



Dipartimento di Economia e Management
Cattedra di Macroeconomia e Politica Economica

L'impatto della robotica e dell'AI sul mercato del lavoro:
Il caso del Giappone.

Relatore:

Prof. Tatiana Cesaroni

Candidato:

Giulia Monfreda

Matricola 283821

Anno Accademico 2024/2025

INTRODUZIONE	4
CAPITOLO 1 INTELLIGENZA ARTIFICIALE; DIGITALIZZAZIONE E INDUSTRIA 4.0.....	6
1.1 Introduzione	6
1.2 Effetti dell'automazione sul mercato del lavoro secondo la letteratura economica	6
1.3 Dibattito più recente sull'AI e il lavoro	8
1.4 Industria 4.0: opportunità e rischi	10
1.5 Etica e AI: sfide nei sistemi di recruitment e nei diritti fondamentali	11
1.6 Dalla job polarisation a SBTC e RBTC: le teorie economiche sul lavoro nell'era tecnologica.....	11
1.6.1 SBTC e RBTC: Un confronto tra teorie economiche sulla trasformazione del lavoro e i suoi effetti.....	12
1.7 Tecnologia, lavoro e salari: Analisi dei cambiamenti, meccanismi di compensazione e impatti socioeconomici.	14
1.8 Ulteriori effetti dei cambiamenti tecnologici sul mercato del lavoro	15
1.9 Robotica e AI: Un futuro di collaborazione e innovazione nel lavoro	17
CAPITOLO 2 EVIDENZE EMPIRICHE NELL'ERA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	19
2.1 Evidenze empiriche riguardanti il rischio di automazione del lavoro.....	19
2.1.1 L'occupation-based approach e il rischio di sovrastima nell'automazione	19
2.1.2 Il task-based approach e l'evoluzione dell'automazione del lavoro	20
2.2 Previsioni globali sull'impatto dell'automazione sul lavoro	21
2.3 L'impatto settoriale, a livello d'impresa e di professione dell'automazione .	25
2.4 Automazione all'interno dell'industria italiana.....	26
2.4.1 Il sistema delle imprese in Italia	26
2.4.2 Dinamismo strategico e innovazione	27
2.4.3 Ricerca, innovazione e brevetti	28
2.4.4 Digitalizzazione e industria 4.0	29
2.4.5 Limiti strutturali	29

2.5 Il rapporto uomo-AI	30
2.5.1 Impatto sociale dell'automazione: il progetto TECHNEQUALITY.....	31
2.6 Stima dell'impatto dell'AI sul mercato del lavoro tramite il modello LLMs	33
2.7 L'accelerazione dell'intelligenza artificiale.....	33
2.8 Dati sull'uso della robotica e sul suo impatto	34
2.9 Analisi degli effetti della robotica sull'occupazione	34
Capitolo 3 IL RUOLO DELLA ROBOTICA NELL'ECONOMIA GIAPPONESE: LA SOCIETA' 5.0.....	39
3.1 Introduzione	39
3.2 Abenomics e fragilità strutturali dell'economia giapponese	39
3.3 Il problema demografico: sfide e strategie di risposta	40
3.4 Tecnologia e produttività come risposta alla sfida demografica.....	42
3.5 La società 5.0	42
3.6 Robotica come risposta alle sfide occupazionali e sociali del Giappone	44
3.7 L'integrazione dell'AI nella robotica: un alleato strategico per l'innovazione industriale giapponese	44
3.8 L'automazione che crea lavoro: il paradosso giapponese	45
APPENDICE:	48
CONCLUSIONI	49
BIBLIOGRAFIA	50

INTRODUZIONE

I temi dell'intelligenza artificiale (IA) e della robotica hanno suscitato negli ultimi decenni numerosi quesiti, tra i quali l'impatto di questi ultimi sul mercato del lavoro. L'obiettivo di questa analisi è quello di offrire al lettore una prospettiva dell'argomento sia teorica, andando ad esplorare i punti di vista dei principali economisti e studiosi dell'argomento, sia pratica, descrivendo le principali evidenze empiriche sul tema. Infine, quale caso studio, si analizza il contesto Giapponese. Il paese è leader nell'uso e nello sviluppo sia dell'IA sia della robotica.

L'elaborato è strutturato in tre capitoli. Nel primo vengono analizzati i primi fondamenti teorici della rivoluzione tecnologica (l'industria 4.0) e i meccanismi attraverso cui quest'ultima è collegata con la trasformazione del mondo del lavoro. Successivamente si pone all'attenzione del lettore un'analisi sulle principali teoriche economiche, le quali divergono in due poli opposti, da un lato i massimalisti e dall'altro i minimalisti. La conclusione che si rinvia a queste considerazioni è il ruolo del governo, il quale dovrebbe assumere un ruolo attivo per mitigare i possibili rischi che potrebbero insorgere a causa del crescente peso dell'automazione nella nostra società.

Il secondo capitolo riporta e descrive le evidenze empiriche riguardanti i metodi utilizzati per stimare il rischio di automazione. Le analisi empiriche evidenziano come il fenomeno della digitalizzazione del mercato del lavoro determini due situazioni opposte: da un lato si verifica un effetto sostituzione e dall'altro un effetto compensativo, il quale al contrario del primo, genera nuove opportunità lavorative. Il capitolo si conclude trattando un tema cruciale, ovvero la riqualificazione delle competenze umane, necessaria per evitare il verificarsi di una disoccupazione tecnologica strutturale.

Infine, l'ultimo capitolo della tesi, approfondisce la tematica trattando un caso pratico, quello del Giappone. Il paese assume rilevanza ai fini dell'argomento essendo tra quelli più all'avanguardia in tema di robotica e intelligenza artificiale. Inoltre, le sue caratteristiche demografiche, riguardanti l'invecchiamento della popolazione e una bassa natalità hanno portato il paese a sperimentare l'uso dei robot anche nell'ambito dell'assistenza sociale e per sopperire alla carenza di manodopera. Nel capitolo vengono analizzate le politiche economiche giapponesi, le strategie per fronteggiare il problema

della bassa natalità e l'avanzarsi della “Società 5.0”. Il Giappone rappresenta in tal senso un caso in cui l'automazione costituisce un'opportunità per il mercato del lavoro con ricadute positive sull'occupazione e sulla crescita economica.

CAPITOLO 1 INTELLIGENZA ARTIFICIALE; DIGITALIZZAZIONE E INDUSTRIA 4.0

1.1 Introduzione

I cambiamenti tecnologici hanno da sempre rivoluzionato la società e l'economia; dalla prima rivoluzione industriale fino all'attuale era digitale. Il cambiamento tecnologico, oltre a generare nuova conoscenza e nuove tecnologie, implica anche un cambiamento all'interno delle aziende, le quali dovranno essere in grado di sviluppare nuove competenze e risorse necessarie per essere in grado di adottare queste ultime. (Bannò et al., 2023). Così come tutte le rivoluzioni cambiano il modo di concepire la realtà, il modo in cui viviamo e lavoriamo, creando allo stesso modo opportunità e sfide, anche la rivoluzione tecnologica ha trasformato radicalmente la società. La rivoluzione tecnologica può essere sinteticamente ricondotta a due fasi; una prima fase di sostituzione del lavoro con le macchine e una seconda di riallocazione del lavoro e crescita dell'occupazione in nuovi settori (Ricchiuti, 2024). Tuttavia, l'adozione di nuove tecnologie potrebbe anche produrre effetti negativi come l'aumento delle disuguaglianze (Daveri, 2017).

1.2 Effetti dell'automazione sul mercato del lavoro secondo la letteratura economica

Economisti, storici ed intellettuali si sono da sempre posti quesiti riguardanti il fenomeno dell'innovazione e come quest'ultimo potesse alterare la struttura occupazionale, di redistribuzione dei redditi e il benessere dei lavoratori.

Secondo una prima interpretazione, la tecnologia, sostituendo lavoratori, nel breve periodo potrebbe aggravare la disuguaglianza economica, mentre nel lungo periodo potrebbe consentire di ottenere dei benefici. A tal riguardo, in base agli scritti di David Ricardo (1821), contenuti nella III edizione del "Principles of Political Economy and Taxation", le macchine avrebbero diminuito i salari e aumentato la disoccupazione. "I capitalisti che inventavano queste nuove macchine, applicandole per primi avrebbero

beneficiario di un vantaggio conseguendo profitti elevati, almeno fintanto che la tecnologia non veniva impiegata in maniera diffusa.” (Ricardo, 1821). La tecnologia avrebbe quindi potuto aumentare o diminuire il PML (prodotto marginale del lavoro) e i salari. Secondo Steuart (1767) la disoccupazione tecnologica si sarebbe verificata solo nel caso di una introduzione rapida e improvvisa della tecnologia mentre nel lungo periodo gli effetti avrebbero consentito un incremento della produzione.

Keynes (1930) fu il primo ad utilizzare il concetto di “disoccupazione tecnologica” come concetto legato alla scoperta di mezzi per economizzare l’uso del lavoro. L’economista, sosteneva che grazie all’ausilio delle macchine e del progresso tecnologico si sarebbero potuti ottenere grandi benefici rendendo la vita lavorativa dei tempi più semplice e meno pesante. Nel lungo periodo sarebbe prevalso infatti l’effetto compensazione; i lavoratori inizialmente dislocati sarebbero stati poi istruiti per diventare tecnici di macchinari oppure produttori di beni che venivano realizzati senza le macchine. Inoltre, la produttività sarebbe aumentata così come l’occupazione conducendo alla creazione di nuove opportunità di business. La disoccupazione poteva allora essere definita insita nel sistema e trascurabile poiché nel lungo periodo si sarebbero ottenuti grandi benefici.

Secondo una visione più pessimista e drastica l’adozione di nuove tecnologie potrebbe dislocare i lavoratori in modo permanente tramite l’eliminazione delle professioni precedentemente esistenti, portando ad una distruzione permanente dei posti di lavoro. (Clark, 1907).

In base ad una terza interpretazione, di cui Marx (1844) fu uno degli esponenti maggiori, la tecnologia creerebbe invece una deumanizzazione del lavoro. Secondo l’economista, le condizioni lavorative alienanti all’interno delle fabbriche avrebbero causato un impatto psicologico non indifferente unitamente a salari bassi. Secondo questa visione, il lavoratore era destinato al superlavoro e alla morte prematura, al declino a mera macchina e a servo vincolato del capitale. Il lavoratore diventava così un concorrente della macchina (Marx, 1844).

Schumpeter (1942) definì il progresso tecnologico non come un’evoluzione bensì come una ‘distruzione creatrice’ (Ricchiuti, 2024 pp1) affermando che ogni sfida tecnologica induce ad una sfida sulla sostenibilità sociale del sistema economico.

Altri economisti come Sachs e Kotlikoff hanno previsto un futuro nel quale le macchine sostituiranno completamente il lavoro, prevedendo una forte diminuzione dei salari soprattutto nella fascia di lavoratori meno qualificati. (Ricchiuti, 2024)

1.3 Dibattito più recente sull'AI e il lavoro

La rivoluzione tecnologica contemporanea che ha portato alla creazione dell'intelligenza artificiale (AI)¹, considerata tra le maggiori innovazioni dopo internet e lo smartphone, ha suscitato grande interesse in numerosi studiosi della materia e tra gli economisti di oggi, i quali si sono interrogati sui diversi effetti che il fenomeno potrebbe causare, sia in termini positivi che negativi.

Ken Goldberg (noto professore e ricercatore del tema) fonda la sua teoria principale sulla stretta collaborazione uomo e macchine intelligenti, definendo la loro interazione con il termine “molteplicità” (Posada, 2020). In questo concetto di molteplicità il problema principale in termini di relazioni lavorative è quello della proprietà, giustizia, e relazioni potenti tra coloro che controllano questi sistemi automatizzati e coloro che ne sono gli utilizzatori. La domanda secondo il ricercatore è quindi traslata dal “le macchine sostituiranno la forza lavoro?” al chi ne sarà il proprietario e avrà potere sulle decisioni in tema di relazione uomo-macchine. (Posada, 2020).

Le preoccupazioni più frequenti, come detto, riguardano la sostituzione del lavoro umano con l'AI. (Posada, 2020). Benjamin Shestakofsky riassume i recenti sviluppi tecnologici distinguendo tra teoria continuativa e discontinua. La prima va a predire una larga scala di processi automatici che minacciano la sostituzione del lavoro umano con le macchine. La teoria discontinua al contrario predice la sostituzione dei lavoratori e cambiamenti qualitativi dovuti all'espansione all'interno dell'economia dell'AI.

Ricercatori quali David Autor affermano che sì l'automazione minaccia il lavoro su specifiche mansioni ma ciò non implica che l'AI sostituirà interamente tutti i lavori. Infatti, l'automazione può espandere molti settori economici e creare allo stesso modo

¹ Capacità delle macchine di simulare l'intelligenza umana.

più posizioni lavorative. Il rischio associato a un tipo di lavoro non implica lo stesso destino per altri. (Posada, 2020)

È quindi secondo questi studiosi più corretto parlare di trasformazione del lavoro piuttosto che di sostituzione. Il tema della rivoluzione tecnologica, deve più volgersi sotto un'ottica di cambiamento piuttosto che di allarme per l'occupazione (Calderone, 2023).

