

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI ECONOMIA "GIORGIO FUÀ"

Corso di Laurea triennale in Economia Aziendale

L'intelligenza artificiale come fattore produttivo: sostituzione o complementarità rispetto al capitale umano? Un'analisi microeconomica

---

Artificial intelligence as a productive factor: substitution or complementarity with human capital? A microeconomic analysis

Relatore:

Prof. Giulio Palomba

Rapporto Finale di:

Roberto Skendo

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

INTRODUZIONE 3
CAPITOLO 1 – IL PROGRESSO TECNOLOGICO E IL MERCATO DEL LAVORO 6
1.1 L'EVOLUZIONE DELLA TECNOLOGIA NEL PENSIERO ECONOMICO 7
1.2 L'IA NEL MERCATO DEL LAVORO 9
1.3 DISTRUZIONE CREATRICE O RIQUALIFICAZIONE? 11
CAPITOLO 2 – L'ANALISI MICROECONOMICA DELL'INTERAZIONE TRA IA E LAVORO 15
2.1 L'EFFETTO DI SOSTITUZIONE: L'IA COME INPUT E L'AUTOMAZIONE DELLE MANSIONI ..15
2.2 L'EFFETTO DI COMPLEMENTARITÀ: L'IA PER LA VALORIZZAZIONE DEL CAPITALE UMANO 21
2.3 GLI EFFETTI DELL'IA SULLA DOMANDA DI LAVORO 25
CONCLUSIONI 29
BIBLIOGRAFIA 31
RINGRAZIAMENTI 33

INTRODUZIONE

L'intelligenza artificiale (IA) costituisce l'innovazione tecnologica più rilevante della storia economica contemporanea. Nata formalmente nel 1956 durante la conferenza accademica di Dartmouth per opera dell'informatico John McCarthy, tale disciplina rappresenta una branca dell'informatica dedicata allo sviluppo di macchine capaci di simulare il ragionamento e le funzioni cognitive umane. L'obiettivo fondamentale consiste nel dotare i sistemi informatici della capacità di apprendere, riconoscere schemi logici e risolvere problemi in modo analogo a quanto fa un essere umano. Grazie alla disponibilità di ingenti moli di dati e a una capacità computazionale in costante crescita, gli algoritmi odierni, basati su paradigmi quali il *machine learning* e il *deep learning*, riescono a elaborare informazioni complesse e a prendere decisioni in parziale o totale autonomia. Questo salto qualitativo trasforma l'IA in una vera e propria *General Purpose Technology* (GPT), ovvero una tecnologia pervasiva, non limitata a un singolo comparto industriale, ma destinata a ridefinire profondamente i processi organizzativi e produttivi in tutti i settori dell'economia globale. L'evoluzione del progresso tecnologico genera storicamente un acceso dibattito all'interno del pensiero economico circa le ricadute sui livelli occupazionali e sulla distribuzione della ricchezza. Le innovazioni e le passate rivoluzioni industriali tendono a

sostituire prevalentemente il lavoro fisico e le mansioni puramente meccaniche. Come evidenziato già nella prima metà del ventesimo secolo con l'introduzione del concetto di disoccupazione tecnologica da parte di John Maynard Keynes, il timore che i nuovi macchinari possano rendere obsoleto il lavoro umano accompagna costantemente i cicli economici. L'intelligenza artificiale, tuttavia, segna una netta discontinuità rispetto al paradigma della fabbrica tradizionale. Essa dimostra una capacità senza precedenti di eseguire compiti analitici, decisionali e, in contesti specifici, creativi. Tale evoluzione supera il tradizionale confine tra lavoro manuale e intellettuale, spostando la frontiera dell'automazione verso le professioni impiegatizie e i servizi ad alto valore aggiunto. All'interno della teoria della produzione, l'intelligenza artificiale non rappresenta un semplice aggiornamento dei macchinari esistenti, ma si configura come un input produttivo indipendente e trasformativo. Le imprese, nel perseguire la minimizzazione dei costi e la massimizzazione del profitto, si trovano a dover riconsiderare le proprie funzioni di produzione. L'IA si inserisce in questo meccanismo come un capitale tecnologico avanzato, capace di competere direttamente con il capitale umano in ambiti fino a pochi anni fa considerati appannaggio esclusivo della mente umana. Dal punto di vista economico, la scelta aziendale si traduce nel: valutare il saggio marginale di sostituzione tecnica tra l'algoritmo e il lavoratore, riallocando le risorse in base ai costi relativi dei due fattori. Per comprendere appieno tale dinamica, occorre scomporre le professioni nelle singole mansioni che le costituiscono. L'impatto di

questa tecnologia sul lavoratore non si manifesta in modo univoco sull'intera occupazione, ma si sviluppa lungo due direttrici economiche contrapposte a livello di singola mansione. Emerge in primo luogo un effetto di sostituzione: i sistemi automatizzati, divenendo progressivamente più efficienti ed economicamente convenienti, spiazzano i lavoratori nell'esecuzione di compiti routinari e basati sull'elaborazione standardizzata di dati. Parallelamente, si osserva un profondo potenziale di complementarità. L'adozione dell'IA, se integrata efficacemente nei processi d'impresa, agisce come uno strumento di potenziamento (*augmentation*) delle capacità umane. Affidando alla macchina i compiti ripetitivi, il lavoratore sperimenta un incremento della propria produttività marginale. L'individuo ha così l'opportunità di concentrarsi su attività che richiedono empatia, intuizione strategica e capacità critiche, trasformando il rischio dell'automazione in una reale valorizzazione del capitale umano. All'interno del dibattito accademico contemporaneo, le prospettive occupazionali si dividono nettamente. Da un lato emergono visioni caute, le quali prevedono una forte polarizzazione del mercato: una progressiva scomparsa delle professioni intermedie a favore, quasi esclusivamente, di figure estremamente qualificate o, al contrario, di lavori manuali non automatizzabili. Dall'altro lato, si consolidano teorie vicine al concetto di distruzione creatrice, secondo cui l'innovazione elimina lavori obsoleti ma genera inevitabilmente nuove categorie professionali, riequilibrando il sistema nel lungo periodo e richiedendo un massiccio sforzo di riqualificazione. L'obiettivo di questo

lavoro consiste nell'analizzare questa duplice natura dell'IA, applicando rigorosamente gli strumenti analitici della microeconomia per comprendere a quali condizioni il lavoratore subisce l'innovazione e a quali, invece, ne diventa il principale beneficiario. Questo lavoro si articola lungo un percorso logico diviso in due capitoli fondamentali. Nel primo, la trattazione inquadra il fenomeno da una prospettiva storica e teorica, esaminando l'evoluzione del pensiero economico rispetto al progresso tecnologico e sintetizzando il dibattito contemporaneo sulle prospettive occupazionali. Nel secondo capitolo, l'analisi assume invece una prospettiva microeconomica, approfondendo l'interazione tra intelligenza artificiale e capitale umano. In particolare, vengono analizzati l'effetto di sostituzione dell'IA rispetto al lavoro, il suo possibile ruolo complementare nella valorizzazione del capitale umano e, infine, gli effetti della diffusione dell'intelligenza artificiale sulla domanda di lavoro.

