



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi quantitativa degli
investimenti nel contesto
dell'Industria 4.0 sulla crescita delle
imprese**

Relatore

Prof.ssa Elena Grinza

Candidato

Monica Paganini

matricola: s265188

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Sommario

Negli ultimi decenni è stato osservato l'espandersi di nuovi paradigmi di produzione guidati da innovativi trend tecnologici che hanno favorito l'avvento della quarta rivoluzione industriale. Tale rivoluzione ha dato vita al nuovo fenomeno noto come Industria 4.0. Oltre ad ovvi aspetti tecnici, l'introduzione di tali tecnologie all'interno dei processi produttivi promette di rivoluzionare diversi aspetti della nostra vita sociale ed economica. Tuttavia, in letteratura lo studio delle conseguenze economiche dell'introduzione dell'Industria 4.0 è stato affrontato sotto alcuni punti di vista, ma molte sono ancora le possibilità di analisi per dimostrare le effettive conseguenze che tale rivoluzione sta portando. Il presente lavoro di tesi prende in considerazione i risultati estrapolati dalle analisi che riguardano principalmente i depositi di brevetti rilasciati in Europa in ambito di Industria 4.0 e prosegue l'indagine dell'impatto che investimenti in ambito I4.0 hanno sulla crescita di Revenues, Profit, numero di Employees, Added Value e Return on Investment (ROI) delle imprese. Lo studio di tali effetti economici è stato effettuato tramite analisi econometriche. In particolare, lo studio si è concentrato su un dataset messo a disposizione da ORBIS-IP contenente i fattori economici di imprese internazionali che hanno registrato brevetti I4.0 nel suolo europeo. Il periodo di crescita che è possibile considerare con i dati a disposizione va dal 2009 al 2014. Avendo a disposizione le informazioni molto dettagliate sui brevetti, il coefficiente di "Intesity" con la quale le aziende hanno brevettato nuove tecnologie I4.0 è stato utilizzato come variabile di controllo per misurare la quantità di investimenti che le imprese hanno effettuato. Inoltre, al fine di raggiungere risultati più dettagliati, lo studio viene effettuato considerando i diversi tipi di tecnologia di Industria 4.0 (Enabling, Core, Application) per il quale le imprese hanno depositato i brevetti. Il primo risultato emerso dimostra come, in tale periodo, gli investimenti effettuati hanno avuto un impatto negativo sulla crescita del numero di dipendenti delle imprese stesse. A livello generale invece gli impatti positivi sulla crescita economica sono stati individuati tra le tecnologie di tipo Core e Application. Inoltre, viene osservato come la decrescita di Employees sia particolarmente evidente nel settore manifatturiero. Infine, si individua come le società nate a partire dalla fine degli anni '90, impiegate nei settori manifatturiero e ICT siano invece in controtendenza rispetto alle imprese più anziane. Viene esteso e confermato il fenomeno riscontrato in letteratura di "boost effect" anche sulla crescita delle aziende più giovani.

Ringraziamenti

Prima di procedere con la trattazione, vorrei dedicare qualche riga a tutti coloro che mi sono stati vicini in questo percorso di crescita personale e professionale.

Un sentito grazie alla Professoressa Elena Grinza, relatrice di questo lavoro di tesi, per la sua infinita disponibilità, professionalità e tempestività ad ogni mia richiesta. Grazie per la cortesia, per le conoscenze trasmesse e per tutto l'aiuto fornito durante la stesura.

Ringrazio infinitamente Francesco, che mi ha dato la possibilità di studiare con serenità e mi ha sempre sostenuto, appoggiando ogni mia decisione, fin dalla scelta del mio percorso di studi. Grazie per aver creduto in me anche quando nemmeno io lo facevo. Non finirò mai di ringraziarti per avermi permesso di arrivare fin qui. Questa tesi la dedico a te che sei il mio più grande sostegno e la mia guida.

Grazie di cuore ai miei genitori, Enza e Armando, per l'affetto che non mi hanno mai fatto mancare. Grazie per avermi insegnato a raggiungere ogni traguardo con sacrificio e umiltà, valori che da sempre vi contraddistinguono e che vi rendono due persone oneste e meravigliose. Porto sempre nel cuore i vostri sguardi pieni di amore al venerdì sera, tornata a casa dopo la settimana in università. Siete il mio punto di riferimento, vi ringrazio per essere al mio fianco e spero di avervi reso orgogliosi di me.