Keynes nel saggio del 1931 aveva ipotizzato di come il cambiamento tecnologico e il suo avanzare avrebbe incrementato la produttività del lavoro (Ricchiuti, 2024), permettendo il conseguimento di altri numerosi vantaggi, tra i quali l'accorciamento della giornata lavorativa e una ridistribuzione del reddito. Tuttavia, si osservò con il tempo il crescere di disuguaglianze. L'autore stesso, riferendosi alla situazione economica del Regno Unito nel 1930 disse "Siamo afflitti da una nuova malattia di cui alcuni lettori potrebbero non conoscere ancora il nome, ma di cui si parlerà molto negli anni a venire: la disoccupazione tecnologica" (Di Giacomo e Lerch, 2022).

David Autor fornisce una tesi che smentisce le implicazioni di effetti negativi causati dall'AI sulla qualificazione del lavoro. L'autore afferma che l'AI inverte il processo avviato dall'automazione nell'economia, ridando ai lavoratori l'opportunità di rifar emergere le proprie capacità umane, dando loro la facoltà di entrare a far parte di quelle categorie di professioni che prima erano circoscritte solo ad una fascia di persone, i professionisti. (Treu, 2024). L'autore sostiene la sua tesi tramite un esempio. Considera la categoria di infermiere (*middle-skill*) i quali se integrati dall'AI potrebbero svolgere un'attività che vada a ricoprire uno scopo superiore rispetto alla semplice cura medica di base.

Gli studiosi che privilegiano un impatto positivo giustificano le loro conclusioni in termini di aumento della produttività e aumento della domanda.

Altri studiosi si focalizzano di più su una visione microeconomica sostenendo la teoria della complementarità dei robot industriali con i lavoratori e lavoratrici portando conseguentemente ad una riallocazione generale dell'occupazione a livello d'impresa. Altri studiosi associano invece all'introduzione delle tecnologie un aumento dell'efficienza e ad un calo della domanda di lavoro. Altri autori invece privilegiano la

neutralità della teoria. L'argomento è fortemente dibattuto, per questo motivo le analisi empiriche permettono di suggerirci risposte più certe.

Come abbiamo già chiarito non vi è unanimità sulle sorti dell'AI sul mercato del lavoro. Diversi studiosi utilizzano metodi di analisi diversi che differiscono di conseguenza sui risultati ottenuti. Possiamo comunque contraddistinguere due filoni principali: un primo basato su dati relativi alle offerte di lavoro provenienti da piattaforme di reclutamento online con il fine di analizzare l'evoluzione della domanda di competenze specifiche (Fenoaltea et al., 2024). Un aumento dell'offerta di lavori legati all'AI implica un maggior uso dell'implementazione di AI nel gestire compiti e lavori prima svolti dall'uomo. Utilizza come proxy la domanda di competenze legate alla tecnologia. Un secondo filone offre invece una prospettiva più ampia e complessa concentrandosi sulla struttura delle occupazioni per stimare il potenziale di automazione di mansioni e competenze lavorative, il tutto in riferimento alle statistiche ufficiali del mercato del lavoro (Fenoaltea et al., 2024).

1.4 Industria 4.0: opportunità e rischi

Con il termine Industria 4.0 si identifica la trasformazione tecnologica che ad oggi sta influenzando la stragrande maggioranza dei domini dell'economia, tra i quali ad esempio quello della produzione, consumo e trasporto. Tale evoluzione è il risultato di processi di digitalizzazione (dispositivi e processi capaci in elaborare grandi quantità di dati) ed automazione (macchine capaci di svolgere mansioni che prima erano svolte da esseri umani). L'industria 4.0 confluisce in grandi opportunità associate ad una maggiore ricchezza e una nuova forma di benessere. Condizione necessaria è però la gestione dei rischi.

Le sfide insite dell'industria 4.0 comprendono un set di politiche da parte dei diversi governi in grado di rispondere efficacemente all'ambiente dinamico nel quale ci troviamo travolti. Tra le tecnologie ricollegabili al termine industria 4.0 le più rilevanti sono:

- 1) Big data (elaborazione ed immagazzinamento di grandi quantità di dati)
- 2) *Industrial internet of things*, web 4.0, (oggetti che comunicano in tempo reale con altri oggetti poggiando su tecnologie quali i trasmettitori di radiofrequenze)

- 3) *Cloud manufacturing*, (trasformazione del processo produttivo manifatturiero in una rete di risorse comunicanti e adattabili al contesto)
- 4) *Advanced automation* (sviluppo di robot dotati di capacità di apprendimento e di problem solving fondati su tecnologie quali il machine learning)
- 5) *Additive manufacturing* (uso industriale della tecnologia della stampa 3d)
- 6) *Wearables* e interfacce vocali, (dispositivi in grado di aumentare le capacità umane)

1.5 Etica e AI: sfide nei sistemi di recruitment e nei diritti fondamentali

L'argomento non è privo di una considerazione etica. Uno dei problemi che viene a galla a seguito dell'introduzione dell'AI e delle nuove tecnologie è l'utilizzo di algoritmi, i quali portano alla creazione di sistemi chiusi che precludono altri tipi di valutazioni esterne in fase di recruitment. Di conseguenza gli individui che non rientrano nelle caratteristiche espresse dall'algoritmo vengono escluse dai sistemi reclutativi anche se sono qualificati per la mansione (Posada, 2020). Casi invece in cui gli individui all'interno di un'azienda iniziano a fare completo affidamento sull'algoritmo per ottenere valutazioni o altri tipi di informazione comporta il rischio che il ruolo del manager veda sempre meno influenza e rilevanza, in che potrebbe creare un senso di confusione all'interno di aziende estremamente gerarchiche.

Un altro problema etico sorge in tema di diritti fondamentali. Vengono utilizzati come base gli standard di diritti umani internazionali per analizzare l'etica dell'AI. Attraverso la ILO (*international labour organisation*) gli Stati Uniti hanno istituito una serie di diritti fondamentali sulla questione che includano la libertà di associazione, l'eliminazione del lavoro forzato e del lavoro minorile e discriminatorio, e una remunerazione equa. La strada della loro applicazione ai sistemi di AI è ancora lunga ma non di impossibile realizzazione.

1.6 Dalla job polarisation a SBTC e RBTC: le teorie economiche sul lavoro nell'era tecnologica

La rivoluzione tecnologica sta polarizzando il mercato del lavoro, con un aumento delle occupazioni ad alta e bassa qualifica ed una riduzione di quelle di media, sostituite dall'automazione. Il fenomeno è alimentato dalla capacità delle macchine di eseguire compiti ripetitivi e routinari. Per *job polarisation* si intende la polarizzazione

del mercato del lavoro, quale fenomeno che si è verificato negli Stati Uniti e nei paesi europei dal 1983 al 2010. Il fenomeno porta al contemporaneo verificarsi di due cambiamenti importanti. Un primo cambiamento riguarda la crescita in tema di occupazione e salari nelle professioni ad alta qualifica (*high skill professions*) e nelle professioni a bassa qualifica (*low skill professions*). La crescita può essere ricondotta al fatto che l'automazione all'epoca ancora non era in grado di sostituire tutte le mansioni, soprattutto quelle in cui la lavorazione umana delle materie prime ne costituiva il processo chiave. Un secondo cambiamento lo si vede in tema di diminuzione dell'occupazione e salari nelle professioni a media qualifica (*middle- skill professions*). Ciò ovviamente fu dovuto alla possibilità di automatizzare questo tipo di attività.

Come driver centrale per studiare la polarizzazione del mercato del lavoro e dello spostamento della forza lavoro tra occupazioni viene preso di riferimento il *routine-biased technological change* (RBTC), cioè la sostituzione di compiti routinari e ripetitivi.

1.6.1 SBTC e RBTC: Un confronto tra teorie economiche sulla trasformazione del lavoro e i suoi effetti

La polarizzazione abbiamo detto utilizza come driver principale la RBTC. Al contempo altre analisi preferiscono utilizzare la *skill-biased technological change* (SBTC). Per rendere il lettore partecipe delle numerose teorie e poterlo indurre ad un pensiero critico, e non basato solo su timori o credenze popolari nel paragrafo si osservano i punti di forza e di debolezza sia dell'approccio RBTC sia di quello SBTC.

La teoria economica SBTC mette in relazione le competenze delle classi di lavoratori e lavoratrici con il progresso tecnologico. L'ipotesi afferma che le tecnologie sono "*skill biased*", cioè risultano essere complementari alle skill elevate dei lavoratori. Così come visto in precedenza, posizione lavorative ad alta qualifica e alto salario permettono, in un periodo di rilevanza tecnologica, l'aumento dell'occupazione e dei salari. Mentre lavoratori a bassa qualifica subiscono la complementarità dell'effetto, quindi in termini diminuzione occupazione. Però (Klinova e Korinek, 2021) il cambiamento tecnologico non per forza deve essere associato e favorire coloro dotati di determinate competenze. La storia (prima rivoluzione industriale) ha dimostrato come i primi cambiamenti furono infatti in favore dei lavoratori "*low skilled*" che improvvisamente si videro l'opportunità

di guadagni elevati e immediati. La teoria non fu però priva di critiche in quanto risultò incompleta nella spiegazione di alcuni fenomeni che si stavano verificando, quali ad esempio l'aumento del livello medio di istruzione.

La teoria RBTC pone l'enfasi su quelle attività che sono caratterizzate da un ciclo produttivo ripetitivo, routinario, cioè sostituibile dalle macchine. La teoria si pone in contrasto con quella in precedenza, in quanto la complementarità delle macchine con l'uomo è data non più dalle skill dei lavoratori bensì dalla routine a cui è soggetto il processo produttivo. Di conseguenza si vede diminuita la domanda di lavoro di questa classe di attività lavorative (in quanto possono essere sostituite dalle macchine con facilità). Questa teoria risulta lineare con l'ipotesi della *job polarisation*. Anche la RBTC non riesce però a dare spiegazione ad alcuni fenomeni. In questo caso un esempio ne è la bassa crescita dell'occupazione in posizioni lavorative che prevedono l'esecuzione di attività lavorative cognitive (Klinova e Korinek, 2021).

I tre tipi principali di tecnologia che sono frequentemente oggetto di discussione per via dei loro outcome nella società e nel mercato del lavoro sono:

- L'automazione. Il fenomeno implica la sostituzione dell'uomo. Di solito i lavoratori con maggiori competenze sviluppano i macchinari che porteranno via il lavoro a coloro con minori competenze. L'implicazione potrebbe essere vista sotto un aspetto negativo in questo caso. Ma è più complicato di così. La storia del progresso, sin dalla prima rivoluzione industriale, ha dimostrato come l'automazione aumenti gli standard di vita. Ci sono numerosi esempi che dimostrano di come quest'ultima abbia reso molte attività lavorative meno rischiose e faticose (Klinova e Korinek, 2021).
- Lo SBTC un tipo di cambiamento tecnologico che favorisce i lavoratori altamente qualificati, rischiando di ampliare le disuguaglianze.
- *Lo human augmentation*, che propone l'uso dell'AI per potenziare il lavoro umano e non per sostituirlo. Viene spesso utilizzata la frase "*human-augmenting AI*" (Klinova e Korinek, 2021) per sottolineare l'intento di beneficio che si desidera perseguire. Esempio (Klinova e Korinek, 2021). Immaginiamo un'azienda produttrice di un tipo di bene. Immaginiamo ora che introduca una tecnologia che vada ad aumentare la produzione del 10%. Ciò implica che verrà bilanciata da una

diminuzione del 10% della produzione per mantenere lo stesso livello di prima, però con un costo della forza lavoro più alto. Però se l'azienda abbassasse i prezzi dei propri prodotti come risultante di una diminuzione della forza lavoro, e allo stesso modo i consumatori sarebbero disposti ad acquistare più beni, allora l'azienda si troverà a dover aumentare la propria forza lavoro per contrastare l'incremento della domanda. Questo dipenderà però dall'elasticità del prodotto alla domanda, se maggiore o minore di 1.

1.7 Tecnologia, lavoro e salari: Analisi dei cambiamenti, meccanismi di compensazione e impatti socioeconomici.

Come abbiamo in precedenza affermato esistono variegati classi di pensiero. Però il principale pensiero riguardante questo tema attiene alle preoccupazioni di effetti negativi che potrebbero incorrere su qualità e quantità dell'occupazione. Ovviamente coesiste anche un versante di ottimismo. Viene sottovalutata secondo molti studiosi la capacità compensativa che queste nuove tecnologie apportano. “A fronte di qualcosa che viene distrutto, c'è qualcosa che viene creato” (Guarascio e Sacchi, 2017).

L'economia tradizionale distingue due fattori fondamentali per la produzione nell'economia: lavoro e capitale (economico ed umano). La tecnologia impatta in misura diverse entrambe queste determinanti. L'impatto positivo su uno potrebbe riscontarsi negativo sull'altro.

Due economisti, Daron Acemoglu e Pascual Restrepo, nel 2019 studiarono e analizzarono i tre maggiori effetti della tecnologia sulla domanda di lavoro. Il primo è l'effetto produttività che induce minori costi produttivi grazie all'utilizzo delle nuove tecnologie. Il secondo riguarda l'effetto sostituzione dei lavoratori causato dall'utilizzo delle tecnologie e macchinari simili. I due effetti possono essere visti sotto due diverse prospettive, l'uno sostitutivo del lavoro umano, l'altro visto in rapporto di complementarità con esso. Il terzo è l'effetto reintegrazione, riguardante la creazione di nuove attività e mansioni in cui il lavoro può essere impiegato in modo produttivo, è il cosiddetto *reinstatement effect*

(Crisantemi, 2021). Quest'ultimo effetto è al centro della rivoluzione tecnologica poiché offre un grande contributo alla creazione di sempre nuove opportunità di lavoro.