CAPITOLO 1

IL PROGRESSO TECNOLOGICO E IL MERCATO DEL LAVORO

1.1 L'EVOLUZIONE DELLA TECNOLOGIA NEL PENSIERO ECONOMICO

Il rapporto tra l'innovazione tecnologica e le dinamiche occupazionali costituisce un tema centrale nella storia del pensiero economico. L'introduzione di nuovi macchinari genera costantemente il timore di una potenziale sostituzione del lavoro umano, innescando ciclicamente un acceso dibattito accademico e sociale. Per comprendere in pieno la portata delle innovazioni odierne, risulta indispensabile esaminare come la teoria economica affronti storicamente il problema del cambiamento tecnologico e le sue ricadute sull'occupazione. Durante il XIX secolo, la prima rivoluzione industriale segna il passaggio da un'economia prevalentemente agricola a un sistema basato sulla produzione meccanizzata in serie. All'interno della scuola classica, l'introduzione delle macchine viene percepita da diversi pensatori come una minaccia diretta agli interessi della classe lavoratrice, portando ad analizzare la meccanizzazione come uno strumento atto a incrementare il profitto a discapito dell'impiego operaio. A livello sociale, questo profondo disagio si concretizza nel movimento luddista. I lavoratori tessili reagiscono con la distruzione fisica dei telai, esprimendo il timore derivante dal rapido spiazzamento delle mansioni manuali. Tuttavia, l'analisi economica successiva elabora la teoria della compensazione, dimostrando come il progresso inneschi un circolo virtuoso nel lungo periodo. L'aumento della produttività marginale del capitale riduce i costi

medi di produzione e i prezzi dei beni, stimolando un incremento della domanda aggregata che favorisce la nascita di nuove industrie e la creazione di posti di lavoro. La riflessione teorica matura ulteriormente negli anni 30 del XX secolo, periodo in cui John Maynard Keynes conia l'espressione "disoccupazione tecnologica". L'economista britannico definisce tale fenomeno come la perdita di occupazione dovuta alla scoperta di strumenti capaci di risparmiare manodopera a un ritmo superiore rispetto alla capacità del sistema economico di trovare nuovi impieghi. Keynes interpreta questa dinamica come una fase temporanea di disadattamento, del tutto fisiologica e necessaria per l'evoluzione economica verso standard di vita superiori. Tale schema di allarme iniziale e successivo riadattamento si ripresenta puntualmente nella seconda metà del Novecento con l'avvento delle tecnologie dell'informazione (ICT). Negli anni 90, la letteratura economica si concentra sullo *Skill-Biased Technological Change*, ovvero il progresso tecnologico che favorisce sistematicamente il lavoro qualificato e sostituisce le mansioni routinarie. La storia economica evidenzia dunque una traiettoria ricorrente: ogni innovazione radicale provoca una distruzione iniziale di mansioni, seguita invariabilmente da una riorganizzazione sistemica in grado di riassorbire la manodopera.

1.2 L'IA NEL MERCATO DEL LAVORO

Il passaggio storico dall'automazione tradizionale all'intelligenza artificiale non si risolve in un mero incremento della potenza computazionale, ma rappresenta un profondo mutamento di paradigma all'interno della teoria economica. La letteratura accademica classifica l'intelligenza artificiale come una *General Purpose Technology* (GPT), ponendola sullo stesso piano teorico di innovazioni dirompenti quali la macchina a vapore o l'elettrificazione. Tali tecnologie di impiego generale presentano tre caratteristiche fondamentali: una forte presenza in molteplici settori economici, ampi margini per crescere nel tempo e la capacità di generare una vasta gamma di innovazioni complementari. Gli algoritmi odierni rispettano pienamente questi tre criteri, penetrando e ridisegnando le catene del valore in comparti che spaziano dall'industria manifatturiera ai servizi finanziari avanzati. La differenza cruciale tra le innovazioni del passato e i sistemi contemporanei risiede nella natura delle mansioni da automatizzare. L'automazione tradizionale, inclusa la robotica industriale del Novecento, interviene quasi esclusivamente sulla sostituzione del lavoro fisico e delle attività manuali ripetitive, per le quali risulta possibile codificare a priori regole di esecuzione chiare e precise. Di conseguenza, il processo di meccanizzazione colpisce storicamente la manodopera a bassa specializzazione produttiva, lasciando inalterato o valorizzando il lavoro intellettuale e

organizzativo. L’intelligenza artificiale, spinta dai recenti sviluppi nel campo del *machine learning* e dei modelli generativi, infrange questo confine storico. I sistemi odierni dimostrano la capacità di apprendere da vasti insiemi di dati, di riconoscere schemi non strutturati e di eseguire compiti di natura prettamente cognitiva, analitica e decisionale. La macchina non si limita più a eseguire comandi preimpostati rigidamente, ma elabora soluzioni in scenari complessi e variabili. Tale salto qualitativo sposta drammaticamente la frontiera dell'automazione, indirizzandola verso le professioni impiegatizie e i servizi ad alto valore aggiunto. Di conseguenza, figure professionali comunemente identificate con il termine *white-collar* affrontano per la prima volta la concorrenza diretta del capitale tecnologico. Le cause di questa transizione risiedono nelle dinamiche microeconomiche che guidano razionalmente le scelte d'impresa. L'imprenditore, operando in mercati concorrenziali e affrontando condizioni di rischio e incertezza, valuta l'introduzione dell'algoritmo non come un semplice ammodernamento, ma come una strategia per trasformare radicalmente la propria struttura dei costi. L'intelligenza artificiale permette di convertire il costo variabile legato all'elaborazione umana delle informazioni in un costo fisso iniziale per l'infrastruttura tecnologica, abbattendo drasticamente i costi marginali di produzione nel lungo periodo. Questo mutamento strutturale genera un preciso effetto a catena. Adottando l'IA per ridurre i costi, l'impresa pioniera acquisisce un vantaggio competitivo immediato, costringendo razionalmente le aziende rivali a

implementare la medesima tecnologia per non perdere quote di mercato. L'effetto finale sul lavoratore assume quindi due forme: la sostituzione, quando la macchina svolge autonomamente le mansioni standardizzate, oppure la complementarità, quando l'algoritmo affianca l'uomo potenziandone la produttività nelle decisioni complesse. Questa espansione dell'automazione verso la sfera cognitiva rende il fenomeno unico, gettando le basi logiche per la necessaria indagine analitica sulle scelte allocative che si svilupperà nei capitoli successivi.