Un ringraziamento speciale va a Giuseppe e Maria, per essere sempre presenti nella mia vita e per aver portato così tanto amore. Non servono legami di sangue per tenerci uniti. Grazie Maria per esserti sempre presa cura di me sin da bambina, con i tuoi biscotti che ancora oggi mi prepari con amore. Grazie per le tue parole di incoraggiamento e per il tuo instancabile sorriso. Grazie Giuseppe per avermi accompagnato per mano ogni primo giorno di scuola. Tanto tempo è passato da quando mi hai insegnato a fare le moltiplicazioni a due cifre ed è grazie anche a questo che oggi posso festeggiare questo traguardo. Non riuscirò mai a ringraziarvi abbastanza per tutto quello che avete fatto per me.

Desidero ringraziare ed esprimere la mia riconoscenza nei confronti di quella che ormai da anni è la mia seconda famiglia: Elena, Vincenzo e Gabriele, che hanno sempre avuto un pensiero per me e mi hanno sostenuto durante il mio percorso di studi.

Ringrazio il mio grande amico Frank per la quotidiana e preziosa vicinanza. Grazie per aver condiviso con me questi anni di università che mi hanno permesso di trovare

in te un amico sincero e talentuoso. Aggiungerei anche consigliere personale, programmatore di esami, dispensatore inesauribile di consigli e opinionista televisivo. Grazie di cuore per il tempo trascorso insieme e per l'immane sostegno.

Un ringraziamento sentito va indubbiamente a Michela, per tutti gli indimenticabili momenti passati insieme durante questi anni di università. Abbiamo affrontato insieme questo cammino dal primissimo giorno di lezione, passo dopo passo, semestre dopo semestre, superando tutte le difficoltà, festeggiando insieme ogni vittoria e rialzandoci più forti di prima dopo ogni sconfitta. In questi anni ci siamo sempre sostenute, incoraggiate, confrontate e abbiamo fatto tanti sacrifici. Grazie per essere stata al mio fianco in ogni momento.

Un immenso grazie alla mia grande amica Antonella per essermi stata accanto in tutte le occasioni in cui era possibile e per non avermi fatto mai mancare il suo sostegno e il suo aiuto in questi anni, nonostante i chilometri. Grazie per avermi sempre accolta in casa tua e per avermi fatta sentire una martinese a tutti gli effetti.

Un pensiero particolare va infine a tutti i miei amici e colleghi ingegneri: Eleonora, Francesco, Federico, Giorgio, Ettore e Andrea. Senza di loro non sarei mai riuscita a raggiungere i risultati che ho ottenuto, ma soprattutto questi anni al Politecnico non sarebbero stati così divertenti.

*A Francesco,
la mia roccia*

Indice

Elenco delle tabelle	x
Elenco delle figure	xii
1 Introduzione	1
2 Storia e Contesto dell'Industria 4.0	5
2.1 Le tecnologie dell'Industria 4.0 e il loro impatto economico	7
2.1.1 Intelligenza Artificiale	7
2.1.2 Analisi di Big Data	9
2.1.3 IoT	9
2.1.4 Additive Manufacturing	10
2.2 Contesto politico-economico dell'Industria 4.0	11
3 Stato dell'arte	13
3.1 PMI e Industria 4.0	14
3.2 Dalle PMI alle Grandi Imprese	15
4 Background e Domanda di Ricerca	17
4.1 Domanda di ricerca	17
4.2 Brevetti	19
5 Dati e Metodologia	21
5.1 Dataset	21
5.2 Metodologia di Analisi	26
6 Analisi e Risultati	31
6.1 Risultati principali	31
6.1.1 Crescita delle revenues	32
6.1.2 Natura differenziata dei brevetti 4.0	33
6.2 Risultati sugli effetti delle caratteristiche delle imprese	35
6.2.1 Impatto Intensity 4.0 con imprese divise per età	36

6.2.2	Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese divise per età	38
6.2.3	Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese divise per settore industriale	38
7	Conclusioni	43