Sono 4 i meccanismi di compensazione che possono provocare le tecnologie.

Un primo riguarda l'effetto produttività. L'automazione come sappiamo consente di ridurre i costi di produzione. Di conseguenza si assiste ad una probabile riduzione dei prezzi di beni e servizi. Conseguente all'effetto è aumento della domanda di beni e servizi e aumento domanda di lavoro per attività non automatizzate. Un secondo meccanismo di compensazione è l'accumulazione di capitale. L'aumento del capitale provocato dall'introduzione di tecnologie di automazione provoca indirettamente un aumento della domanda di lavoro necessaria per il loro funzionamento. Si assiste poi ad un continuo processo dinamico di miglioramento dell'automazione; le tecnologie si evolvono, risultano essere sempre più nuove ed efficienti operando in sostituzione a quelle più obsolete. Ciò favorisce la produttività. L'ultimo meccanismo di compensazione è l'effetto reintegrazione. L'effetto induce all'aumento di nuova domanda di lavoro conseguente all'introduzione di nuove posizioni lavorative da ricoprire, nuove professioni e nuove conoscenze per poter sfruttare al meglio le tecnologie. Quest'ultimo è l'effetto compensazione più rilevante perché bilancia sicuramente l'effetto sostituzione. La distruzione di posizioni lavorative è compensata dalla necessaria introduzione di altre in grado di sfruttare le tecnologie.

1.8 Ulteriori effetti dei cambiamenti tecnologici sul mercato del lavoro

Come abbiamo visto, gli effetti del cambiamento tecnologico sono numerosi, molto simili tra di loro. Possiamo quindi, oltre a distinguere l'effetto produttività, l'effetto sostituzione, di reintegrazione, offrire un'ulteriore lettura. Analizziamo quindi ora l'effetto diretto, indiretto, verticale ed orizzontale, come conseguenza dei repentini cambiamenti tecnologici.

L'effetto diretto è l'effetto sui lavoratori, i quali vengono “assunti” o “licenziati” in diretta conseguenza all'introduzione delle tecnologie. A questo punto ci poniamo due tipi di domande: “quali tipi di lavoratori subiranno un impatto negativo (perdita del lavoro) a causa dell'introduzione di sistemi AI e in che zone geografiche si situano?”. Ad esempio,

se l'impatto dovesse riguardare una particolare classe di lavoratori (*low skilled*), (come analizzato in precedenza) localizzati in una determinata area geografica, conducendo ad un ridimensionamento delle loro opportunità lavorative, creando al contempo un impatto positivo per altre classi di lavoratori (*high skill*) in un'altra area geografica. L'effetto non potrebbe però dirsi compensato poiché il primo gruppo non potrebbe reagire per deviare l'effetto. Le evidenze empiriche dimostrano che di solito le *high skill* sono concentrate in precisi luoghi geografici. (Klinova e Korinek, 2021). L'altro effetto è l'effetto domanda: "l'innovazione porterà ad un aumento della domanda dei beni/servizi di un'azienda per via della diminuzione dei prezzi degli stessi o aumenterà la qualità dei suoi prodotti?" "L'aumento della domanda dei prodotti provocherà un aumento della domanda di lavoro?" "Per quali categorie di lavoratori e per quali aree geografiche?" Come abbiamo esplicitato prima tramite l'esempio, una diminuzione dei costi conseguente ad un'implementazione nell'attività produttiva di tecnologie e AI può portare alla decisione da parte dell'azienda stessa di abbassare i prezzi dei prodotti offerti ed aumentare in questo modo la domanda degli stessi e di conseguenza la produzione in modo tale da aumentare la forza lavoro necessaria. Come abbiamo detto però questa non è un'implicazione necessaria poiché dipenderà dalle scelte strategiche dell'azienda e dalle scelte dei consumatori di voler acquistare di più di quel prodotto (elasticità). L'effetto verticale attiene alla supply chain di un'azienda produttrice di beni e/o servizi e può essere anch'esso analizzato ponendosi diverse domande. "Come un aumento della domanda dei prodotti influenza la domanda di lavoro lungo la supply chain dell'innovazione dell'azienda?". L'azienda innovatrice avrà bisogno di meno spazi di lavoro fisici, meno uffici, la risultante è una minor domanda di lavoro. Però se l'azienda potesse aumentare la domanda dei propri prodotti per via dei prezzi più bassi o strategie di marketing efficienti implica l'aumento di domanda per le posizioni lavorative lungo la supply chain in senso verticale (input). Anche in questo contesto non esiste una risposta certa, sarà subordinata ad altre implicazione che riguardano la gestione interna e l'assetto organizzativo di un'azienda. L'ultimo effetto da analizzare è quello orizzontale. Quest'ultimo esamina come le aziende produttrici di beni e/o servizi che sono sostituiti o complementari alle aziende innovatrici saranno affette. Gli economisti intendono per sostituti i beni e servizi che possono essere utilizzati per lo stesso scopo (es taxi o uber).

Beni e servizi sono complementari quando il consumo di uno di essi rende più desiderabile l'altro (es caffè e crema).

Infine, l'ultima domanda da porsi è come i salari si aggiusteranno in seguito al nuovo equilibrio creatosi sulla domanda e offerta di lavoro a seguito di questi cambiamenti. I lavoratori che a seguito dell'innovazione tecnologica perderanno lavoro e lo ritroveranno svolgendo mansioni diverse in diverse aziende aumentando la produzione dell'azienda stessa. I lavoratori che competono per nuove posizioni lavorative causano l'effetto dell'abbassamento medio del salario per la posizione lavorativa che stanno lasciando. E viceversa posizioni lavorative in cui la domanda è in crescita implica un aumento del salario medio. Questo implica la possibilità di una redistribuzione del salario inegualitaria.

È quindi in conclusione importante per gli sviluppatori di queste tecnologie e per il governo tenere in considerazione tutte queste implicazioni al fine di garantire una società sostenibile che possa trarre per lo più vantaggio da queste introduzioni (Klinova e Korinek, 2021).

La conclusione a queste analisi rimane sempre la medesima. L'avvento dell'AI e delle altre tipologie di tecnologie viene vista più come una transizione verso l'integrazione all'interno dei lavori piuttosto di transizione, e sarà espressa in percentuali differenti all'interno dei diversi campi di indagine professionali. Vi saranno infatti lavori che accoglieranno in misura maggiore questo vantaggi altri che ne faranno un uso più moderato.

1.9 Robotica e AI: Un futuro di collaborazione e innovazione nel lavoro

A differenza dei classici robot che svolgono compiti fissi a netta distanza dalle persone fisiche, la robotica avanzata permette di lavorare in prossimità con quest'ultime e persino di interagirci. Ciò avviene grazie ad una collaborazione robotica-AI. Questo tipo di approccio finora non ha avuto riscontri negativi riguardanti l'impatto sull'occupazione o sulle skills dei lavoratori (*deskilling*). Infatti, l'utilizzo di questo tipo di tecnologie richiede l'ausilio di alcuni tipi di competenze umane quali il pensiero analitico o la capacità di *problem solving*. I compiti manuali di routine vengono sostituiti dalle macchine, mentre le competenze digitali registrano miglioramento.

L'intelligenza artificiale e il machine learning giocano un ruolo cruciale nel migliorare le capacità dei sistemi robotici. Gli algoritmi AI furono utilizzati per il monitoraggio e il controllo dei danni, mentre il machine learning aiutarono a predire le risposte agli stimoli. (CORDIS, 2023). Queste tecnologie furono d'aiuto per i robot in modo tale che questi ultimi si adattassero ad ambienti dinamici ottimizzando le loro funzionalità e performance.

CAPITOLO 2 EVIDENZE EMPIRICHE NELL'ERA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Dopo aver esaminato le teorie economiche sull'impatto delle nuove tecnologie sul mercato del lavoro nel capitolo si riportano i principali studi empirici su tale tematica.

2.1 Evidenze empiriche riguardanti il rischio di automazione del lavoro

Con il passare degli anni si è osservato che anche alcune attività non routinarie (al contrario di quanto affermava la RBTC) potessero essere automatizzate parzialmente. I limiti all'automazione totale sono riconducibili a caratteristiche riferibili esclusivamente a capacità umane (non replicabili dalle macchine); quali ad esempio la percezione e la manipolazione, l'intelligenza creativa (ovvero la capacità di produrre idee, teorie o artefatti nuovi e preziosi), l'intelligenza sociale (ovvero la capacità di rispondere in modo intelligente ed empatico a una controparte umana). Pertanto, la probabilità dell'automazione² dell'occupazione, è funzione diretta della preferenza e della rilevanza di queste caratteristiche all'interno di una professione. La stima della probabilità di automazione delle professioni può essere effettuata utilizzando due approcci: *l'occupation-based e il task-based approach*. (Bannò, et al 2023)

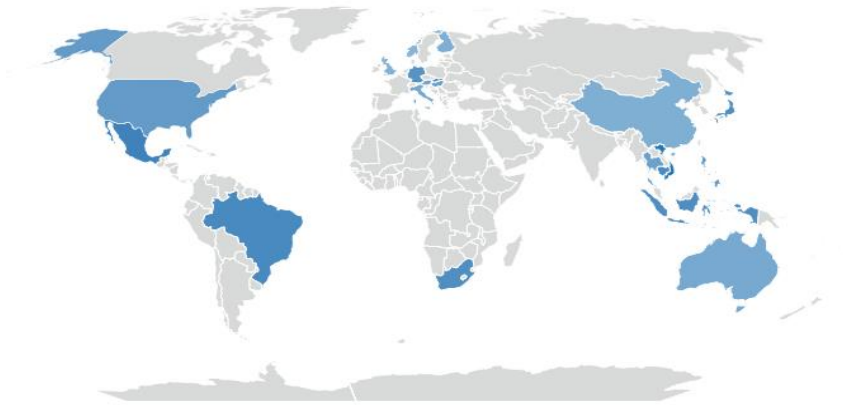
2.1.1 L'occupation-based approach e il rischio di sovrastima nell'automazione

Questo approccio si concentra sull'automazione dell'intera professione; non tiene conto delle singole attività lavorative. In altre parole, viene valutata se una professione nel suo complesso può essere automatizzabile o meno. Vi sono infatti casi di professioni altamente automatizzabili ma che al loro interno presentano attività lavorative che non lo siano.

² La stima della probabilità di automazione delle professioni viene svolta secondo la modalità del campionamento, la quale consiste nell'individuazione di quelle categorie di professioni che possano essere ritenute più a rischio, valutando il loro grado di esposizione alla sostituzione di macchine e la loro probabilità di automazione.

La figura 1, tratta dall'analisi di Bannò et al (2023), riporta le percentuali di lavoratori a rischio di automazione in diversi paesi secondo l'approccio *occupation based*.

FIGURA 1 PERCENTUALE DI LAVORATORI E LAVORATRICI D ALTO RISCHIO DI SOSTITUZIONE SECONDO L'OCCUPATION-BASED APPROACH IN ALCUNI PAESI DEL MONDO



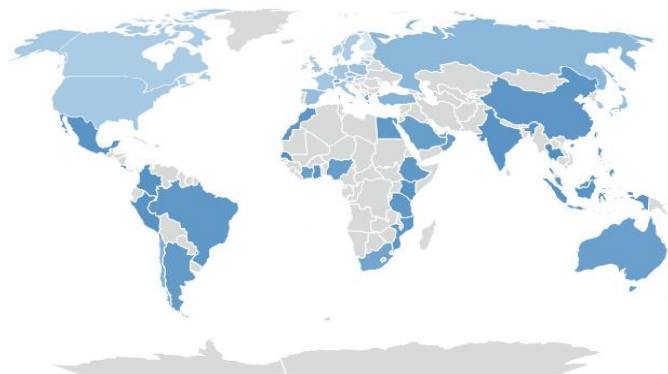
Fonte: Bannò, et al 2023, fonte di loro elaborazione

2.1.2 Il task-based approach e l'evoluzione dell'automazione del lavoro

Questo approccio supera i limiti del precedente, considerando l'ipotesi che alcune attività lavorative all'interno di una professione siano facilmente automatizzabili, mentre altre non lo siano. Si basa su un modello dinamico, infatti prevale l'ipotesi che alcune attività oggi non automatizzabili lo possano essere in futuro. L'approccio tiene conto anche dell'idea di complementarità dell'automazione e non solo di sostituibilità. Questo approccio verrà in seguito ripreso e chiarito al meglio.

La figura 2, tratta dall'analisi di Bannò et al (2023), riporta le percentuali di lavoratori a rischio di automazione in diversi paesi secondo il *task based approach*.

FIGURA 2 PERCENTUALE DI LAVORATORI E LAVORATRICI AD ALTO RISCHIO DI SOSTITUZIONE SECONDO IL TASK-BASED APPROACH IN ALCUNI PAESI DEL MONDO



Fonte: Bannò, et al 2023, fonte di loro elaborazione

In base ad un'analisi a livello globale, il 49% delle attività lavorative può essere automatizzato secondo il *task-based approach*. (Bannò et al 2023).