1.3 DISTRUZIONE CREATRICE O RIQUALIFICAZIONE?

Nel dibattito contemporaneo, l'impatto dell'intelligenza artificiale sull'occupazione è un tema molto discusso. Gli studiosi si dividono in diverse correnti di pensiero, cercando di capire se il sistema produttivo sarà in grado di creare nuove mansioni per compensare la progressiva sostituzione del lavoro umano. L'interrogativo principale non è solo capire se le macchine elimineranno posti di lavoro, ma soprattutto in quali tempi e a quali condizioni il mercato riuscirà a riassorbire questo forte shock tecnologico. Da un lato, c'è una visione più cauta, supportata da vari studi sull'evoluzione del mercato del lavoro (si vedano, in particolare, i contributi

di Autor, Levy e Murnane, 2003; Autor e Dorn, 2013; Acemoglu e Restrepo, 2018). Secondo questa prospettiva, gli algoritmi non minacciano solo il lavoro poco qualificato, ma colpiscono sempre di più le mansioni intermedie, tipiche del lavoro impiegatizio e amministrativo. Diverse ricerche evidenziano come l'automazione agisca in modo irregolare, penalizzando soprattutto le attività ripetitive e standardizzabili, a prescindere dal fatto che richiedano uno sforzo fisico o mentale. Il risultato di questo processo è una profonda spaccatura del mercato del lavoro, un fenomeno spesso definito come polarizzazione occupazionale. In questo scenario, la società tende a dividersi in due estremi. In cima si consolida un gruppo ristretto di professionisti molto specializzati, che possiedono le competenze per progettare e gestire le nuove tecnologie. Alla base, invece, si allarga la fascia delle occupazioni legate ai servizi alla persona, alla cura e alla logistica; si tratta di lavori difficili da automatizzare perché poco strutturati, ma che storicamente offrono basse retribuzioni e minori tutele. Nel mezzo, le professioni di fascia media subiscono una forte contrazione. Lo svuotamento della classe impiegatizia rischia di aumentare le disuguaglianze di reddito e di ridurre il potere contrattuale di molti lavoratori, costretti a competere con tecnologie sempre più economiche ed efficienti. Dall’altro lato, si fa strada una prospettiva più ottimistica, che si basa sul concetto di "distruzione creatrice" formulato dall'economista Joseph Schumpeter (1942). Questo approccio vede il capitalismo come un processo in continua evoluzione: ogni grande innovazione distrugge i vecchi equilibri e rende obsolete

alcune professioni, ma allo stesso tempo crea settori industriali nuovi e bisogni che prima non esistevano. Così come l'arrivo dell'automobile ha fatto scomparire le carrozze, ma ha creato milioni di posti di lavoro nella meccanica e nelle infrastrutture, allo stesso modo l'intelligenza artificiale potrebbe dare vita a un nuovo ecosistema economico. Gli studi più recenti arricchiscono questa visione, spiegando che l'innovazione innesca anche un forte effetto di reintegrazione. L'intelligenza artificiale fa nascere nuove professioni in cui l'uomo mantiene un netto vantaggio rispetto alla macchina. Emergono quindi nuovi bisogni che richiedono un'interazione continua tra persona e algoritmo: servono addetti per addestrare i modelli linguistici, esperti di etica, analisti dei dati e professionisti capaci di dare le giuste istruzioni ai software. In quest'ottica, la tecnologia non elimina il lavoro, ma lo trasforma, liberando l'uomo dai compiti ripetitivi per spostarlo verso attività di controllo, creatività e strategia. Tuttavia, per capire davvero cosa succederà bisogna guardare alla fase di transizione. Il passaggio dalla distruzione dei vecchi lavori alla nascita dei nuovi non è immediato. Il mercato del lavoro reale non è perfetto, ma presenta molti ostacoli. I lavoratori che perdono il posto per via dell'automazione affrontano diverse difficoltà: spesso non sanno quali nuove competenze siano richieste, devono sostenere costi alti per cercare un nuovo impiego e sono frenati da limiti geografici o di età. Il vero rischio per l'economia di oggi, quindi, non è la tecnologia in sé, ma il gap temporale tra le competenze richieste dalle aziende digitalizzate e quelle effettivamente possedute dai lavoratori.

Per far sì che i lati positivi della distruzione creatrice superino i danni della sostituzione tecnologica, gli esperti indicano una soluzione fondamentale: investire massicciamente nella riqualificazione professionale. Il lavoratore deve essere messo nelle condizioni di aggiornare le proprie competenze, adattandosi a un ambiente in cui collaborare con le macchine diventa la normalità. Il mercato del futuro chiederà persone capaci di capire che l'algoritmo non è un nemico da cui difendersi, ma uno strumento di supporto. Insegnare a padroneggiare queste tecnologie permette di trasformare un rischio in un aumento della propria produttività. In quest'ottica, il lavoratore agisce come un tipico agente razionale. Di fronte al cambiamento tecnologico, deve valutare il proprio costo opportunità: capire se gli conviene investire tempo e denaro oggi per formarsi, rinunciando magari a un guadagno immediato. Riqualificarsi significa accrescere il proprio capitale umano per mantenere alta la propria produttività marginale e non perdere potere contrattuale con le aziende.