Elenco delle tabelle

5.1	Numero di osservazioni nel dataset per nazione.	22
5.2	Numero di osservazioni nel dataset per settore industriale.	23
5.3	Statistiche descrittive per le variabili dipendenti.	28
6.1	Modello principale dell'impatto di Intensity 4.0 su crescita di Revenues, Profit, Employees, Value Added e Return On Investment. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014).	32
6.2	Analisi su crescita revenues positiva e negativa. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014).	33
6.3	Modello principale dell'impatto di Intensity 4.0 divisa per categorie Enabling, Core e Application su crescita di Revenues, Profit, Employees, Value Added e Return On Investment. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014).	35
6.4	Suddivisione delle imprese in base alla Age, seguendo i piani di investimento.	37
6.5	Impatto Intensity 4.0 con imprese divise per età. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.	37
6.6	Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese divise per età. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.	39
6.7	Suddivisione delle imprese per SETTORE INDUSTRIALE.	40
6.8	Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese appartenenti al settore Manufacturing. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.	40
6.9	Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese giovani (<15 anni) appartenenti al settore Manufacturing. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.	41
6.10	Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese appartenenti al settore ICT. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.	41
6.11	Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese giovani (<15 anni) appartenenti al settore ICT. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.	42

6.12	Suddivisione delle imprese per numero di employees.	42
6.13	Impatto Intensity 4.0 con imprese divise per numero di Employees. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.	42

Elenco delle figure

1.1	Trend e principi tecnologici introdotti con l'Industria 4.0 Ghobakhloo 2018.	2
2.1	Schema che riassume le principali tecnologie e i nuovi flussi di precesso adodatti con l'Indusrtia 4.0 Dilberoglu et al. 2017.	8
5.1	Distribuzione dell'età delle GUO prese in esame.	23
5.2	Trend del numero di patent I4.0 depositati per categorie non esclusive. Fonte Benassi, Grinza e Rentocchini 2019.	24
5.3	Trend del numero di patent I4.0 depositati per categorie esclusive. Fonte Benassi, Grinza e Rentocchini 2019.	25

Capitolo 1

Introduzione

Negli ultimi decenni è stato osservato l'espandersi di nuovi paradigmi di produzione guidati da innovativi trend tecnologici che hanno favorito l'avvento della quarta rivoluzione industriale (I4.0). In particolare da un paio di decenni si è incominciato a parlare di Industry 4.0 (I4.0), la quale si discosta dai precedenti processi produttivi per velocità, scala, complessità e potenza trasformativa. La quarta rivoluzione industriale, ovvero l'Industria 4.0, viene comunemente associata al recente movimento sull'automazione tecnologica intelligente in cui le tecnologie dell'informazione svolgono un ruolo fondamentale anche sulla competitività economica Dilberoglu et al. [2017](#).

La figura [1.1](#) mostra quelli che sono i principi di progettazione chiave e le tendenze tecnologiche introdotte con l'Industria 4.0. Nella figura, l'insieme esterno riporta quelle che sono le nuove tendenze tecnologiche che fungono da motore per i nuovi processi produttivi. Tra le tecnologie più disruptive di questo insieme troviamo tecnologie come: Internet of Things, Additive Manufacturing, Cloud Computing e Big Data Analytics. Invece, l'insieme più interno elenca i nuovi paradigmi di progettazione che sono nati grazie all'adozione delle tecnologie sopra citate. Infatti, da queste evoluzioni tecnologiche si inizia a parlare di nuovi processi produttivi inclusi nello "smart manufacturing".

Oltre ad ovvi aspetti tecnici, l'introduzione di tali tecnologie all'interno dei processi produttivi promette di rivoluzionare diversi aspetti della vita sociale ed economica (Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. [2020](#)). Il processo produttivo è uno degli aspetti più affetti. Si pensi ad esempio a come una produzione più flessibile grazie all'Additive Manufacturing e ad una raccolta di informazioni di mercato sulle esigenze dei clienti più efficiente tramite tecniche di analisi di informazione digitalizzate permettano uno sviluppo evidentemente più rapido dei prodotti e una personalizzazione sulla domanda. Inoltre, oltre ai sistemi di produzione, le tecnologie e le applicazioni I4.0 aprono nuove opportunità che consentono di cambiare drasticamente e di rendere più efficienti settori come i trasporti (con l'introduzione di droni e auto senza conducente) e l'assistenza sanitaria (farmaci personalizzati) oltre a crearne di nuovi.

Tuttavia, alcuni fattori possono frenare questa evoluzione tecnologica industriale.



Figura 1.1. Trend e principi tecnologici introdotti con l'Industria 4.0 Ghobakhloo 2018.