In conclusione, in ambi gli approcci è necessario valutare sia la probabilità di automazione delle professioni e delle attività, sia il rischio di sostituzione, il quale viene valutato tenendo conto dei cambiamenti tecnologici e dei limiti dell'automazione (difficile replicabilità delle capacità umane).

2.2 Previsioni globali sull'impatto dell'automazione sul lavoro

Uno studio effettuato nel 2020 dal World Economic Forum (WEF) aveva previsto che entro il 2025 si sarebbe registrata una perdita di 75 milioni di posti di lavoro, compensata da 133 milioni di nuovi impieghi specializzati con un saldo finale positivo di 58 milioni (Crisantemi, 2021). I risultati furono però aggiornati portando il saldo complessivo non più a 58 milioni bensì a 12 milioni. Ad oggi i dati sono insufficienti per verificare le previsioni, resta comunque certa la tesi secondo la quale intelligenza artificiale e la robotica svolgono all'interno di posizioni lavorative sia un ruolo di sostituzione sia di complementarità. L'obiettivo è chiaramente quindi quello di un

necessario aggiornamento e riqualificazione delle competenze così da adattarsi alle continue evoluzioni.

A sostegno di questa tesi finale il World Economic Forum (2023) riporta che le competenze con il più alto tasso di richiesta da parte del mercato sono quelle che includono conoscenze tecnologiche, AI e big data in modo particolare. (Calderone, 2023). Il WEF ha studiato e riconosciuto alcune posizioni professionali che tenderanno ad avere la maggior crescita, tra le quali specialisti in AI e *machine learning*, analisti per la sicurezza informatica, specialisti in trasformazione digitale ed ingegneri robotici. Il governo dovrà adottare pratiche e politiche a questo punto al fine di evitare il mismatch tra le competenze richieste dal mercato e quelle effettivamente possedute dalla forza lavoro.

Uno altro studio condotto dall'università della Pennsylvania prevede che saranno pari a circa l'80% le posizioni lavorative che saranno coinvolte in un cambiamento (Calderone, 2023), riguardando soprattutto posizioni ad alto reddito.

La tabella 1 riporta i potenziali di automazione a livello mondiale nei vari paesi secondo un'analisi empirica di Bannò et al (2023).

TABELLA 1 POTENZIALE DI AUTOMAZIONE A LIVELLO MONDIALE

Paese	Potenziale di automazione (%)	Salari associati alle attività tecnicamente automatizzabili (€ trilioni)	Lavoro associato alle attività tecnicamente automatizzabili (Milioni di FTE)
Giappone	55	1,02	35
India	52	1,02	233
Cina	51	3,8	394
Stati Uniti	46	2,5	60
Europa big 5	46	1,58	54
Resto del mondo	50	4,73	332
Totale	-	14,65	1.109

Fonte: Bannò, et al 2023, fonte di loro elaborazione Manyika 2017

Come evidenziato dalla tabella le attività lavorative atomizzabili corrispondono a 1,109 milioni di lavoratori e lavoratrici, mentre 14,65 trilioni di euro di salari. I due terzi di queste attività si trova in Cina, India, Giappone e Stati Uniti.

L'impatto dell'automazione varia seconda del paese d'analisi. In linea generale possiamo affermare che i paesi più sviluppati (i quali dispongono delle risorse necessarie per gestire eventuali rischi) tendono a beneficiare di un impatto netto positivo nel lungo periodo (grazie agli effetti di compensazione). Come in precedenza affermato, tuttavia, nel breve periodo vi è una percentuale maggiore di effetti negativi sull'occupazione, i quali vengono poi compensati nel lungo periodo. Studi empirici dimostrano che l'occupazione aumenterà di circa il 10% nel quattro anni successivi all'adozione dell'automazione nei processi lavorativi. (Bannò, et al., 2023).

Infine, secondo il rapporto Future Jobs 2025 (Perez, 2025) pubblicato dal WEF, l'AI generativa e le tecnologie di elaborazione delle informazioni porteranno ad un cambiamento del modello di business di 9 datori di lavoro su 10.

Secondo le previsioni al 2030 basate sulla classificazione ISCO-08 (*international standard classification of occupations 2008*), cioè una classificazione internazionale delle professioni sviluppata dall'organizzazione internazionale del lavoro (ILO), prese in atto per organizzare e confrontare i dati sulle occupazioni in modo standardizzato tra i diversi paesi e sistemi statistici (Fouarge, et al 2020)

Il grafico 1 riporta le differenze percentuali di occupati nelle diverse professioni entro il 2023 a seguito dei processi di automazione nel mercato del lavoro.

GRAFICO 1 DIFFERENZA PERCENTUALE ENTRO IL 2030 NELLE 28

PROFESSIONI SECONDO LE CLASSIFICHE DELL'ISCO-08-



Fonte: Fouarge, et al 2020

I gruppi riguardano in ordine come mostrato dal grafico: managers, professionisti intellettuali e scientifici (medici, ingegneri avvocati..), tecnici e professioni intermedie (tecnici informatici, contabili..), impiegato d'ufficio, addetti alle vendite e servizi(commessi, parrucchieri...), categorie di agricoltori pescatori, artigiani e operai specializzati(meccanici, elettricisti...), operatori di macchinari industriali, professioni non qualificate(addetti alle pulizie ad esempio).

Analizzando il grafico soprastante risulta che il 15% dei lavori è destinato a scomparire (soprattutto operatori di macchinari industriali e lavoratori non qualificati); i quali corrispondono a 6,5 milioni di lavoro in EU-28. I lavori più qualificati (*high-skilled*) sono meno esposti. In questo scenario circa 2/4 milioni di lavori si presentano in via di estinzione entro il 2030 su 7 categorie su 9. Le eccezioni riguardano managers e la categoria di allevatori, pescatori ed agricoltori.

Il grafico soprastante mostra le previsioni dell'automazione sul lavoro entro il 2030 confrontato rispetto lo scenario baseline (senza ulteriori cambiamenti tecnologici). Il grafico si divide in due parti, a sinistra la differenza % dall'occupazione baseline entro il 2030, a destra la differenza assoluta dall'occupazione baseline in milioni di lavori persi. La linea rossa (basso) indica bassa automazione, quella azzurra (medio) automazione media mentre la verde (alta, automazione elevata. Vengono quindi esaminati tre scenari

di automazione differenti, per comprendere al meglio di quanto l'impatto potrebbe variare a seconda di quanto velocemente si diffonderà l'automazione.

Numerosi studi dimostrano che l'intelligenza artificiale conduca ad aumento della produttività (considerando sempre l'assunzione di base secondo la quale tale effetto assume implicazioni differenti a seconda del settore di analisi). Uno studio condotto dalla Nielsen Norman Group (Calderone 2023) pp14), una società specializzata nelle interfacce dei prodotti tecnologici, stima che grazie all'AI integrata nei servizi clienti la velocità del customer service è aumentata del 10%.

Numerosi progetti furono attuati, tra i quali, uno tra tanti, messi in atto dall'INPS, la quale ha incrementato le funzioni di chatGPT per migliorare in misura drastica la capacità di assistenza virtuale, la quale fornisce all'utente una risposta immediata in seguito all'elaborazione di enormi quantità di dati, normative, leggi e circolari dell'istituto. Questi progetti dimostrano grande successo anche dell'applicazione dell'AI in settori pubblici. (Calderone, 2023).

2.3 L'impatto settoriale, a livello d'impresa e di professione dell'automazione

Secondo lo studio di Bannò et al (2023) a livello i settori maggiormente colpiti dall'automazione (poiché altamente automatizzabili) riguarderebbero principalmente il settore manifatturiero e il commercio al dettaglio. Al contrario il settore dei servizi sarebbe meno soggetto al rischio dell'automazione per via di alcune attività difficilmente sostituibili dalle macchine. A livello di impresa il bersaglio maggiore sono invece gli *early adopters*, cioè imprese esposte ad un rischio di sostituzione maggiore poiché più tendenti ad abbracciare le nuove tecnologie seguendo un processo dinamico di adattamento all'ambiente. Spesso sono anche le prime a beneficiare dei guadagni derivanti dall'automazione attraverso un miglioramento della produttività e una maggiore efficienza. L'impatto netto a livello di impresa in generale presenta però risultati contrastanti. Infine a livello di professione, studi empirici dimostrano che ad esempio negli Stati Uniti circa il 60% delle professioni ha almeno il 30% delle attività che possono

essere automatizzate; ma meno del 5% delle professioni può essere completamente automatizzata Bannò et al (2023)

Le professioni maggiormente automatizzabili sono quelle routinarie, le quali potrebbero essere automatizzate nell'arco di una barra due decenni. Al contrario, le professioni che richiedono abilità umane specifiche quali destrezza manuale, intelligenza sociale o creatività, sono meno vulnerabili all'automazione.

In tal senso, l'istruzione rappresenta un concetto chiave, poiché esiste una relazione inversa tra il livello d'istruzione e la probabilità dell'attività ad essere automatizzata. In generale le professioni con livelli di qualifica più bassi sono quelle più esposte. L'AI aumenta l'occupazione in professioni ad alto reddito, aumenta il lavoro non di routine e va a diminuire quello di routine.

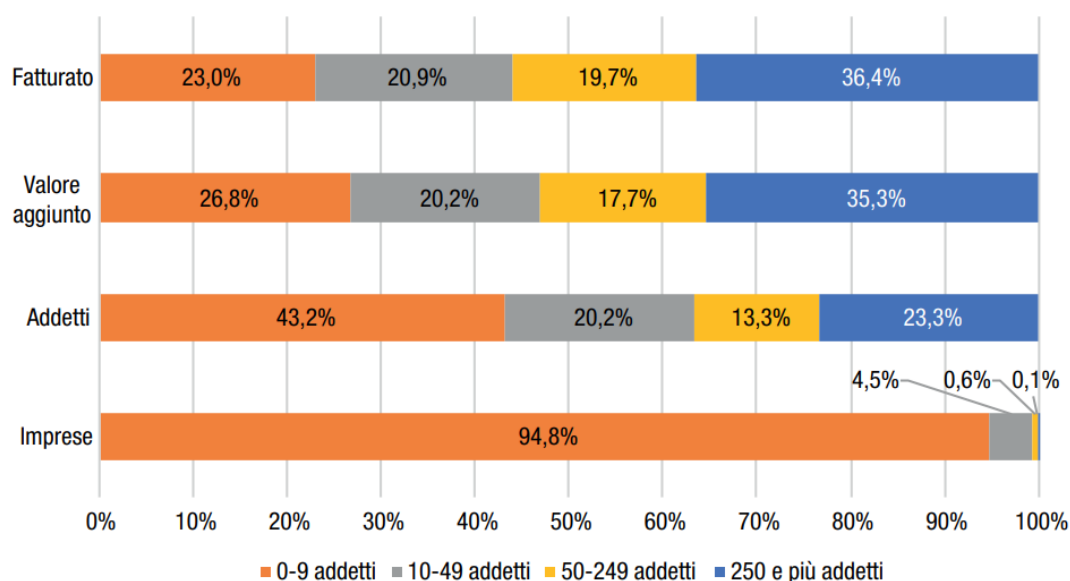
2.4 Automazione all'interno dell'industria italiana

Anche l'industria italiana è interessata dai recenti cambiamenti tecnologici

2.4.1 Il sistema delle imprese in Italia

Nel 2019 erano 4,4 milioni le imprese non agricole attive, di cui il 94,80% contava meno di 10 addetti. Tuttavia, questa cifra include anche i lavoratori autonomi, quindi il dato va interpretato con cautela, poiché non tutti questi lavoratori erano titolari di un'impresa. Quindi il 94,80% costituisce una sovrastima. Le imprese con meno di dieci addetti contribuivano al 26,8% del valore aggiunto e al 23% del fatturato, la cifra, come detto, è relativa e potrebbe sovrastimare il contributo delle piccole imprese.

GRAFICO 2 IMPRESE, ADDETTI/E, VALORE AGGIUNTO E FATTURATO PER CLASSE DIMENSIONALE DELL'IMPRESA IN ITALIA, ANNO 2019, VALORI PERCENTUALI



Fonte: Bannò, et al 2023, fonte di loro elaborazione su dati Istat 2022

Nel 2020 confrontando i dati relativi ai principali paesi europei (Francia, Italia, Germania e Spagna), l'Italia si collocava al secondo posto per numero di imprese con 3,8 milioni dietro la Francia, che ne contava 4,5 milioni. Nel 2018 in Italia le imprese di piccole dimensioni costituivano il 99,34% del totale e impiegavano il 65,7% degli addetti.

Nel 2019 il primo settore per numero di imprese era rappresentato dal commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di veicoli e motocicli (24,42%); mentre il primo settore per numero di addetti era quello delle attività manifatturiere. (21,58%). L'economia italiana si caratterizza per un peso relativamente maggiore nel settore manifatturiero rispetto alle altre economie europee.

Dal punto di vista territoriale, nel 2019 la maggior parte delle imprese si concentrava nel nord e nel centro della penisola, favorendo in tali aree la possibilità di ottenere spillover tecnologici.

2.4.2 Dinamismo strategico e innovazione

L'impresa italiana si distingue per un elevato livello di dinamismo strategico, ovvero la capacità di adattarsi agli shock esogeni modificando conseguentemente le scelte produttive adottando tecnologie innovative. Le imprese più dinamiche investono di

continuo in tecnologia e nella formazione del personale. Nel 2018 le imprese considerate dinamiche rappresentavano solo il 16,2% del totale, d'altro canto però impiegavano circa il 40% degli addetti generando sul totale il 50,4% del valore aggiunto e il 63,7% dell'export.