CAPITOLO 2

L'ANALISI MICROECONOMICA DELL'INTERAZIONE TRA IA E LAVORO

2.1 L'EFFETTO DI SOSTITUZIONE: L'IA COME INPUT E L'AUTOMAZIONE DELLE MANSIONI

Per comprendere l'impatto dell'Intelligenza Artificiale sul mercato del lavoro, è utile partire da un concetto base della microeconomia: la minimizzazione dei costi dell'impresa. In quest'ottica, l'IA non va vista solo come un software di aiuto, ma come un vero e proprio fattore produttivo, un capitale tecnologico (K_{IA}). Questo nuovo elemento entra nei processi aziendali mettendosi in diretta competizione con il capitale umano, ovvero il lavoro tradizionale (L). Il motivo che spinge l'impresa a cambiare è legato alla convenienza economica. Quando la tecnologia diventa sempre meno costosa rispetto ai salari pagati ai dipendenti, l'azienda decide di riorganizzare le proprie risorse. Comportandosi in modo razionale, l'impresa inizia a sostituire il lavoro umano con gli algoritmi per ridurre le spese e aumentare l'efficienza, innescando così il cosiddetto effetto di sostituzione.

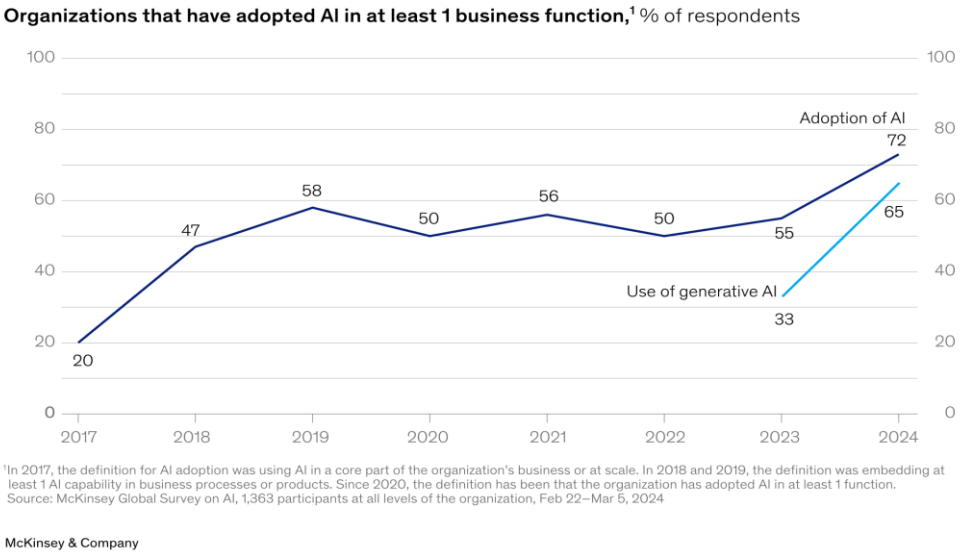


Figura 1: Adozione dell'intelligenza artificiale nelle organizzazioni, 2017-2024. Fonte: McKinsey & Company, The state of AI in early 2024: Gen AI adoption spikes and starts to generate value, 2024, Exhibit 1.

L'analisi empirica di questa dinamica aziendale è misurabile osservando la rapidità con cui le imprese stanno integrando la nuova tecnologia. Il grafico sovrastante (Figura 1) descrive questa evoluzione attraverso due curve fondamentali, fornendo una chiara fotografia dei trend aziendali. La prima curva (in blu scuro) traccia l'adozione generale dell'Intelligenza Artificiale in almeno una funzione dell'impresa. Si osserva un andamento molto chiaro: partendo da un iniziale 20% nel 2017, la percentuale attraversa una fase di stabilità tra il 50% e il 55% negli anni centrali, per poi subire una forte accelerazione nel 2024, toccando un picco del 72%. Il motivo di questa spinta improvvisa si comprende analizzando la seconda curva (in azzurro), che misura l'utilizzo specifico dell'IA Generativa. Questa nuova

tecnologia ha registrato una crescita dirompente, balzando dal 33% del 2023 fino al 65% in un solo anno. I dati mostrano, in sostanza, che l'introduzione di modelli generativi sempre più accessibili ha funzionato da vero e proprio propulsore per la riorganizzazione aziendale. Dal punto di vista microeconomico, questa adozione massiccia rappresenta una precisa scelta razionale. Il rapido sviluppo dell'IA generativa ha abbattuto drasticamente i costi per le aziende, aumentandone al contempo le capacità applicative. Di fronte a una simile convenienza, le imprese hanno reagito riorganizzando le proprie risorse: per restare competitive e ridurre le spese, diventa molto più vantaggioso affidare una quota crescente dei processi produttivi agli algoritmi (K_{IA}) piuttosto che al lavoro umano (L). Il fatto che, secondo la McKinsey Global Survey on AI (2024), il 65% degli intervistati dichiari che la propria organizzazione utilizza regolarmente l'IA generativa in almeno una funzione aziendale mostra quanto rapidamente questa tecnologia si sia diffusa nei processi aziendali. Le imprese sfruttano l'automazione per ottimizzare i costi operativi e aumentare la produttività. La crescente diffusione dell'intelligenza artificiale all'interno dei processi aziendali non produce, tuttavia, effetti omogenei su tutte le tipologie di lavoro. Se da un lato i dati precedenti mostrano come le imprese stiano ricorrendo sempre più frequentemente a strumenti di IA per riorganizzare le proprie attività produttive, dall'altro diventa necessario comprendere quali mansioni risultino maggiormente esposte a questo processo di sostituzione. L'effetto sul capitale umano dipende infatti dalle caratteristiche delle

attività svolte: quanto più una mansione è standardizzabile, ripetitiva e basata sull'elaborazione di informazioni, tanto maggiore risulta la possibilità che essa venga affidata all'IA. In questa prospettiva, l'analisi può essere approfondita osservando come il potenziale di automazione si può distribuire tra le diverse categorie lavorative.

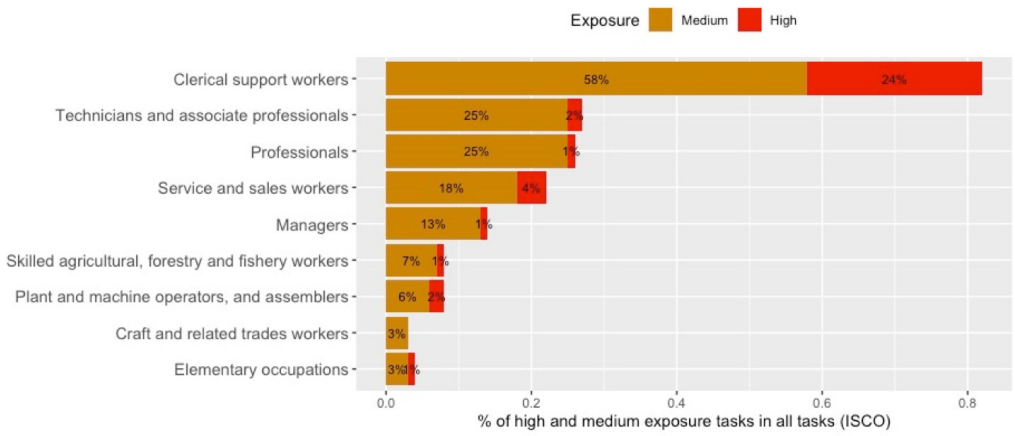


Figura 2: Esposizione delle mansioni all'automazione tramite IA generativa per categoria professionale. Fonte: International Labour Organization (ILO), Generative AI and Jobs: A Global Analysis of Potential Effects on Job Quantity and Quality, 2023.