Il lavoro in corso sulla concorrenza e la crescita guidata dall'innovazione che la quarta rivoluzione industriale sta portando, indicano l'esistenza di due effetti di contrasto. Da un lato, si ha una più intensa concorrenza sul mercato dei prodotti (o minaccia di imitazione) che induce le imprese già innovative ad innovarsi ulteriormente a livello tecnologico, vista l'obsolescenza prevista per rimanere competitivi. Invece, le imprese sul mercato legate ad asset storici vivono una concorrenza ancora più intensa in quanto l'introduzione di innovazione tecnologica radicale potrebbe costituire una barriera all'ingresso che non tutte le aziende possono sostenere. Tale barriera tende a scoraggiare quindi le imprese legate ad asset storici che devono innovare totalmente l'intera organizzazione e tutto ciò che ne concerne per evitare di uscire dal mercato.

In letteratura lo studio sulle conseguenze economiche dell'introduzione dell'Industry 4.0 è stato affrontato sotto alcuni punti di vista, ma molte sono ancora le possibilità di analisi per dimostrare le effettive conseguenze che tale rivoluzione sta portando. Il confronto tra grandi e piccole medie imprese viene studiato in Pech e Vrchota 2020 che dimostra come le PMI abbiano un livello inferiore di implementazione di tecnologie di Industria 4.0 rispetto alle grandi imprese. Le PMI sono evidentemente frenate dai costi necessari per affrontare la transizione tecnologica. Inoltre, in Pech e Vrchota 2020

vengono classificate le piccole e medie imprese in base alla loro attitudine a sviluppare tecnologie in ambito di Industria 4.0. D'altra parte, il lavoro proposto in Trappey et al. 2017 evidenzia la necessità di adottare standard comuni nel processo di digitalizzazione industriale. Questo è necessario per ridurre l'eterogeneità delle soluzioni proposte e che permetterebbero di incrementare la modularità dei nuovi sistemi e quindi facilitare la loro adozione abbassandone anche i costi. Invece lavori recenti Benassi, Grinza e Rentocchini 2019; Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. 2020 si sono focalizzati sullo studio degli impatti economici che l'introduzione di tecnologie di Industry 4.0 ha avuto sulle performance delle imprese. Tuttavia, lo studio degli effetti di I4.0 rappresenta un'area ancora poco esplorata in letteratura. In Benassi, Grinza e Rentocchini 2019 viene osservato come le domande di brevetti relativi all'I4.0 siano aumentate significativamente negli ultimi anni analizzando le richieste sia a livello geografico, che a livello di settore industriale. Quanto osservato da questo lavoro è quindi coerente con le attese e le promesse in letteratura. Con questa analisi si dimostra infatti come il numero medio di brevetti per azienda sia aumentato in modo rilevante, suggerendo che l'impennata dell'attività di brevetto I4.0 si sia verificata principalmente all'interno delle imprese. Infine, in Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. 2020 è stato trovato come lo sviluppo delle tecnologie I4.0 sia significativo per la produttività delle imprese ma non per la redditività. Infatti, viene dimostrato come la produttività possa aumentare in seguito all'adozione di tecnologie Industria 4.0 mirate all'incremento di efficienza produttiva. Oppure, l'adozione delle stesse può essere correlata all'aumento dei ricavi generati dall'output che incorpora le tecnologie I4.0. Inoltre, viene mostrato come le imprese capitalizzino di più sulla produttività quando sviluppano le tecnologie I4.0 per la prima volta individuando quindi un "effetto boost". Questo evidenzia inoltre come le strategie "wait and see" consentano alle imprese di scegliere quando implementare l'innovazione tecnologica aspettando che questa sia stabile ed efficiente, evitando grandi investimenti azzardati.

Il presente lavoro di tesi prende in considerazione i risultati estrapolati dalle analisi che riguardano principalmente lo studio dei brevetti rilasciati in Europa in ambito di Industria 4.0 e prosegue l'indagine dell'impatto che investimenti in ambito di Industria 4.0 hanno sulla crescita di Revenues, Profit, numero di Employees, Added Value e Return on Investment (ROI) delle imprese. I risultati conferiti vertono su analisi econometriche e vengono descritte nei capitoli successivi. Il coefficiente di "Intensity", che misura la quantità di brevetti I4.0 depositati rispetto al totale, viene sfruttato come variabile di controllo per caratterizzare le imprese rispetto ai loro investimenti in Industry 4.0. In particolare, lo studio si concentra sul dataset messo a disposizione da ORBIS-IP che include, oltre ai depositi dei brevetti, anche i dati finanziari delle imprese internazionali che rilasciano brevetti sulle tecnologie 4.0 nel suolo europeo. Inoltre, vengono studiati anche gli effetti che diversi paradigmi tecnologici (Enabling, Core, Application) hanno sui diversi tipi di crescita in esame.