Le piccole imprese spesso formavano reti tra loro per condividere le risorse e tenersi sempre aggiornati sui nuovi cambiamenti tecnologici. In questo modo ottenevano flessibilità organizzativa e avviavano processi di internazionalizzazione verso nuovi mercati.

2.4.3 Ricerca, innovazione e brevetti

La capacità competitiva dell'impresa italiana è strettamente connessa all'attività innovativa e all'adozione delle tecnologie, sebbene l'Italia si collochi su un piano inferiore rispetto ai principali paesi avanzati. Gli investimenti in ricerca e sviluppo (49%) si concentrano principalmente nel settore dei servizi di informazione e comunicazione. Dal 2007 al 2019 gli investimenti in ricerca e sviluppo delle imprese italiane sono aumentati del 75,5%.

In Italia fu condotta un'analisi sui brevetti ai fini di comprendere il livello di innovazione in automazione. La ricerca fu svolta in termini di letteratura dei codici di brevetto. Nel 2020 il numero di imprese italiane che detenevano almeno un brevetto in innovazione contavano circa 2.600, con una media di nove brevetti ciascuna. Il settore che registra il maggior numero di brevetti in Italia è quello legato all'intelligenza artificiale con 16.776 brevetti (dati di Orbis Intellectual Property).

TABELLA 2 NUMERO DI IMPRESE ITALIANE ED EUROPEE CON BREVETTO IN AUTOMAZIONE PER CATEGORIA DI BREVETTO: SITUAZIONE AL 2020

Tecnologia	Numero di imprese italiane con brevetto	Numero di brevetti corrispondenti	Numero di imprese europee con brevetto
Automazione	2.602	23.453	26.952
Robot industriali	585	5.388	8.961
Intelligenza artificiale	1.889	16.776	18.195
Big data	572	1.289	7.904

Fonte: Bannò, et al 2023, fonte di loro produzione su dati Orbis Intellectual Property

2.4.4 Digitalizzazione e industria 4.0

Il progresso può essere ricondotto a diversi fattori quali l'ampio ricorso alle tecnologie cloud, una maggiore diffusione delle tecnologie di base o all'adozione delle tecnologie digitali avanzate. Tuttavia, rispetto ad altri paesi, l'Italia risulta in ritardo nell'adozione di tecnologie quali big data, intelligenza artificiale e commercio elettronico a causa della minore disponibilità di competenze specialistiche (Bannò et al., 2023)

Secondo uno studio dell'INAPP (istituto nazionale per l'analisi delle politiche pubbliche) condotto nel 2022, emerge che solo l'1,2% del totale delle imprese italiane ha investito in AI (Calderone, 2023). A questi investimenti corrisponde un impatto significativo in termini di aumento della propensione a ricercare profili professionali qualificati (+2%). La domanda delle professioni non qualificate o mediamente qualificate rimane invece invariata. Infatti, uno degli effetti conseguente la centralità delle nuove tecnologie riguarda proprio la ricerca di nuovi profili dotati di competenze specifiche.

Il vero e proprio ostacolo dell'Italia riguarda la composizione dimensionale, le imprese di minori dimensioni (la maggioranza in Italia) incontrano difficoltà a livello finanziario. Resta comunque fermo il concetto che la nuova industria 4.0 sta rivoluzionando il sistema produttivo italiano, integrando sempre più strettamente sistemi fisici e digitali.

Uno studio condotto da European House Ambrosetti (in collaborazione con Microsoft), (Calderone, 2023) stima che la produttività dell'economia italiana potrebbe aumentare fino al 18% grazie all'AI, andando a contrastare un fenomeno che non suscita poche preoccupazioni, cioè quello dell'invecchiamento della popolazione (come nel caso del Giappone). Lo studio dimostra che tra le imprese che fino ad ora hanno provato ad utilizzare soluzioni di AI, il 70% di esse dimostra di averne tratto vantaggi in termini di produttività. L'AI in questo caso è stata utilizzata principalmente per il reperimento di informazioni, assistenza virtuale ed efficientamento dei processi (Calderone, 2023).

2.4.5 Limiti strutturali

La frammentazione del sistema produttivo, la prevalenza di imprese familiari e di piccole dimensioni scoraggiano il pieno sfruttamento delle opportunità offerte dalle

nuove tecnologie, come il *technology empowerment*, cioè la capacità di trarre pieno vantaggio dalle tecnologie.

Le decisioni aziendali risultano essere spesso troppo accentrate e gli investimenti in formazione sono meno contingenti rispetto a quelli dei paesi avanzati. È atteso un maggiore ricorso all'automazione dei processi e delle funzioni principalmente nelle imprese di dimensioni più grandi, nelle quali l'automazione sostituirà prevalentemente lavori ripetitivi richiedendo progettazioni di impianti e layout aziendali dedicati.

2.5 Il rapporto uomo-AI

Secondo altri approcci l'intelligenza artificiale non deve essere vista solo come una tecnologia sostituiva, bensì come un vero e proprio mezzo di supporto e potenziamento per l'essere umano. Per centrare quest'obiettivo l'unione europea ha istituito il progetto "human-AI-Net. (CORDIS, 2023). Quest'ultimo si focalizza non tanto nel fare in modo che l'AI vada a sostituire ciò che già l'uomo è in grado di compiere da sé, ma in misura migliore, ma piuttosto come un modo per migliorare le capacità umane tramite la collaborazione uomo-AI.' L'idea è quella che l'intelligenza artificiale possa aiutare a fare ciò che l'uomo già sa fare, ma in maniera migliore e più efficiente, come avere un "*esoscheletro cognitivo*".

L'idea del progetto è capire come l'AI influenzi il modo in cui viviamo all'interno di una società. Il progetto è riorganizzato all'interno di una serie di microprogetti, i quali focalizzano l'attenzione su diverse ricerche e cercano di risolvere diversi campi d'indagine riguardanti il rapporto uomo-AI. Alcuni progetti hanno già riscontrato un risultato positivo, fornendo pratici strumenti di supporto all'uomo. Tra questi: An AR-Based Support System for Pancreatic Surgery, il progetto ha supportato con successo la rimozione chirurgica del tumore del pancreas. Un altro progetto da menzionare è Internet of Things and Artificial Intelligence to improve air quality in cities, volto a monitorare l'inquinamento urbano attraverso l'analisi dei big data. Questi progetti sono stati discussi anche in occasione della prima conferenza Hybrid Human Artificial Intelligence (HHAI), in cui si è ribadita l'importanza dell'AI come strumento complementare. Questi studi vengono supportati da un continuo aggiornamento delle tecnologie ma richiedono

comunque l'attività di trovare sempre nuove soluzioni e approcci differenti. La quarta conferenza è schedata nel giugno 2025 a Pisa (CORDIS, 2023).

2.5.1 Impatto sociale dell'automazione: il progetto TECHNEQUALITY

L'unione europea per prepararsi agli effetti della trasformazione tecnologica ha lanciato il progetto TECHNEQUALITY (coordinato dall'università di Maastricht e concluso nel 2021) (CORDIS, 2021). Il progetto si pone l'obiettivo di comprendere la relazione tra le recenti tecnologie e le disuguaglianze sociali attraverso studi e dati empirici riguardanti l'impatto dell'automazione. Il progetto che si è visto investiti 3.045.565 euro (CORDIS, 2021-technequality), ha analizzato:

- il rapporto tra automazione e occupazione
- le disuguaglianze tra classi sociali
- gli effetti sull'imposizione fiscale
- il ruolo dei governi

*TABELLA 3 L'IMPATTO DELLA ROBOTICA SU DIFFERENTI GRUPPI
DEMOGRAFICI*

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
		Denmark	Finland	France	Germany	Italy	Norway	Spain	Sweden	UK
Exposure to robots	Panel A. Gender									
	Female	1.244**	-0.061	0.068	-0.023	0.030	-0.379	0.044	-0.251	-0.183
		(0.539)	(0.214)	(0.311)	(0.015)	(0.027)	(0.362)	(0.064)	(0.205)	(0.297)
	Male	-0.078	-0.386	-0.545	-0.026	-0.032*	-0.007	-0.014	-0.429	-0.388
		(0.728)	(0.267)	(0.398)	(0.034)	(0.017)	(0.405)	(0.053)	(0.258)	(0.301)
	Panel B. Age									
	Age 24 and below	-0.047	-0.072	-0.355	-0.023**	0.162***	-0.328	-0.037	-0.067	-0.043
		(0.231)	(0.085)	(0.460)	(0.009)	(0.033)	(0.205)	(0.031)	(0.131)	(0.178)
	Age 25-54	1.215	-0.017	-0.148	-0.037	-0.260*	-0.149	0.052	-0.528*	0.395
		(0.725)	(0.291)	(0.635)	(0.033)	(0.141)	(0.763)	(0.044)	(0.300)	(0.455)
	Age 55 and above	0.209	0.646**	0.208	0.012*	0.041	-0.291	0.014	0.009	-0.060
		(0.233)	(0.260)	(0.275)	(0.006)	(0.046)	(0.216)	(0.023)	(0.144)	(0.145)
	Panel C. Skills									
	Unskilled	0.904	0.748	-0.069	-0.036***		-0.661	-0.127		-0.547***
		(0.584)	(0.562)	(0.721)	(0.013)		(1.585)	(0.087)		(0.128)
	Skilled	0.419	-0.200	-0.233	-0.012		-0.326	0.158***		-0.225
		(0.556)	(0.244)	(0.908)	(0.034)		(0.641)	(0.053)		(0.468)

Fonte: TECHNEQUALITY PROJECT 2021/5

In particolare, come si vede dalla tabella, è stato analizzato l'impatto della robotica su diverse categorie di persone (per genere, età e competenze) (Chen e Frey, 2021)

Si è rilevato che i robot hanno un impatto maggiore in termini di riduzione del livello di occupazione sui lavoratori più giovani, cioè coloro sotto i 24 anni di età. (L'Italia rappresenta l'unica eccezione in questo scenario, che al contrario vede diminuita l'occupazione nella fascia d'età 25-54). La spiegazione (eccetto per l'Italia) è stata ricondotta ipoteticamente al fatto che la robotica tende ad aumentare la richiesta di posizioni lavorative più complesse, quali supervisori e managers. Per quanto riguarda il genere si nota che l'impatto negativo si trova nella classe maschile principalmente. Questo è spiegato dal fatto che circa il 60%/70% della forza lavoro è in misura prevalente maschile nei nove paesi oggetto di analisi. L'ultima sezione d'analisi del grafico è quella relativa alle skills, misurate secondo il criterio (come proxy) del livello di educazione. Infatti, coloro definiti come 'skilled' in questa rappresentazione fanno riferimento agli individui che hanno perseguito percorsi di studio universitari o al di sopra. Dalle evidenze

non vi è chiaro che i robot industriali vadano in misura diretta ad impattare questo tipo di lavoratori (a differenza di altre tecnologie). La Spagna solo ne rappresenta l'eccezione, paese in cui i robot aumentano la domanda di lavoratori laureati, quindi con determinate competenze. Il dato più rilevante che si può trarre è che fino al 44% dei lavori in Europa è potenzialmente sostituibile dall'automazione (Chen e Frey, 2021).

2.6 Stima dell'impatto dell'AI sul mercato del lavoro tramite il modello LLMs

Alcuni studi riguardanti il tema includono quello di Frey and Osborne (2017) secondo cui circa il 47% dei lavori negli USA è a rischio automazione. In seguito a loro molti altri ricercatori e interessati all'argomento cercarono risposte riguardanti queste nuove tecnologie. I dati variavano a seconda dei diversi tipi di indicatori e punti di vista utilizzati per esaminare l'argomento. Tutti questi lavori si focalizzano sul cercare di quantificare l'impatto dell'AI tramite indicatori esterni. Il modello LLMs (*Large language Models*) (si veda l'appendice per la descrizione dettagliata del modello e del suo funzionamento) al contrario si distingue per assumere un punto di analisi interno con l'obiettivo di analizzare la possibile complementarità tra AI e mansioni. Questo approccio gode di due grandi vantaggi. Trasparenza nei risultati e riproducibilità.

Il modello LLMs è in grado di capire e generare testi umanizzati prendendo in analisi una grande quantità di dati, di analizzare il contenuto delle mansioni, valutare la performance potenziale dell'AI in ogni compito e di aggregare i risultati in un *AI exposure index*, cioè una matrice che quantifica quanto una mansione, un lavoro o un task è esposto all'automazione.

2.7 L'accelerazione dell'intelligenza artificiale

Secondo l'OCSE (organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo tecnologico) l'AI si sta sviluppando a una velocità superiore rispetto ad altre tecnologie. In base alla definizione di Russell e Norvig (2003), l'AI è *'la scienza che si propone di sviluppare macchine intelligenti'* (Lovergine e Pelleri, 2019).

A differenza della robotica, l'AI ha il potenziale di impattare tutti i settori economici e tutte le professioni grazie alla sua versatilità digitale, non è veicolata quindi a determinati campi di applicazione come la robotica. L'OCSE definisce l'attuale fase come *"on the*

brink of an AI revolution”, andando a sottolineare come la diffusione dell’intelligenza artificiale sia esponenziale. (Treu, 2024).