La Figura 2 evidenzia come il potenziale di automazione legato all'intelligenza artificiale generativa sia distribuito in modo molto diverso tra le varie categorie professionali. Il caso più evidente è quello dei clerical support workers, cioè gli impiegati amministrativi e di supporto, per i quali il 24% delle mansioni presenta un'elevata esposizione all'IA generativa e un ulteriore 58% rientra in una fascia di

esposizione media. Si tratta di un valore nettamente superiore rispetto agli altri gruppi professionali e mostra come il lavoro d'ufficio rappresenti oggi uno degli ambiti maggiormente interessati dal potenziale effetto di sostituzione. Il confronto con le altre categorie rende questo risultato ancora più significativo. Tra i professionisti e i tecnici, ad esempio, la quota di mansioni con esposizione media si colloca intorno al 25%, mentre quella ad alta esposizione rimane molto più contenuta, nell'ordine dell'1-2%. Anche nei servizi e nelle vendite il livello di esposizione risulta inferiore rispetto al lavoro amministrativo. Questo suggerisce che il rischio di sostituzione non dipenda soltanto dal livello di qualifica del lavoratore, ma soprattutto dalla natura concreta delle attività svolte. Il dato è interessante anche perché modifica in parte l'immagine tradizionale dell'automazione. In passato, infatti, il progresso tecnologico veniva associato soprattutto alla sostituzione del lavoro manuale e ripetitivo, mentre adesso l'IA generativa estende invece questa dinamica alle attività cognitive, intervenendo su compiti come la gestione di documenti, l'elaborazione di informazioni, la produzione di testi e alcune funzioni di supporto amministrativo. Ciò significa che anche professioni non considerate tradizionalmente "automatizzabili" possono oggi essere interessate da una crescente sostituibilità. Dal punto di vista microeconomico, questo processo incide direttamente sulla domanda dei fattori produttivi. Se l'IA riesce a svolgere una parte delle attività precedentemente affidate al lavoratore con tempi inferiori o costi più contenuti, la produttività del

capitale tecnologico aumenta rispetto a quella del capitale umano. L'impresa può quindi ridurre la quantità di lavoro necessaria per produrre lo stesso livello di output, modificando la combinazione ottimale degli input. L'effetto sostituzione non richiede, quindi, che un'intera figura professionale venga eliminata: può manifestarsi anche attraverso una riduzione della domanda di determinate competenze, una minore necessità di ore lavorate o una diversa distribuzione dei compiti all'interno dell'organizzazione. Nel complesso, i dati mostrano come l'effetto sostitutivo dell'intelligenza artificiale non sia un fenomeno uniforme, ma dipenda fortemente dalla struttura delle singole mansioni. Le attività più esposte sono soprattutto quelle in cui il contributo umano può essere codificato, standardizzato e riprodotto attraverso procedure automatiche. Questo rende il confine tra lavoro umano e capitale tecnologico sempre più mobile: con il progresso dell'IA, mansioni che fino a pochi anni fa richiedevano necessariamente l'intervento di un lavoratore possono entrare progressivamente nella sfera dell'automazione. Il punto centrale non è quindi soltanto capire se l'IA sostituirà il lavoro, ma individuare quali componenti del capitale umano continueranno a mantenere un vantaggio rispetto alla tecnologia e quali, invece, diventeranno progressivamente sostituibili.

2.2 L'EFFETTO DI COMPLEMENTARITÀ: L'IA PER LA VALORIZZAZIONE DEL CAPITALE UMANO

L’effetto dell’intelligenza artificiale sul capitale umano non si esaurisce nella possibilità di sostituire alcune mansioni. In numerosi contesti produttivi la tecnologia può infatti essere utilizzata come strumento complementare al lavoratore, aumentando la quantità di output ottenibile a parità di tempo impiegato. Un caso particolarmente significativo è analizzato da Brynjolfsson, Li e Raymond (2023), che studiano l’introduzione graduale di un assistente basato sull’intelligenza artificiale generativa all’interno di un’impresa attiva nei servizi di assistenza alla clientela. L’analisi riguarda 5.179 lavoratori e misura la produttività attraverso il numero di problemi risolti in un’ora di lavoro. L’assistente non svolge autonomamente l’intera mansione, ma fornisce in tempo reale suggerimenti che il lavoratore può utilizzare, modificare oppure ignorare. Si tratta, quindi, di un caso nel quale capitale umano e capitale tecnologico vengono utilizzati congiuntamente nel processo produttivo.

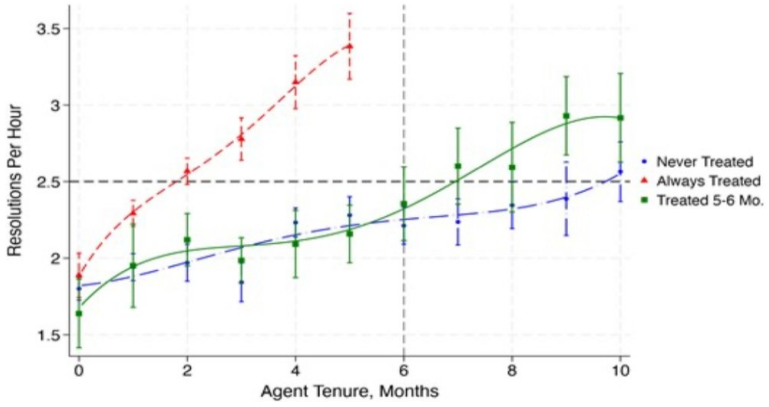


Figura 3: Curva di esperienza e produttività dei lavoratori in base all'accesso all'intelligenza artificiale. Fonte: Brynjolfsson, Li e Raymond (2023), Generative AI at Work, NBER Working Paper n. 31161.

