vi è lo scenario in cui almeno la metà di tutti i paesi saranno automatizzati per più del 50 per cento entro il 2066. Nei primi tempi di adozione di massa di nuove tecnologie, il modello si attende che l'effetto più marcato vi sarà nelle economie avanzate, soprattutto in Germania, Giappone e Stati Uniti. Questi paesi con retribuzioni ingenti e industrie di grandi dimensioni vantano da tempo un elevato potenziale di automazione imperniato sulle tecnologie disponibili e all'aumentare del tempo il costo opportunità dell'impiego umano è destinato ad aumentare. In seguito, con la diffusione dell'automazione in più paesi, gli effetti saranno significativamente incisivi in Cina ed India, a causa del loro immenso serbatoio di forza lavoro. In un primo momento, il modello si attende che l'automazione interesserà i lavoratori del settore manifatturiero e del retailing, in quanto maggiormente suscettibili ad essere automatizzati, ma nel lungo periodo gli effetti più evidenti si avranno nel settore agricolo, dove alcuni milioni di cinesi e indiani sono ancora oggi impiegati. L'introduzione dell'automazione in un primo momento potrebbe essere più veloce nelle economie avanzate rispetto a quelle emergenti, a motivo dei costi di inserimento delle nuove tecnologie. Redditi più elevati e la diminuzione dei costi dell'hardware renderanno l'automazione economicamente vantaggiosa nelle economie avanzate più velocemente che nelle economie emergenti. In Giappone, Stati Uniti e nelle

principali economie europee (Francia, Germania e Regno Unito) questo si tradurrà in una più celere adozione in una moltitudine di settori, principalmente nell'industria manifatturiera e nei servizi. Ad esempio, Negli Stati Uniti il modello ritiene che i servizi di produzione, retailing, assistenza sanitaria, trasporti, alloggio, ristorazione e servizi amministrativi saranno tra i primi settori ad essere coinvolti. I settori che impiegano un numero elevato di lavoratori, come l'assistenza sanitaria, ne avvertiranno gli effetti sebbene il loro tasso di adozione atteso (48%) è minore di quello di altri settori ad elevata adozione, come quello dei servizi di alloggio e di ristorazione (83% nel 2036). Nelle economie emergenti (come Cina e India), i costi e i livelli salariali inferiori ritarderanno la diffusione dell'automazione. L'automatizzazione del processo produttivo, che si fonda principalmente su attività fisiche prevedibili, ricercherà soluzioni hardware che richiedono ingenti investimenti di capitale. Questa è la maggior restrizione per l'adozione nelle economie emergenti: considerato il basso costo della manodopera, non verranno fatti investimenti, fino a quando il costo delle tecnologie si ridurrà drasticamente (perlomeno pari al salario medio). Tuttavia il modello del MGI prevede anche che il ritmo dell'adozione nelle economie emergenti e in quelle avanzate potrebbe risultare analogo nei settori in cui saranno essenziali soluzioni software per supportare le tecnologie di automazione. Ad esempio, tassi simili di adozione nel settore finanziario e assicurativo, che si distinguono per un'alta percentuale di elaborazione e selezione dati.

Ad inizio 2019 anche il Forum Economico Mondiale, nel suo incontro annuale tenutosi a Davos, ha espresso tre visioni alternative per quanto concerne il futuro dell'automazione. L'industria 4.0 non viene inquadrata come una questione di sostituzione della forza lavoro, ma come una trasformazione della stessa. Il primo scenario vede l'automazione come un fattore di ottimizzazione: i robot, l'intelligenza artificiale e l'automazione dei servizi hanno due obiettivi, ovvero espandere l'impresa ed agevolare le attività della forza lavoro. Se le organizzazioni usassero le tecnologie per questi scopi, l'industria 4.0 ottimizzerebbe il futuro del lavoro. Questo scenario è sostenuto da Khanna (2019), secondo il quale l'automazione deve soddisfare quattro requisiti per essere perfettamente integrata nelle attività lavorative: deve essere in grado di aumentare le opportunità di occupazione, di migliorare il modo in cui un'azienda entra nel mercato, di generare valore per il consumatore e di migliorare la capacità di gestire i dati senza violare la privacy. Nel secondo scenario viene invece attribuita grande importanza alla forza lavoro, che infatti non sarà destinata ad essere soffocata dall'avanzare dell'intelligenza artificiale ma a cooperare con essa, ed incoraggia le organizzazioni sindacali ed i governi a varare nuove politiche e strategie a sostegno della forza lavoro. Questo scenario stimola le aziende a coinvolgere la forza lavoro nell'automazione, non ad alienarla. Un esempio