Le principali indagini economiche suggeriscono che l’AI a livello aggregato, difficilmente avrà un impatto negativo significativo sull’occupazione. L’assenza di effetti negativi evidenti potrebbe tuttavia dipendere dal fatto che l’AI ancora non è largamente adottata dalle imprese.

2.8 Dati sull’uso della robotica e sul suo impatto

Secondo l’IFR (*international federation of robotics*), nel 2022 sono state installate 553.000 nuove unità robotiche, una crescita del 5% rispetto al 2021. Entro 2025 si stima che il numero di robot industriali arrivi a contrare circa 5,4 milioni in tutto il mondo. (Ricchiuti, 2024). Il 73% dei robot si trova in Asia, con una forte concentrazione in Cina. I principali settori di adozione sono quello dell’automotive, dell’elettronica e della metallurgia, con crescente presenza in sanità e logistica. L’integrazione tra robotica e AI consente di svolgere compiti sempre più complessi, non solo in ambito industriale ma anche domestico.

2.9 Analisi degli effetti della robotica sull’occupazione

Andiamo adesso a studiare a livello matematico la relazione tra tecnologia e occupazione. La tecnologia può essere definita come la capacità di trasformare input in output. Un cambiamento tecnologico si verifica quando cambia la quantità o la qualità di input o output. (Hötte, et al 2022).

Una generica funzione di produzione può essere così rappresentata.

$$Q = A \cdot f(X, L)$$

Dove:

Q è l’output

L è il lavoro

X è l’input

A rappresenta il livello tecnologico

La funzione di produzione è crescente secondo i parametri tecnologici e gli input, cioè all'aumentare di questi ultimi la produzione aumenta.

L'effetto sostituzione rappresenta uno degli effetti diretti sull'occupazione conseguenti l'impatto tecnologico. Per effetto sostituzione si intende la situazione nella quale l'adozione di una nuova tecnologia permette ad un'azienda la riduzione del lavoro per una data quantità di produzione. A livello empirico è arduo stabilire se la tecnologia porti ad un effetto sostituzione o meno. Come indice d'analisi gli autori utilizzano il fattore di impiego, che può essere misurato calcolando il numero di lavoratori, il tasso di lavoro o le ore lavorative. Un altro indice potrebbe essere l'elasticità di sostituzione del lavoro, la quale può essere alterata dal cambiamento tecnologico. Se la tecnologia porta ad un aumento dell'elasticità ciò implica un effetto sostituzione potenziale. (Hötte, et al 2022). La maggioranza degli studi riguardanti l'effetto sostituzione lo supportano, in contrapposizione vi sono coloro che non lo supportano, e altri che non hanno una tesi affermata al riguardo. A tal riguardo la tabella sottostante riporta gli studi condotti sull'effetto sostituzione.

TABELLA 4 STUDI SULLA SOSTITUZIONE, A FAVORE, DIPENDE, DEBOLE, NON A FAVORE

	(1) support	(2) depends	(3) weak	(4) no support
share	0.67	0.13	0.05	0.16
#	69	13	5	16

Fonte: Hötte, et al., 2022

rappresenta il numero di studi condotti, con un totale di 127, di cui 103 che supportano l'effetto sostituzione. La tipologia di analisi utilizzata all'interno degli studi è differente. L'83% utilizza tecniche di regressione, il 15% si affida ad analisi descrittive e il restante 3% usa metodi di simulazione. (Hötte, et al 2022) pp14)

Infine, l'analisi è stata estesa alle categorie di tecnologie. La tabella 7 riporta l'effetto sostituzione in base alla tecnologia impiegata distinguendo tra ITC, Robot, Innovazione, TFP e altro.

TABELLA 5 STUDI SULL'EFFETTO SOSTITUZIONE PER OGNI GRUPPO TECNOLOGICO CONSIDERATO

	total	support	depends	weak	no support
ICT					
share	0.36	0.62	0.08	0.05	0.24
#	37	23	3	2	9
Robots					
share	0.15	0.87	0	0	0.13
#	15	13	0	0	2
Innovation					
share	0.12	0.25	0.58	0	0.17
#	12	3	7	0	2
TFP-style					
share	0.17	0.76	0.12	0.06	0.06
#	17	13	2	1	1
Other					
share	0.29	0.73	0.10	0.07	0.10
#	30	22	3	2	3

Fonte: Hötte, et al 2022

L'effetto ripristino si verifica invece nella situazione in cui l'adozione di una nuova tecnologia comporta la creazione di nuovi lavori direttamente collegati al suo utilizzo, sia a monte che a valle della catena produttiva. L'effetto è spesso associato ad un aumento della produzione. L'effetto esiste solo qualora la derivata del lavoro rispetto alla tecnologia sia positiva. $\frac{dL}{dA} > 0$. I ricercatori affermano che l'effetto non deve essere necessariamente equidistribuito nei diversi tipi di lavoro e può coesistere anche con il fenomeno sostituzione. Quindi in conclusione l'impatto netto della tecnologia sull'occupazione dipenderà dal bilancio tra i due effetti fin qui esaminati. (Hötte, et al 2022).

I due effetti sopra esaminati si traducono in un impatto diretto della tecnologia sulla produzione quando cambia l'uso degli input in termini relativi ed assoluti.

Altre due tipologie di effetti sul mercato del lavoro sono l'effetto indiretto e l'effetto sul salario reale. Assumendo una scelta razionale di adozione della tecnologia, quest'ultima

sarà sempre associata ad un aumento della produzione (altrimenti non la si adotterebbe). L'aumento della produzione permette all'azienda di abbassare i propri costi di produzione, ciò si traduce in una corrispondente diminuzione dei prezzi dei prodotti offerti sul mercato. Inoltre, se il cambiamento tecnologico porta ad un aumento del prodotto marginale di alcuni tipi di lavoro, ci aspettiamo i che salari w aumentino. Se il cambiamento tecnologico aumenta anche il prodotto marginale del capitale K , ci aspettiamo rendite di capitale maggiori, che rappresentano d'altra parte un'altra fonte di entrata. Tutti questi effetti (diminuzione dei prezzi P , salari maggiori w , maggiori ritorni in termini di capitale r) contribuiscono ad aumentare il salario reale. (Hötte, et al., 2022 pp37).

TABELLA 6 STUDI EFFETTUATI SUL SALARIO REALE

	support	depends	weak	no support
share	0.70	0.12	0.06	0.12
#	23	4	2	4

Fonte: Hötte, et al., 2022

Nel complesso, secondo l'analisi di Hotte et al (2022) l'effetto sostituzione tende a ridurre l'occupazione mentre gli effetti ripristino e salario reale tendono invece a crearla.

Con riferimento all'impatto sull'occupazione netta (tabella 12) Osservando i risultati si evince che l'effetto positivo prevale su quello negativo.

TABELLA 7 STUDI EFFETTUATI SULL'OCCUPAZIONE NETTA

	positive	depends	weak	negative
share	0.29	0.35	0.18	0.18
#	26	31	16	16

Fonte: Hötte, et al., 2022

In conclusione, a questa esamina, gli studi dimostrano un impatto positivo riguardante la creazione di lavoro causato dal cambiamento tecnologico. Da un punto di vista qualitativo avendo analizzato l'impatto di differenti tipi di tecnologie sull'occupazione si nota tuttavia un effetto negativo per le posizioni dei lavoratori low-skill. Per questo motivo programmi di formazione per quelle posizioni lavorative più vulnerabili risultano fondamentali (Hötte, et al., 2022).

Capitolo 3 IL RUOLO DELLA ROBOTICA NELL'ECONOMIA GIAPPONESE: LA SOCIETA' 5.0

3.1 Introduzione

Di seguito si analizzano gli effetti dell'adozione della robotica e dell'IA in Giappone, paese che tra i primi ha sperimentato l'adozione di tecnologie all'avanguardia nell'ambito della robotica divenendo uno dei principali leader mondiali nella produzione di robot. In un contesto segnato da sfide demografiche importanti, quali l'invecchiamento della popolazione e la riduzione della forza lavoro attiva, il paese ha individuato nell'innovazione tecnologica non solo una leva di crescita economica di per sé, ma una vera e propria ancora di salvezza per poter continuare a garantire produttività e competitività.

3.2 Abenomics e fragilità strutturali dell'economia giapponese

Sebbene le misure fiscali ed economiche introdotte dal primo ministro Shinzo Abe conosciute con il nome di Abenomics abbiano sostenuto la ripresa del Giappone dalla crisi finanziaria globale del 2008, il paese ha continuato a confrontarsi con problemi strutturali significativi. Dopo il 2008, infatti, il Giappone divenne il paese con il più alto tasso di popolazione anziana al mondo. Il fenomeno ha comportato un forte aumento della spesa pubblica, soprattutto in materia di previdenza e sicurezza sociale. Nel 2011, il debito pubblico ha superato il 200% del PIL e ha continuato a crescere negli anni successivi. (UNESCO, 2021).

Nel tentativo di ridurre il debito, il governo decide di aumentare le tasse sul consumo dal 5% all'8% nell'aprile 2014, e successivamente al 10% entro il 2017. La situazione fiscale risultava quindi chiaramente instabile. Nel 2014, il fondo monetario internazionale (IMF) raccomandò al governo un ulteriore aumento delle tasse sul consumo ad almeno il 15%. Tuttavia, una tale azione risultava politicamente complessa, poiché la maggioranza della popolazione anziana probabilmente esprime una forte opposizione attraverso il voto. (UNESCO, 2021).

TABELLA 8 INDICATORI SOCIO-ECONOMICI PER IL GIAPPONE, 2008 E 2013

Year	GDP growth, volume (%)	Population (millions)	Share of population aged 65 years and above (%)	Government debt as a share of GDP (%)*
2008	-1.0	127.3	21.6	171.1
2013	1.5	127.1	25.1	224.2

Fonte: UNESCO 2021, OECD 2014, IMF database 2014, UN dipartimento degli affari sociali ed economici.

In questo scenario di crisi fiscale ed economica, il primo ministro Abe, nel 2012 rese prioritaria la ripresa economica del Giappone. Durante una visita negli Stati Uniti nel febbraio del 2013, tenne un discorso intitolato *'Japan is back'*, in cui presentò la sua strategia di rilancio fondata su tre pilastri principali: l'espansione monetaria (*monetary easing*) lo stimolo fiscale una strategia per la crescita economica.

A lungo termine, il pilastro fondamentale delle tre strategie di Abe risiedeva nella crescita economica, la quale prevedeva come elementi chiave: una maggiore partecipazione femminile nel mondo del lavoro, la promozione della scienza, della tecnologia e dell'innovazione. (UNESCO, 2021). Il governo, di conseguenza, avviò significativi investimenti nell'istruzione, nella ricerca e nello sviluppo tecnologico.

Gli obiettivi principali delineati dal governo comprendevano: l'aumento degli investimenti in ricerca e sviluppo, la crescita del numero di donne occupate in posizioni altamente qualificate sia nei settori privati che pubblici, l'attrazione di circa 300.000 studenti stranieri in Giappone, il raddoppio degli investimenti diretti esteri FDI. (UNESCO, 2021).

3.3 Il problema demografico: sfide e strategie di risposta

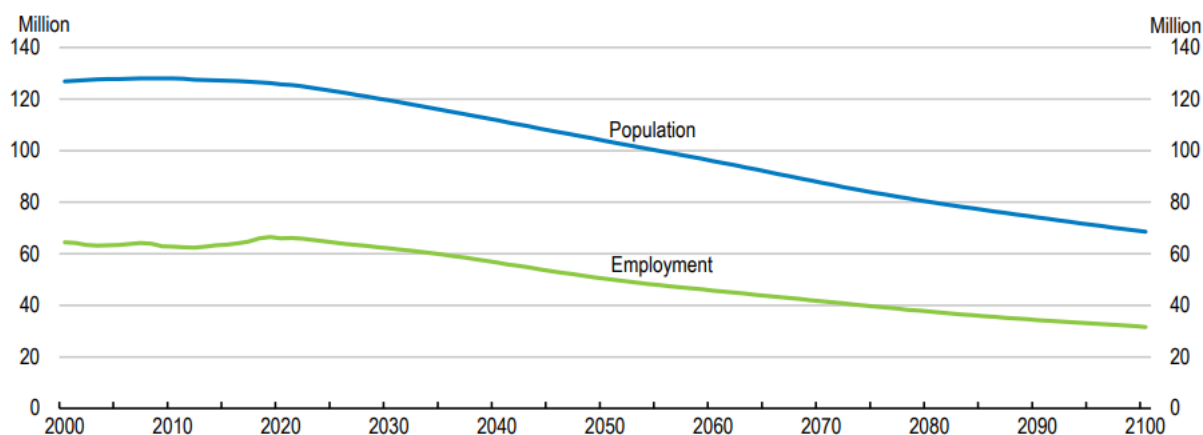
Attualmente, il Giappone sta affrontando una delle crisi demografiche più gravi al mondo. Secondo le stime, entro il 2100 la popolazione del Paese potrebbe ridursi del 45%, mentre il tasso di occupazione potrebbe calare sempre entro il 2100 del 52% (Jones, 2024). Per contrastare questa tendenza, il governo ha formulato una serie di proposte, incentrate principalmente sull'incremento del tasso di natalità. La strategia prevede il rafforzamento della precaria posizione finanziaria dei giovani, la quale incide negativamente sulla propensione al matrimonio e alla procreazione. Per le donne risulta

inoltre difficile la scelta carriera-madre. Le politiche dovrebbero quindi alleviare i costi legati al mantenimento dei figli, che rappresentano la principale barriera per molte coppie anche solo avere un figlio.