La Figura 3 mette in relazione la produttività con i mesi di esperienza del lavoratore. Sull'asse orizzontale sono riportati i mesi di permanenza nell'impresa, mentre sull'asse verticale viene indicato il numero di problemi risolti per ora. Le tre curve distinguono i lavoratori in base al momento in cui ricevono accesso all'assistente di intelligenza artificiale. La linea blu, denominata Never Treated, rappresenta coloro che non utilizzano mai l'IA; la linea rossa, Always Treated, identifica i lavoratori che possono utilizzarla fin dal primo mese di attività; la linea verde, Treated 5–6 Mo., riguarda infine coloro che inizialmente operano senza l'assistente e ottengono l'accesso alla tecnologia soltanto dopo alcuni mesi. Le barre verticali associate ai diversi punti mostrano quanto possono variare le stime della produttività: quando sono più contenute il valore stimato risulta più preciso, mentre una maggiore ampiezza indica una maggiore incertezza. Un primo elemento che

emerge dal grafico riguarda l'effetto dell'esperienza. Anche in assenza dell'intelligenza artificiale, il numero di problemi risolti per ora aumenta progressivamente con il trascorrere dei mesi: il valore iniziale è prossimo a 1,8 e tende ad avvicinarsi a circa 2,5 dopo otto-dieci mesi. Tale andamento rappresenta una normale curva di apprendimento, nella quale la permanenza nell'impresa permette al lavoratore di acquisire maggiore familiarità con le richieste dei clienti e di migliorare la propria capacità di risoluzione dei problemi. La situazione cambia sensibilmente per i lavoratori che dispongono dell'assistente fin dall'inizio. Pur partendo da livelli non molto distanti da quelli del gruppo precedente, la crescita risulta nettamente più rapida. Un livello prossimo a 2,5 problemi risolti per ora viene raggiunto già intorno al secondo mese e, nei mesi successivi, il numero di risoluzioni continua ad aumentare fino a superare quota 3. Il confronto mostra pertanto che l'utilizzo dell'IA è associato non soltanto a livelli più elevati di output, ma soprattutto a un minor tempo necessario per raggiungere determinati livelli di produttività. Questo aspetto è particolarmente rilevante perché modifica la tradizionale curva di apprendimento del lavoratore. L'esperienza continua a rappresentare una componente importante del capitale umano, ma la presenza dell'assistente tecnologico sembra accelerare il processo attraverso cui tale esperienza viene trasformata in capacità produttiva. Un lavoratore affiancato dall'IA riesce, in un periodo relativamente breve, a raggiungere livelli che in assenza della tecnologia richiedono diversi mesi aggiuntivi di attività. Un'ulteriore

conferma emerge dal gruppo che riceve l'accesso all'IA soltanto dopo alcuni mesi. Nella fase iniziale la sua produttività segue una traiettoria relativamente vicina a quella osservata tra i lavoratori privi dell'IA. Successivamente all'introduzione della tecnologia, l'andamento cambia e la crescita diventa più rapida, avvicinandosi progressivamente ai valori raggiunti da coloro che utilizzano l'IA fin dall'inizio. Questo passaggio costituisce uno degli elementi più interessanti della Figura 3, poiché consente di osservare un cambiamento nella traiettoria produttiva successivo all'introduzione del nuovo fattore tecnologico. Il grafico evidenzia inoltre che esperienza e intelligenza artificiale non devono essere considerate necessariamente alternative. L'accumulazione di esperienza produce un miglioramento anche quando il lavoratore opera senza supporto tecnologico, ma l'introduzione dell'IA permette di percorrere più rapidamente la stessa curva di apprendimento. Il capitale umano conserva, pertanto, un proprio valore produttivo, mentre la tecnologia ne rafforza l'impiego consentendo di raggiungere prima livelli più elevati di output. Un'ulteriore implicazione riguarda il tempo necessario affinché un lavoratore raggiunga livelli elevati di produttività. L'andamento delle curve suggerisce che l'accesso all'intelligenza artificiale possa abbreviare questo percorso, rendendo più rapido l'adattamento alle mansioni svolte. Per l'impresa, ciò può tradursi in una riduzione dei tempi necessari per rendere pienamente produttivi i lavoratori con minore esperienza. Un ulteriore aspetto riguarda l'efficienza nell'impiego del capitale umano. I dati mostrano che se nello stesso intervallo di un'ora il lavoratore

riesce a risolvere un numero maggiore di problemi, ciò significa che, in media, ciascuna richiesta richiede una quantità minore di tempo di lavoro. Dal punto di vista dell'impresa, la complementarità con l'IA può quindi consentire di utilizzare più efficientemente le ore di lavoro disponibili, aumentando l'output ottenuto a parità di input di capitale umano. Il vantaggio economico non deriva necessariamente da una riduzione del costo orario del lavoratore, ma dal fatto che lo stesso costo può essere distribuito su un numero maggiore di problemi risolti. Se il costo orario rimane invariato, ciò può anche contribuire a ridurre il costo medio del lavoro per ogni singolo problema. Questa interpretazione rafforza il ruolo dell'IA come strumento complementare al capitale umano, senza però permettere una valutazione completa dei costi, poiché nell'analisi non sono considerate le spese necessarie per adottare e utilizzare l'IA.

2.3 GLI EFFETTI DELL'IA SULLA DOMANDA DI LAVORO

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei processi produttivi può modificare anche le decisioni delle imprese relative all'impiego del capitale umano. In particolare, lo sviluppo di tecnologie capaci di svolgere un numero crescente di attività può cambiare la quantità e la tipologia di lavoratori richiesti dalle aziende. La domanda di lavoro non risponde quindi in modo uniforme alla diffusione

dell'IA: alcune professioni possono registrare una minore richiesta, mentre altre possono acquisire maggiore importanza all'interno dei processi produttivi. Questa diversa richiesta di lavoratori modifica direttamente la domanda di lavoro delle imprese.