è la politica di Cisco, multinazionale specializzata nella fornitura di apparati di networking, che ha recentemente coinvolto la sua forza lavoro in un “breakathon” di 24 ore per smantellare e rinnovare il suo software per la gestione delle risorse umane. Più di 800 dipendenti hanno partecipato all’iniziativa, divisi in piccole équipes per individuare i problemi che avevano riscontrato durante lo svolgimento del loro lavoro ed avanzare consigli per soluzioni. Nel terzo scenario il cambiamento tecnologico accompagna il cambiamento della forza lavoro: l’Industria 4.0 non è confinata ai big del G20. Anche le economie emergenti stanno diventando uno scenario attraverso il quale è possibile visualizzare il futuro del lavoro.<sup>8</sup>

### 3.3 Conseguenze dell’introduzione di una tassa sui robot

Molti economisti hanno proposto per i prossimi anni l’introduzione di una tassa sui robot, al fine di scoraggiare le organizzazioni ad investire pesantemente sulle nuove tecnologie, salvaguardare il ruolo del lavoro umano ed evitare di acuire la disparità di reddito tra i proprietari di capitale (che beneficiano delle tecnologie) e la classe lavorativa. Zhang (2019) si è chiesto quali siano gli effetti della robot tax sui salari e sull’occupazione. L’autore ha proposto un modello che prevede che il sistema economico sia composto da tre settori:

1. il primo in cui si producono robot R, impiega manodopera qualificata S e capitale K;  
Un aumento della tassa ridurrà i profitti del settore e quindi l’output calerà.
2. il secondo settore utilizza i robot R, lavoro non qualificato U e capitale K per produrre il bene finale X; il lavoro effettivamente impiegato nel settore è dato da  $L_{UX} = L_X + R$ , in cui gli addendi denotano rispettivamente l’uso di lavoratori non qualificati e robot. Il settore automatizzerà alcune attività solo se il prezzo dei robot non è superiore ai salari  $w_U$ . Perciò in equilibrio vale:  $p_R = w_U$ .
3. il terzo settore invece non è automatizzabile e utilizza lavoro non qualificato U e capitale N per produrre il bene finale Y. Utilizza tecnologie caratterizzate da rendimenti di scala costanti.

Da questa classificazione l’autore ha ricavato due proposizioni:

---

<sup>8</sup> In Indonesia, ad esempio, l’intelligenza artificiale ha portato alla nascita della più grande azienda nella storia del paese, Go-Jek.



1. Quando il sistema economico è in una condizione di piena occupazione, un incremento dell'automazione ( $A$ ) aumenterà la disuguaglianza salariale se l'elasticità di sostituzione tra il lavoro e il capitale nel settore in cui vengono prodotti i robot è abbastanza grande. Infatti un aumento di  $A$  aumenterà la produttività nel primo settore, di conseguenza i salari e il rendimento del capitale aumenteranno e questo incoraggerà i lavoratori del secondo settore ad affluire nel primo. L'aumento dell'offerta di robot farà diminuire il loro prezzo e quindi più robot impiegati nel secondo settore faranno ridurre i salari dei lavoratori non qualificati (effetto sostituzione). Inoltre, il maggior utilizzo degli automi aumenterà la produttività del capitale impiegato nel settore che utilizza i robot e ciò incoraggerà il capitale presente nel settore che produce i robot ad affluire in quello che li utilizza (effetto riallocazione).
2. Quando il sistema economico è in uno stato di piena occupazione, un aumento della robot tax ridurrà la disparità salariale. Un aumento di  $t$  ridurrà i ricavi del primo settore e quindi produrrà un numero inferiore di robot rispetto a prima. Di conseguenza, la riduzione dell'offerta di robot ne farà aumentare il prezzo, ma nonostante ciò il settore che utilizza i robot sostituirà i lavoratori poco qualificati con i robot in quanto il salario dei lavoratori low skilled è aumentato in misura maggiore. La contrazione nella produzione dei robot farà sì che il capitale in questo settore affluisca in quello che li utilizza, cioè nel secondo. Questo ridurrà la produttività dei lavoratori qualificati nel settore che produce robot, culminando nel declino del loro salario. Ricapitolando, il differenziale salariale sarà limitato poiché vale
 
$$\frac{W_s - W_u}{t} < 0.$$

In un'intervista a Quartz (2017), il fondatore di Microsoft Bill Gates ha esternato il suo timore sulle conseguenze negative dell'automazione su occupazione e distribuzione della ricchezza. Gates suggerisce di tassare il lavoro robotico non solo per incrementare le entrate pubbliche ma anche per finanziare il ricollocamento dei lavoratori rimpiazzati. Guerreiro et al. (2018) esaminano le molteplici situazioni di tassazione robotica mediante un modello macroeconomico che ripartisce i lavoratori in routinari e non. Le loro conclusioni evidenziano come, senza variazioni al corrente sistema fiscale statunitense, una pronunciata diminuzione dei costi di automazione implicherebbe un incremento considerevole delle diversità di reddito. Sebbene i lavoratori routinari conservassero il posto di lavoro, il loro reddito calerebbe per essere concorrenziale con la produzione automatizzata. Le disuguaglianze di reddito potrebbero diminuire attraverso l'incremento delle aliquote marginali d'imposta elargite dagli individui con reddito elevato e tassando i robot per aumentare i salari dei lavoratori di routine, ma questa soluzione implica una notevole spreco di efficienza. Un metodo differente indicato dai