Tra le proposte considerate, vi è la necessità di rompere la polarizzazione del mercato del lavoro e riformare il sistema pensionistico, ad esempio abolendo l'età pensionabile obbligatoria, fissata di norma a 60 anni, per innalzare l'età lavorativa e sostenere così il tasso di occupazione. Parallelamente viene evidenziata la necessità di attirare lavoratori e talenti dall'estero tramite politiche migratorie più aperte.

Secondo alcuni previsori, i bambini nati del 2007 potrebbero vivere in media fino a 107 anni, e questo, combinato al crollo della natalità, rappresenta una vera e propria minaccia per l'equilibrio socioeconomico del Paese. In questo contesto l'adozione di tecnologie avanzate nel mercato del lavoro appare come una leva cruciale per compensare il declino demografico e sostenere la produttività. Infatti, se il tasso di natalità dovesse rimanere stabile a 1,3 e il tasso di immigrazione netta non cambiasse, la popolazione giapponese scenderebbe dagli attuali 125 milioni a circa 96 milioni entro il 2060 (Jones 2024), e a meno di 70 milioni entro il 2100. Tale scenario implicherebbe un dimezzamento della forza lavoro entro la fine del secolo e profonde trasformazioni nel mercato del lavoro.

GRAFICO 3 POPOLAZIONE ED OCCUPAZIONE GIAPPONESE SI RIDURRANNO DRASTICAMENTE



Fonte: Jones 2024, OECD.

3.4 Tecnologia e produttività come risposta alla sfida demografica

Per il Giappone, politiche volte a stimolare gli investimenti in ricerca e sviluppo e a migliorare l'efficienza nell'allocazione delle risorse risultano essenziali. L'obiettivo, come delineato dall'OCSE nel 2021, è quello di realizzare la cosiddetta "società 5.0": una società guidata dai processi di digitalizzazione e dall'AI. In questo contesto, la sopravvivenza economica e sociale del Paese dipenderà fortemente dalla sua capacità di innovare. Il Giappone può contare su un vantaggio competitivo importante: le sue aziende sono leaders mondiali nella tecnologia della robotica. Secondo i dati della International Federation of Robotics, nel 2020 il Paese registrava la terza più alta densità di robot nel settore manifatturiero a livello globale.

La tecnologia appare quindi come un elemento chiave per fronteggiare la diminuzione della forza lavoro e per sostenere la crescita. Tuttavia, affinché la produttività possa realmente aumentare è necessario intervenire anche su altri fronti: rafforzare le politiche commerciali di export e import, incrementare il capitale umano attraverso una formazione più mirata, favorire gli investimenti e la mobilità internazionale di lavoratori, promuovere la nascita e lo sviluppo di start-up e attuare riforme sul sistema scolastico.

Il Giappone in conclusione si trova oggi a fronteggiare una sfida demografica abbastanza ingente. Per contrastare il declino della forza lavoro, il Paese sta adottando un insieme integrato di politiche che combinano innovazione tecnologica, apertura economica e riforme strutturali.

3.5 La società 5.0

Per affrontare le sfide economiche e demografiche interne, il Giappone ha avviato un progetto innovativo: la "società 5.0", una società super-intelligente, che mira a una trasformazione radicale dello stile di vita giapponese attraverso l'integrazione delle tecnologie digitali. Questo progetto rappresenta l'evoluzione storica delle società umane così rappresentata:

- Società 1.0: epoca dei cacciatori-raccoglitori
- Società 2.0: società agricola
- Società 3.0: società industrializzata
- Società 4.0: società dell'informazioni

-Società 5.0: società sostenibile ed inclusiva alimentata dalle nuove tecnologie Ai, big data, robotica e l'internet delle cose.

L'obiettivo principale risiede nel superamento degli ostacoli strutturali come l'invecchiamento della popolazione, la polarizzazione sociale, lo spopolamento e le criticità legate all'energia e all'ambiente. (Sato, 2019).

In questa nuova visione, la stretta collaborazione tra uomo e macchine gioca un ruolo centrale, portando alla creazione di una società in cui le tecnologie contribuiscono direttamente al benessere umano e alla crescita economica.

Dal punto di vista finanziario, il progetto ha generato un incremento significativo del bilancio nazionale: dai 3,6 trilioni di yen (circa 33 miliardi di dollari) del 2017, ai 4,2 trilioni di yen (circa 38 miliardi di dollari) nel 2019. Con questi numeri sono aumentati di conseguenza notevolmente i fondi per investimenti in tecnologie.

Il concetto di "Società 5.0" è stato introdotto per la prima volta nel 2016 all'interno del quinto piano di base per la scienza e la tecnologia, una strategia quinquennale elaborata dal consiglio per la scienza, tecnologia e innovazione (CSTI). L'attuazione del piano ha richiesto un rafforzamento significativo della collaborazione tra governo e industria, in un'ottica di transizione verso l'industria 4.0.

Lo sviluppo dell'intelligenza artificiale all'interno della Società 5.0 si articola in tre fasi principali:

- 1) Espansione dell'utilizzo dell'intelligenza artificiale basata sui dati all'interno dei singoli ambiti di servizio
- 2) Diffusione generalizzata dell'AI e dei dati in tutti i settori dell'economia e della società
- 3) Formazione di ecosistemi integrati attraverso la convergenza di servizi e tecnologie.

Le tre aree prioritarie individuate nella strategia, pubblicata nel marzo del 2017, sono: la salute, la mobilità, e la produttività. Questi ambiti costituiscono i pilastri sui quali costruire un'economia più equa e sostenibile.

3.6 Robotica come risposta alle sfide occupazionali e sociali del Giappone

Essendo il Giappone caratterizzato da invecchiamento della popolazione e da un basso tasso di immigrazione, le tecnologie non sono percepite come una minaccia, bensì come un sostituto necessario del capitale umano, sempre più scarso. Il Giappone per questo motivo rappresenta un caso studio emblematico nel quale l'adozione della tecnologia è vista in modo positivo.

Nel dibattito sull'industria 4.0 abbiamo già visto come si contrappongono due visioni: da un lato vi sono i pensatori avversi, che percepiscono la rivoluzione tecnologica come una minaccia per l'occupazione; dall'altro i favorevoli, che la vedono come un'opportunità. A questo punto vorrei offrire un ulteriore punto di vista. Cioè, quello di anziché distinguere tra scuole di pensiero che si basano per loro più su opinioni personali, vorrei che il campo di differenziazione si basasse sulla situazione di analisi. Vi sono paesi nei quali un'eccessiva introduzione di tecnologia ne rappresenta una minaccia per la forza lavoro, e altri al contrario nei quali ne rappresenta la vera e propria ancora di salvezza. Questo è il caso del Giappone. *“i robot potrebbero salvare il lavoro”* (Zorloni, 2017).

Il Paese si trova infatti in una situazione di impieghi vacanti. Un rapporto della Bank of Japan evidenzia come molte imprese locali stiano cercando di sostituire i lavoratori, che non riescono più a trovare, con i sistemi robotici. I dati parlano chiaro: nel 2017 si è registrato un aumento del 17,5% degli investimenti in robotica da parte delle imprese con un alto fatturato.

Il Giappone si trova ad affrontare anche un terzo problema cruciale: il fenomeno del *karoshi*, ovvero la “morte per eccesso di lavoro”. Le cause principali sono lo stress cronico e prolungato, il quale può condurre ad infarti, ictus o suicidi. (Zorloni 2017) Anche in questo caso, l'introduzione della robotica potrebbe alleviare la pressione sul capitale umano, migliorando la qualità della vita lavorativa.

3.7 L'integrazione dell'AI nella robotica: un alleato strategico per l'innovazione industriale giapponese

Grandi aziende giapponesi, come Toyota, hanno iniziato a impiegare la robotica in funzioni avanzate, come l'ispezione della qualità (Licata, 2020).

L'approccio è sostenuto da molti report giapponesi che evidenziano come l'automazione, eliminando i compiti ripetitivi, consenta ai lavoratori di dedicarsi maggiormente in compiti nei quali la creatività prevale in modo tale da spingere le aziende verso una maggiore innovazione (compiti creativi).

Hiroshi Otsuka, CEO di Musashi Seimitsu Industry, un'importante azienda giapponese di produzione automobilistica, sostiene fortemente questo paradigma. Vorrebbe fare in modo quindi che tutti i compiti che richiedono alte competenze e lunghe esperienze (come l'ispezione), vengano sostituiti dall'automazione, in modo tale da valorizzare secondo le proprie capacità la propria forza lavoro (Licata, 2020). Similmente, Kazutaka Nagaoka, CMO di Japan Display (fornitore di Apple) afferma che i reparti automatizzati producono una qualità superiore, confermando la validità di questa direzione.

La massima efficienza si raggiunge attraverso l'integrazione dell'AI nella robotica, poiché l'utilizzo di algoritmi avanzati permette alla robotica di abbassare ancora di più il proprio tasso di errore. Un caso esemplare è rappresentato dalla start up israeliana SixAI, fondata da Ran Poliakine, che ha introdotto una metodologia innovativa: l'AI non viene addestrata su dati relativi a difetti, ma su quelli di prodotti perfetti. La start up si è unita con Musashi Seimitsu creando la joint venture "Musashi AI" (Licata, 2020), focalizzata sullo sviluppo di robot per il controllo di qualità, tendenza che ha riscosso successo su scala globale.

Il CEO di Musashi, Otsuka, ribadisce un concetto centrale di questa analisi: l'AI è destinata a complementare, non a sostituire il lavoro umano (Licata, 2020). Tale orientamento riflette uno dei valori fondamentali della cultura produttiva giapponese, il principio del "*gechi genbutsu*", ovvero il "vai e guarda di persona"; che sottolinea l'importanza della conoscenza diretta e del miglioramento continuo dei processi produttivi.

3.8 L'automazione che crea lavoro: il paradosso giapponese

Il modo con cui la robotica rimpiazzerà il lavoro umano è un tema ampiamente discusso. In paesi quali Stati Uniti, Cina e Germania è diffusa la preoccupazione riguardante l'impatto negativo dell'adozione della robotica in termini di disoccupazione tecnologica.

Il Giappone costituisce un'eccezione rilevante in questo scenario. Non è diffusa nel paese la preoccupazione della sostituzione del lavoro con le macchine come un fattore negativo. L'opinione pubblica giapponese vede nella robotica un mezzo per la sopravvivenza dell'economia piuttosto che una minaccia per la stessa. Questo atteggiamento si fonda su una lunga tradizione storica, già dagli anni '70 si è assistito ad una capillare diffusione dei robot nell'industria (Dekle, 2020).

Nel 2012 il Giappone contava dieci volte il numero di robot presenti negli Stati Uniti e in Europa, rendendolo un caso studio ideale per analizzare l'impatto della robotica sulla domanda di lavoro.

I robot industriali possono essere misurati secondo due metodologie.

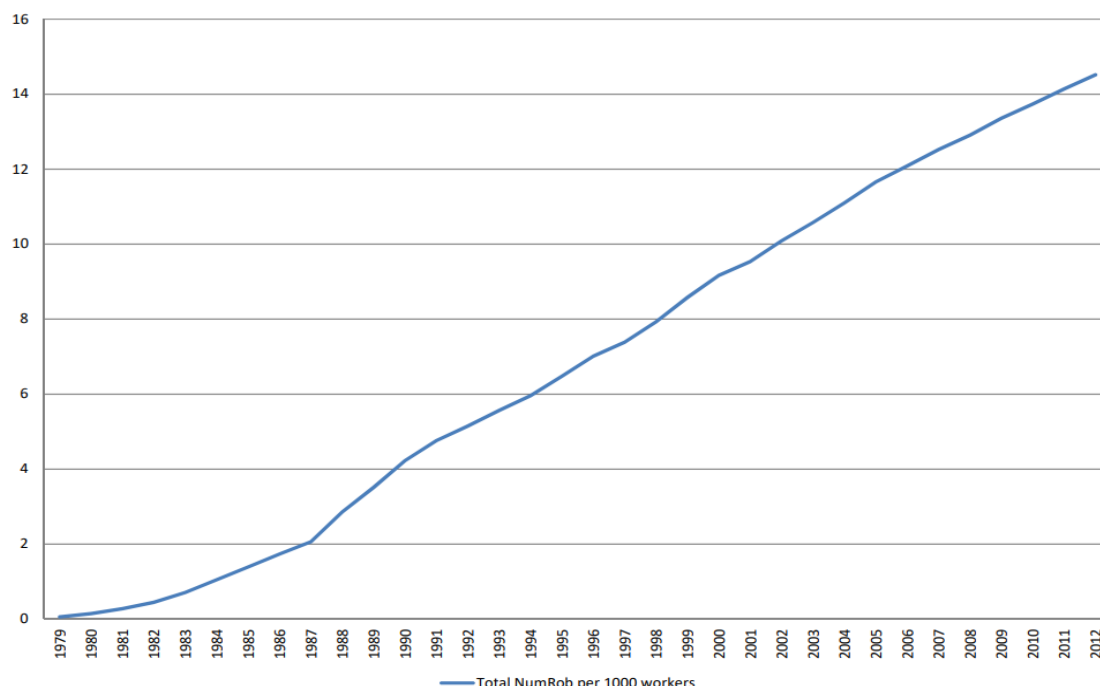
1) per numero totale di unità

2) per valore complessivo, che considera la qualità e la sofisticazione tecnologica dei robot. Questo metodo consente un'analisi più approfondita e la differenziazione tecnologica tra paesi.