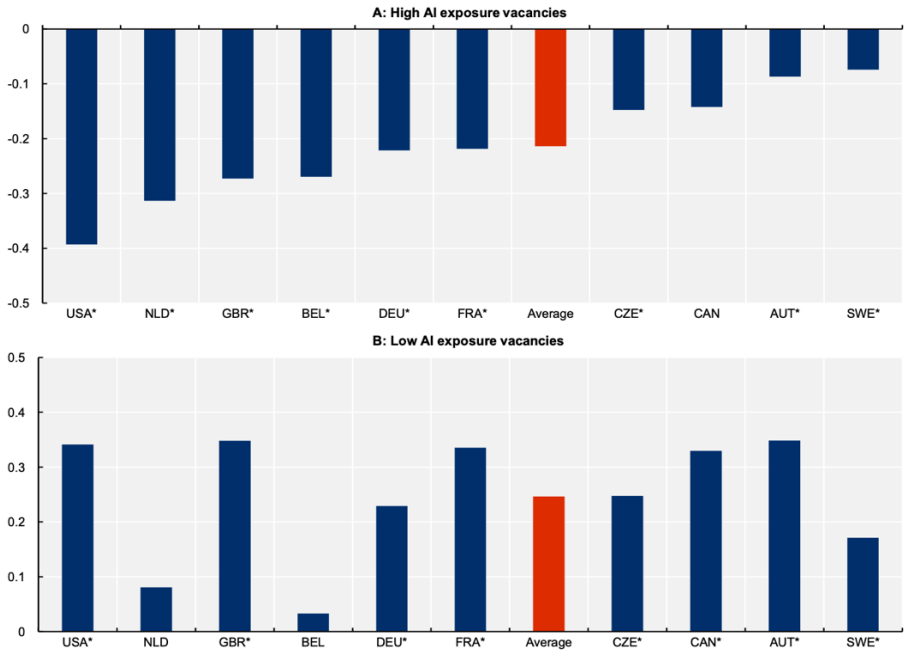


Figura 4: Effetto dell'esposizione all'intelligenza artificiale sulla domanda di lavoro nelle occupazioni ad alta e bassa esposizione. Fonte: OECD (2024), Artificial Intelligence and the Changing Demand for Skills in the Labour Market, Figure A A.1.

Un'analisi di questo fenomeno è proposta dall'OECD (2024), che utilizza gli annunci pubblicati dalle imprese come indicatore della domanda di capitale umano. La Figura 4 prende in considerazione dieci Paesi e distingue le professioni in base al loro grado di esposizione all'intelligenza artificiale. Un'elevata esposizione indica che una parte maggiore delle attività svolte all'interno di una professione può

essere interessata dalle capacità dell'IA; ciò non significa, tuttavia, che l'intera professione possa essere automaticamente sostituita dalla tecnologia. Il grafico è suddiviso in due pannelli. Il Panel A riguarda le occupazioni ad alta esposizione all'IA, mentre il Panel B considera quelle caratterizzate da una bassa esposizione. Tra le professioni maggiormente esposte rientrano, ad esempio, consulenti genetici, esaminatori finanziari, attuari, addetti agli acquisti e analisti di bilancio; tra quelle meno esposte figurano invece ballerini, istruttori di fitness e alcune professioni caratterizzate soprattutto da attività fisiche e manuali. Ogni barra rappresenta uno dei Paesi analizzati ed è presente anche un valore medio riferito all'intero campione. Lo zero costituisce il punto di riferimento: i valori negativi indicano una riduzione della domanda di lavoro, mentre quelli positivi ne indicano un aumento. Gli asterischi presenti accanto ad alcuni Paesi indicano coefficienti statisticamente significativi al livello del 95%. Nel Panel A emerge una relazione negativa per le professioni maggiormente esposte all'intelligenza artificiale. In media, la domanda di lavoro diminuisce di circa il 20%, anche se l'intensità della variazione cambia tra i Paesi considerati. Il dato suggerisce che, quando una professione può essere maggiormente interessate dall'IA, le imprese tendono a richiedere relativamente meno lavoratori appartenenti a quella categoria. Ciò non implica la scomparsa di tali professioni, ma una possibile riduzione della richiesta di lavoratori appartenenti a queste categorie professionali. Il Panel B presenta invece un andamento opposto. Per le occupazioni meno esposte alla tecnologia, la variazione della domanda è

positiva in tutti i Paesi analizzati e il valore medio si colloca intorno al 25%. Il dato evidenzia come, per queste categorie professionali, la domanda di lavoro tenda ad aumentare. Il confronto tra i due pannelli mostra quindi che l'effetto dell'intelligenza artificiale sulla domanda di lavoro non è uniforme. La tecnologia può ridurre la richiesta relativa di alcune professionalità e, nello stesso tempo, aumentare quella di altre. Dal punto di vista microeconomico, questo risultato mostra come l'intelligenza artificiale possa modificare la composizione della domanda di lavoro delle imprese. La quantità di lavoro domandata non varia infatti nello stesso modo per tutte le professioni: alcune categorie risultano meno richieste, mentre per altre la domanda aumenta. Il risultato più rilevante non consiste quindi necessariamente in una diminuzione generale della domanda di lavoro, ma in un cambiamento della sua composizione. L'introduzione dell'IA può spostare la richiesta delle imprese da alcune categorie professionali verso altre, modificando il valore relativo delle diverse competenze all'interno del processo produttivo. Un altro aspetto interessante riguarda le differenze tra i Paesi analizzati. Il grafico mostra infatti che l'effetto dell'IA sulla domanda di lavoro non ha la stessa intensità in tutti i contesti. Nelle professioni più esposte all'IA la domanda tende a diminuire, ma la riduzione è più forte in alcuni Paesi e più contenuta in altri. Allo stesso tempo, nelle professioni meno esposte la domanda aumenta, anche se con variazioni diverse da un Paese all'altro. Questo fa capire che l'impatto dell'IA non dipende soltanto dal livello di esposizione delle singole occupazioni, ma anche dalle

caratteristiche del sistema economico e produttivo di ciascun Paese. Possono incidere, ad esempio, la diffusione delle tecnologie digitali, la struttura dei settori produttivi e le competenze disponibili tra i lavoratori. Il grafico non permette di individuare con precisione le cause di queste differenze, ma mostra comunque che gli effetti dell'IA sulla domanda di lavoro non sono uguali ovunque. Il contesto economico in cui la tecnologia viene introdotta può quindi influenzare sia la riduzione della domanda nelle professioni più esposte sia l'aumento della domanda in quelle meno esposte.