ricercatori si basa sulla modifica del sistema fiscale per inserirvi un rimborso svincolato dal livello di reddito. Nell' approccio con questo rimborso, è auspicabile tassare i robot per valori di costo dell'automazione che generino un'automazione parziale. Per i valori di costo che portano alla totale automazione, la soluzione ottimale è di evitare di tassare il lavoro robotico. Perciò, se si giungesse a dei costi tali per cui sarebbe appropriata la completa automazione i lavoratori routinari lascerebbero il posto di lavoro e vivrebbero unicamente di trasferimenti pubblici (qualora non fossero in grado di riqualificarsi).

## Conclusione

Le evidenze empiriche sono tuttora non sufficienti per indicare in modo risolutivo se una parte massiccia dell'occupazione attuale sarà rimpiazzata momentaneamente o definitivamente dai robot e dalle nuove tecnologie. David Autor, uno dei più influenti economisti nell'ambito dell'economia del lavoro, in un suo intervento al TEDx di Cambridge, ha illustrato per quale motivo l'automazione non produrrà elevati livelli di disoccupazione. Numerosi settori in cui oggi sono impiegati molti lavoratori, spiega Autor, come il settore finanziario, elettronico e informatico, un secolo fa non erano ancora presenti. Molti dei beni che costituiscono una quota significativa del consumo, come tablet, computer e smartphone, non esistevano ad inizio Novecento. Per conseguire il tenore di vita medio del 1915, un lavoratore *middle skilled* nel 2015 doveva lavorare solo 17 settimane all'anno. Ma la maggioranza non è incline a farlo perché preferisce lavorare per trarre beneficio dell'abbondanza tecnologica che il mercato mette a disposizione. Le previsioni attuali di esaurimento del lavoro, prosegue Autor, “hanno un'arroganza simile a quelle del passato, poiché scommettono contro l'ingegnosità umana che è sempre riuscita a sorprenderle.” Alcuni autori come Gordon (2002), d'altro canto, sottolineano che i policy maker non dovrebbero farsi trovare preparati di fronte ad un fenomeno di portata senza precedenti.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Numero parole: 9991

## Bibliografia

AAVV. (2015) *Factory of the future. Tecnologia, competenze e fattore umano nella fabbrica digitale*. Torino Nord Ovest.

Acemoglu D., et al. (2014). *Return of the Solow Paradox? IT, productivity and employment in US manufacturing*. American Economic Review.

ACEMOGLU, D., RESTREPO, P. (2016). *Conference on Robots and Jobs*. Yale University, ottobre 2016.

ACEMOGLU, D., RESTREPO, P. (2017). *Robots and jobs: Evidence from US Labor Markets*. NBER Working Paper No. w23285.

ACEMOGLU, D., RESTREPO, P. (2018). *Artificial intelligence, automation and work*. Working Paper 24196, National Bureau of Economic Research.

AUTOR, D. (2015). *Why are there still so many jobs?* Journal of Economic Perspectives.

AUTOR, D., DORN, D. (2013). *The growth of low skill service jobs and the polarization of the US labor market*. American Economic Review, vol. forthcoming.

AUTOR, D., LEVY, F., MURNANE, R.J. (2003). *The skill content of recent technological change: An empirical exploration*. The Quarterly Journal of Economics, vol. 118, no. 4, pp. 1279–1333.

BAUMOL, W. J. (1967). “*Macroeconomics of Unbalanced Growth: The Anatomy of Urban Crisis*”. American Economic Review 57(3): 415–26.

BAUR, C., WEE, D. (2015) *Manufacturing's next act*. McKinsey Global Institute.

BECCALLI, E. (2007). *Does IT Investment Improve Bank Performance? Evidence from Europe*. Journal of Banking and Finance, Vol. 31, No. 7, pp. 2205–2230.

BESSEN, J. (2015). *Toil and Technology*. Finance and Development 52.

CAPARELLO, A. (2018). *Automazione interrompe crescita salari*. Wall Street Italia [online]. Disponibile su <<https://www.wallstreetitalia.com/premio-nobel-automazione-interrompe-crescita-salari/>>. [Data di accesso: 01/05/2019].

CARBONERO, F., WEBER, E., ERNST, E. (2018). *Rotots worldwide: the impact of automation on employment and trade*. International Labour Office.