Secondo la seconda metodologia, alla fine del 2012, il Giappone disponeva di circa 800.000 robot industriali (Dekle, 2020), rispetto ai 190.000 degli Stati Uniti e ai 350.000 dell'Europa (dati secondo l'International Federation of Robotics, IFR). Va sottolineato che la distribuzione dei robot non è lineare tra i settori industriali, varia a seconda del tipo di industria. In Giappone le industrie con una più alta concentrazione sono quella automobilistica e manifatturiera di precisione, come l'elettronica.

L'intensità della robotica è cresciuta rapidamente negli anni '90 (Dekle, 2020). Nel 2011 il numero di robot utilizzati per un campione di 1000 impiegati era 14, rispetto a 1,4 negli Stati Uniti e 2,3 in Europa.

GRAFICO 4 NUMERO TOTALE DI ROBOT PER 1000 LAVORATORI



Fonte: *Dekle (2020)*

Utilizzando la misurazione per valore, è stata osservata una relazione negativa tra l'aumento dell'intensità e l'occupazione femminile. Questo è attribuito al fatto che molti lavori part-time, spesso ricoperti da donne, risultino più vulnerabili all'automazione, data la loro minore intensità di capitale umano.

Tuttavia, l'esperienza giapponese evidenzia una relazione positiva tra l'intensità della robotica e l'occupazione complessiva. Infatti, un aumento percentuale pari a 1 dell'intensità media dei robot (indipendente dal tipo di misurazione che si preferisce adottare) aumenta i salari in corrispondenza dello stesso aumento percentuale, stimolando in questo modo il tasso di partecipazione alla forza lavoro e aumentando il numero di lavoratori. (Dekle, 2020).

In conclusione, il Giappone rappresenta il paese emblema in termini di robotica, con un tasso elevato della stessa rispetto agli altri paesi del mondo. Studi empirici confermano la relazione positiva dell'alta intensità robotica in termini di impatti macroeconomici. Il maggior impatto si rileva nella domanda aggregata, la quale aumenta la domanda di lavoro. In particolare, l'automazione ha contribuito a stimolare la crescita economica, permettendo al paese di superare diversi shock negativi e rilanciare la propria economia.

APPENDICE:

Come funziona il modello LLMs (*Large language Models*)

Data una sequenza di parole, l'obiettivo è quello di massimizzare la funzione logaritmica espressa da un parametro modello θ T così da poter predire le altre sequenze di parole.

$S = (w_1, w_2, \dots, w_n - 1)$ La sequenza S rappresenta una sequenza di parole in una frase

$P(w_i | w_1, w_2, \dots, w_{i-1}; \theta_t)$ Questa funzione rappresenta la probabilità condizionata della parola w_i , data la sequenza delle parole precedenti $(w_1, \dots, w_{i-1})$, secondo un modello linguistico con parametro θ_t .

$\sum_i \log P(w_i | w_1, \dots, w_{i-1}; \theta_t)$ Rappresenta la log-likelihood (verosimiglianza) della sequenza S . Viene sommato il logaritmo delle probabilità di ogni parola data la storia precedente. La funzione serve a misurare quanto il modello considera probabile una certa sequenza.

$\prod_{i=1}^n P(w_i | w_1, \dots, w_{i-1})$ La funzione rappresenta la probabilità congiunta dell'intera sequenza di parole secondo la regola della catena della probabilità.

Per far capire meglio in modello al lettore propongo un esempio attuale. ChatGPT è esattamente un tipo di LLM.

Il modello è dotato dell'abilità "*in-context learning*", cioè la capacità di imparare dal contesto. Il modello risponde ad obiettivi ben precisi con un alto grado di accuratezza, cercando nel tempo di limitare il più possibile la sua esposizione ad errori.

CONCLUSIONI

La tesi ha analizzato l'impatto dell'AI e della robotica sul mercato del lavoro. Dall'analisi si evince come l'impatto dell'AI e della robotica sull'occupazione non debba essere necessariamente negativo, dipendendo da numerosi fattori come l'ambiente di lavoro o il tipo di mansione lavorativa svolta. Infatti, sia l'analisi teorica che le evidenze empiriche, e in modo particolare il caso studio giapponese, evidenziano come l'automazione non rappresenti necessariamente un agente distruttivo per il mercato del lavoro. Come abbiamo visto infatti, piuttosto che di trasformazione del lavoro è più appropriato parlare di ristrutturazione dello stesso. Ovviamente quest'ultimo non è un processo che si innesca in maniera automatica ed autonoma; esso richiede un intervento attivo da parte dei policy makers, che dovrebbero operare principalmente favorendo programmi di riqualificazione dei lavoratori. Anche l'innovazione sostenibile e il supporto alle piccole imprese, maggiormente esposte ai rischi legati alla transizione verso l'automazione, dovrebbero rappresentare obiettivi di policy.

Il caso del Giappone evidenzia come l'AI e la robotica, se integrate e quindi non sostitutive, al contesto socioeconomico di riferimento, rappresentino una leva più che positiva di supporto alla crescita economica e non solo.

La sfida a cui tutti gli attori economici sono chiamati a rispondere nei prossimi anni riguarda la capacità di governare un cambiamento tecnologico che vada a ridefinire non solo in mondo del lavoro ma anche il ruolo degli individui nella società e nel sistema produttivo.

BIBLIOGRAFIA

Bannò, M., Trento, S. e Filippi, E. (2023). *Automazione e occupazione: una ricerca su cambiamento tecnologico e impatto sull'occupazione*. [PDF] Documento non pubblicato. Disponibile su: file personale. file:///C:/Users/giuli/Downloads/00470238865201_VOLAIT0001-0104.pdf

Calderone, M. E. (2023) *Audizione del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali sul rapporto tra intelligenza artificiale e mondo del lavoro*. Commissione Lavoro della Camera dei Deputati, 26 ottobre. Disponibile su: <https://www.lavoro.gov.it/documenti/audizione-ministro-calderone-intelligenza-artificiale-del-26-ottobre-2023>

Chen, C. e Frey, C. B. (2021) *Automation and Adjustment in Europe: A Comparative Study of the Robot Revolution*. TECHNEQUALITY. Disponibile su: <https://technequality-project.eu/media/115>

CORDIS (2021) *How automation affects work, economies – and society*. CORDIS – EU research results. Disponibile su: <https://cordis.europa.eu/article/id/430224-how-automation-affects-work-economies-and-society>

CORDIS (2021) *Techological inequality – understanding the relation between recent technological innovations and social inequalities* (TECHNEQUALITY). Disponibile su: <https://cordis.europa.eu/project/id/822330/results>

CORDIS (2023) *Establishing a new era in human-AI collaboration*. CORDIS – EU research results. Disponibile su: <https://cordis.europa.eu/article/id/455794-establishing-new-era-in-human-ai-collaboration>

CORDIS (2023) *Self-healing soft robots lead the way in sustainability*. [PDF] Luxembourg: Publication Office of the European Union. Disponibile su: file personale. file:///C:/Users/giuli/Downloads/CORDIS_article_455773-self-healing-soft-robots-lead-the-way-in-sustainability_en.pdf

Crisantemi, M. (2021) *Robotica, intelligenza artificiale e occupazione, un dibattito stretto tra tecnofobia e necessità di cambiamento*. Innovation post. Disponibile su: <https://www.innovationpost.it/tecnologie/robotica/robotica-intelligenza-artificiale-e-occupazione-un-dibattito-stretto-tra-tecnofobia-e-necessita-di-cambiamento/>

d'Elia, E. (2020) *Intelligenza artificiale e occupazione, intervenire ora per evitare nuovi squilibri*. Agenda digitale. Disponibile su:

<https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/intelligenza-artificiale-e-occupazione-intervenire-ora-per-evitare-nuovi-squilibri-le-previsioni/>

Daveri, F. (2017) *Che fare se l'automazione porta alla scomparsa il lavoro*. Disponibile su: <https://lavoce.info/archives/48776/automazione-lavoro-cosa-accadra-cosa/>

Dekle, R. (2020) *Robots and Industrial Labor: Evidence from Japan*. SSRN. Disponibile su: <file:///C:/Users/giuli/Downloads/ssrn-3670356.pdf>

Di Giacomo, G. e Lerch, B. (2022) *Per lavoratori e robot un futuro di convivenza*. Disponibile su: <https://lavoce.info/archives/93846/per-lavoratori-e-robot-un-futuro-di-convivenza/>

Fenoaltea, E.M., Mazzilli, D., Patelli, A., Sbardella, A., Tacchella, A., Zaccaria, A. e Pietronero, L. (2024). *L'impatto dell'intelligenza artificiale sul mercato del lavoro nella prospettiva di economic complexity*. CNEL, Casi e materiali di discussione: mercato del lavoro e contrattazione collettiva n. 7/2024. Disponibile su: https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2024/05/NR-7-CNEL_-CASI-E-MATERIALI-Limpatto-dellIntelligenza-Artificiale-sul-mercato-del-lavoro-nella-prospettiva-di-economic-complexity.pdf

Fouarge, D., McGovern, M., Levels, M. e Suta(2020) *Scenarios for the Impact of Automation on Work in Europe*. TECHNEQUALITY Policy brief No 1. Disponibile su: <https://technequality-project.eu/media/104>

Guarascio, D. e Sacchi, S (2017) *Digitalizzazione, automazione e futuro del lavoro*. Roma: INAPP. Disponibile su: <https://oa.inapp.gov.it/server/api/core/bitstreams/112cfc9c-891b-42c1-b821-460c4f5e764a/content>

Hötte, K., Somers, M. e Theodorakopoulos, A. (2022). *Technology and jobs: A systematic literature review*. arXiv. Disponibile su: <https://arxiv.org/pdf/2204.01296>

HumanE-AI-Net (2023) *Internet of things and Artificial Intelligence to improve air quality in cities*. (TMP-067). Disponibile su: <https://www.humane-ai.eu/project/tmp-067/>

Jones, R. (2024) *Addressing demographic headwinds in Japan: A long-term perspective*. OECD Economics Department Working Papers, No. 1792. Disponibile su: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/04/addressing-demographic-headwinds-in-japan-a-long-term-perspective_85b9a67f/96648955-en.pdf

Klinova, K. e Korinek, A. (2021). *AI and Shared Prosperity*. In: *proceeding of the 2021 AAAI/ACM conference on AI, Ethics, and society (AIES'21)*. Disponibile su: <https://arxiv.org/pdf/2105.08475>

Licata, P. (2020) *Giappone, il Covid spinge l'uso di robot e AI nelle fabbriche*, *corriere comunicazioni*, 31 agosto <https://www.corrierecomunicazioni.it/industria-4-0/giappone-il-covid-spinge-luso-di-robot-e-ai-nelle-fabbriche/>

Lovergine, S. e Pelleri, A. (2019) *Quale futuro per il lavoro: analisi della letteratura sugli impatti della robotica*. INAPP paper n. 18-2019. Disponibile su: https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2019/04/INAPP_Lovergine_Quale_futuro_per_il_lavoro_2019.pdf

Perez, G. R. (2025) *In cinque anni l'intelligenza artificiale creerà 170 milioni di posti di lavoro in tutto il mondo*. *El País*. Disponibile su: <https://elpais.com/economia/2025-01-14/en-cinco-anos-se-crearan-170-millones-de-empleos-en-el-mundo-por-la-inteligencia-artificial.html>

Posada, J. (2020), *The Future of Work Is Here Toward a Comprehensive Approach to Artificial Intelligence and Labour*. *Ethics of AI in Context*. Disponibile su: <https://arxiv.org/pdf/2007.05843>

Ricchiuti, G. (2024). *AI, robotica e mercato del lavoro*. Paramond Online. Disponibile su: https://26978026.fs1.hubspotusercontent-eu1.net/hubfs/26978026/Paramond%20Online/Articoli%20PDF/2024_11Novembre_Articolo%20Ricchiuti_Mercato%20lavoro%20e%20AI.pdf

Technequality project (2019-2021) *Technequality paper series*. Disponibile su: <https://technequality-project.eu/results/technequality-paper-series>

Treu, T. (2024) *Intelligenza Artificiale (IA): integrazione o sostituzione del lavoro umano?* Paper presentato il 23 ottobre 2024. Disponibile su: https://www.astrid-online.it/static/upload/treu/treu_paper_fed_23_10_24.pdf

UNESCO (2021) *UNESCO Science Report: Toward 2030*. Disponibile su: https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcd ef_0000235406&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_871d5667-bd86-4feb-a045-f802628d2f48%3F_%3D235406eng.pdf&locale=en&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000235406/PDF/235406eng.pdf#%5B%7B%22num%22%3A4800%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2Cnull%2Cnull%2C0%5D

Zorloni, L. (2017) *Altro che rubare il lavoro, in Giappone i robot lo salvano*, *Wired Italia*, 16 maggio. Disponibile su:
<https://www.wired.it/economia/lavoro/2017/05/16/robot-lavoro-giappone/>