CONCLUSIONI

Nel presente elaborato si è analizzato il rapporto tra intelligenza artificiale e capitale umano, cercando di comprendere se l'IA debba essere considerata soprattutto come un fattore di sostituzione del lavoro oppure come uno strumento capace di valorizzarlo. Dall'analisi emerge che non esiste una risposta unica: i due effetti possono infatti convivere e dipendono soprattutto dal tipo di mansione svolta e dal modo in cui la tecnologia viene inserita nei processi produttivi. Da un lato, l'IA può sostituire il lavoratore nelle attività più ripetitive, standardizzabili e basate sull'elaborazione delle informazioni. Questo non significa necessariamente la

scomparsa completa di una professione, poiché l'automazione può riguardare soltanto alcune delle attività che la compongono. In questi casi, l'impresa può modificare la combinazione tra capitale umano e capitale tecnologico, riducendo la quantità di lavoro necessaria per svolgere determinate mansioni. Dall'altro lato, l'analisi ha mostrato anche un importante effetto di complementarità. Quando l'intelligenza artificiale viene utilizzata come supporto, può aumentare la produttività del lavoratore e ridurre il tempo necessario per raggiungere determinati livelli di efficienza. Anche l'analisi della domanda di lavoro conferma che gli effetti dell'IA non sono uguali per tutte le professioni. Le occupazioni maggiormente esposte tendono a registrare una minore domanda, mentre quelle meno esposte mostrano un andamento differente. Il cambiamento riguarda quindi non soltanto la quantità di lavoro richiesta, ma anche la sua composizione e il valore attribuito alle diverse competenze. Inoltre, le differenze osservate tra i Paesi mostrano come l'impatto dell'IA possa variare anche in base al contesto economico e produttivo nel quale viene introdotta. Un altro elemento importante riguarda proprio l'evoluzione delle competenze. La diffusione dell'IA può ridurre il valore di alcune attività facilmente automatizzabili e, allo stesso tempo, rendere più importanti le capacità che permettono al lavoratore di utilizzare la tecnologia, interpretarne i risultati e svolgere compiti nei quali esperienza, giudizio e adattamento continuano ad avere un ruolo centrale. In questo senso, la riqualificazione del capitale umano assume una funzione sempre più importante, perché può aiutare il lavoratore a

adattarsi al cambiamento tecnologico e a sfruttarne maggiormente gli effetti complementari. In conclusione, l'intelligenza artificiale non può essere considerata soltanto come una minaccia per il capitale umano, né esclusivamente come uno strumento di supporto. Il suo impatto dipende dalle mansioni svolte, dalle competenze dei lavoratori e dalle scelte produttive delle imprese. Il punto centrale diventa quindi capire quali attività possano essere sostituite dalla tecnologia e quali, invece, possano beneficiare maggiormente della collaborazione tra uomo e IA. È proprio nell'equilibrio tra sostituzione e complementarità che si trova uno degli aspetti principali della trasformazione del lavoro legata alla diffusione dell'intelligenza artificiale.

BIBLIOGRAFIA

ACEMOGLU, D., RESTREPO, P. (2018), Artificial Intelligence, Automation and Work, NBER Working Paper No. 24196, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA. DOI: 10.3386/w24196.

AUTOR, D. H., DORN, D. (2013), “The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market”, American Economic Review, Vol. 103, No. 5, pp. 1553–1597. DOI: 10.1257/aer.103.5.1553.

AUTOR, D. H., LEVY, F., MURNANE, R. J. (2003), “The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration”, The Quarterly Journal of Economics, Vol. 118, No. 4, pp. 1279–1333. DOI: 10.1162/003355303322552801.

BRYNJOLFSSON, E., LI, D., RAYMOND, L. R. (2023), Generative AI at Work, NBER Working Paper No. 31161, National Bureau of Economic Research. DOI: 10.3386/w31161.

GMYREK, P., BERG, J., BESCOND, D. (2023), Generative AI and Jobs: A Global Analysis of Potential Effects on Job Quantity and Quality, ILO Working Paper No. 96, International Labour Organization, Geneva. DOI: 10.54394/FHEM8239.

GREEN, A. (2024), Artificial Intelligence and the Changing Demand for Skills in the Labour Market, OECD Artificial Intelligence Papers, No. 14, OECD Publishing, Paris. DOI: 10.1787/88684e36-en.

KEYNES, J. M. (1930), “Economic Possibilities for Our Grandchildren”, The Nation and Athenæum, 11 e 18 ottobre 1930, pp. 36–37 e 96–98; successivamente raccolto in Essays in Persuasion.

MCKINSEY & COMPANY (2024), The State of AI in Early 2024: Gen AI Adoption Spikes and Starts to Generate Value, McKinsey Global Survey on AI, 30 maggio 2024.

SCHUMPETER, J. A. (1942), Capitalism, Socialism and Democracy, Harper & Brothers, New York.

RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo lavoro, desidero dedicare qualche parola di ringraziamento a tutte le persone che, in modi diversi, mi hanno accompagnato e sostenuto durante questi anni.

Ringrazio innanzitutto il Prof. Giulio Palomba, il mio relatore, per la disponibilità dimostrata, per i consigli ricevuti e per il supporto offerto durante la redazione della tesi.

Un ringraziamento particolare va a Gianluigi e Filippo, con cui ho condiviso tanti bei momenti durante questi anni e che hanno avuto per me un significato speciale, e a Tommaso, Velo, Luna, Viso, Daniele, Samuele, Asca, Marco e Simone, con cui ho vissuto tante esperienze tra studio e divertimento, contribuendo a rendere questi anni più piacevoli e ricchi di ricordi che porterò sempre con me.

Un ringraziamento va anche a tutto il gruppo SERT, con cui ho condiviso tante risate e momenti di spensieratezza e che ha contribuito a rendere questi anni più leggeri e piacevoli da vivere.

Un ringraziamento speciale va anche a Giorgia, Elisa, Federica e Rikardo, con cui mi sono sempre trovato bene e che sono sempre stati presenti durante questi anni, lasciandomi tanti bei ricordi e rendendo questo periodo ancora più bello da vivere.

Il ringraziamento più sentito va alla mia famiglia, a mamma, babbo e mio fratello, che mi sono sempre stati accanto, sostenendomi in ogni momento e senza mai farmi mancare il loro affetto e il loro supporto, e che rappresentano una parte fondamentale della mia vita e che continueranno ad esserlo per sempre.

E infine, voglio ringraziare me stesso, per tutto quello che ho fatto, per aver creduto fino in fondo in questo percorso e per non aver mai smesso di impegnarmi, anche nei momenti più difficili, continuando sempre ad andare avanti con costanza, fiducia e determinazione.