CARTA DEI DIRITTI FONDAMENTALI DELL'UNIONE EUROPEA. 12 dicembre 2007, art. 15.

DELOITTE. (2015). *Industry 4.0. Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies*. Zurich.

EYADAT, M., KOZAK, S. J. (2005). *The Role of Information Technology in the Profit and Cost Efficiency Improvements of the Banking Sector*. Journal of Academy of Business and Economics, Vol. 5, No. 2, pp. 70–76.

FREY, B., OSBRONE M. (2013). *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?* Oxford. Martin School.

GHAYAD, R., DICKENS, W. T. (2012). *What can we learn by disaggregating the unemployment-vacancy relationship?* Federal Reserve Bank of Boston.

GOOS, M., MANNING, A. (2007). *Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain*. Review of Economics and Statistics 89(1): 118–33.

GOOS, M., MANNING, A. (2003). *Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain*. Center for Economic Performance Discussion Papers DP0604.

GOOS, M., MANNING, A., SALOMONS, A. (2014). *Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring*. American Economic Review 104(8): 2509–26.

GUERREIRO, J., REBELO, S., TELES, P. (2017). *Should Robots be Taxed?* (No. w23806). National Bureau of Economic Research.

HOUSEMAN S., BARTIK, T., STURGEON, T. (2013). *Measuring Manufacturing: Problems of Interpretation and Biases in the U.S. Statistics*. Disponibile su [http://www.upjohn.org/MEG/papers/Measuring%20Mfg\\_Houseman\\_Bartik\\_Sturgeon.pdf](http://www.upjohn.org/MEG/papers/Measuring%20Mfg_Houseman_Bartik_Sturgeon.pdf) [Data di accesso: 01/06/2019].

HSIEH, C., MORETTI, E. (2003). *Can Free Entry Be Inefficient? Fixed Commissions and Social Waste in the Real Estate Industry*. Journal of Political Economy 111(5): 1076–1122.

KARABARBOUNIS, L., NEIMAN, B. (2013). *The Global Decline of the Labor Share*. The Quarterly Journal of Economics, Vol. 129, No. 1, pp. 61–103.

KATZ, L.F., LAWRENCE, S., MARGO, R. (2014). *Technical change and the relative demand for skilled labour*. Human capital in history.

- KEYNES, J. M. (2010). *Economic possibilities for our grandchildren*. In *Essays in persuasion* (pp. 321-332). London: Palgrave Macmillan.
- KHANNA, P. (2019). *The future in Asian: Global Order in the Twenty-First Century*. W&N
- KREMER, M. (1993). *The O-Ring Theory of Economic Development*. *Quarterly Journal of Economics* 108(3): 551–75.
- MANYIKA, J., CHUI, M., MIREMADI, M., BUGHIN, J., GEORGE, K., WILLMOTT, P., & DEWHURST, M. (2017). *A Future that Works: Automation, Employment, and Productivity*. *McKinsey Global Institute*.
- McGOWAN, R. (2019). *Futuro del lavoro: i tre scenari possibili secondo il World Economic Forum*. *Morning Future* [online]. Disponibile su <https://www.morningfuture.com/it/article/2019/01/14/futuro-lavoro-world-economic-forum-2019/496/>. [Data di accesso: 15/05/2019].
- MORAVEC, H. (1988). *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence*. Harvard University Press.
- POLANYI, M. (1966). *The Tacit Dimension*. New York: Doubleday.
- RICARDO, D. (1817). *On the principles of political economy and taxation*. London: John Murray.
- ROOS, C. F. (1934). *Dynamic economics: theoretical and statistical studies of demand, production and prices* (No. 338.52 ROO).
- SEREGNI, A. (2016). *I contorni di una rivoluzione: industry 4.0*.
- SHU, W., STRASSMANN, P. A. (2005). *Does Information Technology Provide Banks with Profit?* *Information and Management*, Vol. 42, No. 5, pp. 781–787.
- SOLOW, R.M. 1987. “*We’d Better Watch Out*” *review of Manufacturing Matters: The Myth of the Post-Industrial Economy*, by Cohen, S. S., Zysman, J. *New York Times*, July 12, 1987.
- STEUART, J. 1767. *An Inquiry into the Principles of Political Economy*. London: Printed for A. Millar, and T. Cadell.
- STIROH, K.J. (2002). *Information Technology and the U.S. Productivity Revival: What Do the Industry Data Say?* *American Economic Review* 92 (5): 1559–76.

SUSHANTA, K., SHIRLEY, J. (2008). On network competition and the Solow Paradox: evidence from US banks (pp. 37-57). The Manchester School.

TRECCANI. *Automazione*. Disponibile su  
<<http://www.treccani.it/enciclopedia/automazione/>> [Data di accesso: 10/05/2019].

ZHANG, P. (2019). *Automation, wage inequality & implications of a robot tax*. International review of Economics & finance.