Il primo risultato rilevante individuato in diverse analisi è relativo alla crescita delle imprese rispetto al numero di Employees. Dalle analisi generali, gli ingenti investimenti

I4.0 effettuati dalle imprese in esame hanno infatti mostrato un impatto negativo sulla crescita del numero di dipendenti. La riduzione della crescita in termini di dipendenti è emersa particolarmente evidente per le compagnie dei settori manifatturiero e ICT. Invece, in generale effetti positivi sulla crescita economica (in termini di Revenues) sono stati confermati grazie alle tecnologie di tipo Application e Core. Infine, si trova evidenza del fenomeno di "boost effect" per le imprese più giovani anche nella crescita economica presa in esame in questo lavoro. Infatti, per società nate a partire dalla fine degli anni '90, impiegate nei settori manifatturiero e ICT si nota una controtendenza rispetto alle compagnie più anziane.

Diventa doveroso, al fine di raggiungere risultati più dettagliati, distinguere il tipo di tecnologia di Industria 4.0 al quale le imprese in esame si stiano approcciando e, di conseguenza, misurare il loro effetto in termini di crescita economica. Ciò permette infatti di osservare accuratamente come le imprese reagiscano a nuovi investimenti innovativi in tecnologia I4.0 e quale sia la rilevanza del loro settore industriale di appartenenza e del loro numero di anni di esperienza. Infatti, per il settore manifatturiero le tecnologie Enabling e Core hanno mostrato un trend positivo di Revenues e Profit. Invece, nel settore ICT sono le tecnologie core a determinare la crescita di Profit e Employees.

Capitolo 2

Storia e Contesto dell'Industria 4.0

Sebbene ogni rivoluzione industriale sia spesso considerata come un evento separato dall'altro, tramite una visione aggregata di questi eventi storici è possibile comprendere meglio come il percorso delle innovazioni che si basano sulle rivoluzioni precedenti e portano a forme più avanzate di produzione.

La prima rivoluzione industriale ha luogo in Inghilterra intorno al 1750-1760 e dura fino al 1830. È uno dei punti di svolta più importanti nella storia umana. Durante questo periodo l'invenzione di nuovi macchinari sostituisce la forza lavoro umana e animale. Questa transizione, descritta in Xu et al. [2018](#), include l'uso del carbone come principale fonte di energia, vista la massiccia estrazione, e l'invenzione della macchina a vapore. Quest'ultima rappresenta la ragione che ha spinto a sviluppare un nuovo tipo di energia che in seguito ha permesso accelerare la produzione di ferrovie. La macchina a vapore ha permesso, infatti, il passaggio dalla società agricola e feudale al nuovo processo produttivo oggetto della prima rivoluzione industriale. In termini di occupazione, l'industria tessile e la produzione di acciaio diventano fabbriche dominanti in termini di occupazione, valore della produzione e capitale investito.

La seconda rivoluzione industriale viene invece datata tra il 1870 e il 1914, anche se alcuni dei suoi eventi caratteristici possono essere attribuiti già agli anni '50 dell'Ottocento, come l'invenzione del processo Bessemer nel 1856. All'inizio della seconda rivoluzione industriale si è sviluppata una sinergia tra ferro e acciaio, ferrovie e carbone. I progressi nella produzione e nella tecnologia di produzione hanno consentito l'adozione diffusa di sistemi tecnologici preesistenti come reti telegrafiche e ferroviarie, fornitura di gas e acqua e sistemi fognari, che in precedenza erano stati concentrati in poche città selezionate. L'enorme espansione delle linee ferroviarie e telegrafiche dopo il 1870 ha permesso un movimento senza precedenti di persone e idee, che è culminato in una nuova ondata di globalizzazione. Nello stesso periodo sono stati introdotti nuovi sistemi, in particolare l'energia elettrica e telefoni. Le ferrovie hanno consentito il trasporto a basso costo di materiali e prodotti, che a sua volta hanno portato a binari economici per costruire più strade. Anche le ferrovie hanno beneficiato del carbone a buon mercato per le loro locomotive a vapore. L'invenzione più determinante è infatti quella del

motore a combustione interna. Ciò ha portato a un'era di rapida industrializzazione utilizzando petrolio ed elettricità per alimentare la produzione di massa. I miglioramenti nell'efficienza del vapore, come i motori a vapore a tripla espansione, hanno consentito alle navi di trasportare molte più merci del carbone, con un conseguente aumento dei volumi di commercio internazionale.

La terza rivoluzione industriale inizia nel 1947 con l'invenzione del transistor ed è caratterizzata dall'implementazione dell'elettronica e della tecnologia informatica per automatizzare la produzione. Si riferisce infatti ai progressi tecnologici dati dall'elettronica e dalle telecomunicazioni. Queste tecnologie vengono chiamate tecnologie dell'informazione e sono state applicate in tutti i campi produttivi. Si affermano infatti, già dal Dopoguerra la chimica e lo sviluppo delle materie ricavate dal petrolio, rispetto all'utilizzo del carbone, da cui si ricavano materiali sempre più innovativi. Il Dopoguerra è caratterizzato anche dall'invenzione del primo calcolatore, realizzato per l'esercito degli Stati Uniti per il calcolo balistico delle munizioni. Questo tipo di tecnologia viene poi messa a disposizione alle aziende produttive civili. Inizia ad esistere la concezione di programmazione di un macchinario. Il computer subisce diverse trasformazioni fino ad arrivare al microchip, i macchinari diventano infatti sempre più piccoli. Segue così lo sviluppo di Internet, una rete informatica ideata nel 1969 da un gruppo di scienziati e ricercatori. Gli effetti della terza rivoluzione industriale sono scanditi dalla fine del fordismo come approccio al lavoro, la rivoluzione informatica e la green economy. Convergono infatti Internet, energie rinnovabili e trasporti automatici che hanno conferito più potere alle persone e che possono conferire un'arma contro il cambiamento climatico (basi pensare al recupero conferito dalla propagazione delle informazioni che non prevede più necessariamente fonti cartacee).

Siamo recentemente entrati negli albori della quarta evoluzione industriale (I4.0) con l'introduzione dell'Industria 4.0 (I4.0), la quale differisce per velocità, scala, complessità e potenza trasformativa rispetto alle rivoluzioni precedenti. Il concetto chiave della quarta rivoluzione industriale è lo "smart manufacturing": la digitalizzazione della produzione sta portando ad una trasformazione significativa nell'industria moderna. L'industria manifatturiera è infatti alla ricerca di servizi di produzione versatili per ottimizzare il *time to market* dei prodotti migliorandone la qualità riducendo i costi di produzione. Secondo Trappey et al. 2017 l'Industria 4.0 (I4.0) è rappresentata dall'aggregazione di diverse tecnologie come Internet of Things (IoT), Cyber Physical Systems (CPS), Cloud Computing e analisi di Big Data volti a migliorare tutti i processi produttivi e gli aspetti di gestione dell'impresa. Tutte queste ramificazioni giungono allo stesso paradigma: il mondo è cambiato non solo in ambito industriale, ma anche nella quotidianità delle persone e nel modo che il consumatore ha di concepire i prodotti. Si tratta di un'importante e rivoluzionaria transizione che ha segnato il passaggio da un mercato di massa a una personalizzazione di massa tramite la connessione tra macchine che comunicano in tempo reale, si inviano informazioni e possono pertanto customizzare qualunque output. Di conseguenza, gli effetti sono propagati su qualunque ruolo

a livello di impresa, non vi è solo una mera sostituzione delle attività ripetitive, ma anche un’espansione delle possibilità a livello di marketing e logistica con la riduzione dei tempi di consegna. Le automobili sono diventate dei veri e propri software aggiornabili contemporaneamente in tutto il mondo. Questa rivoluzione, dettata dal web, nasce come superamento della crisi finanziaria avvenuta tra 2007 e il 2009, come adattamento alla globalizzazione e rompe tutti i paradigmi precedenti. Segue le tre ”i” delle rivoluzioni precedenti: è irreversibile, indistinta, cioè si applica in tutti i campi, ed è imprevedibile in quanto compresa solo al termine. Il web non è più solo il più grande strumento di comunicazione, ma permette al consumatore per la prima volta nella storia di poter valutare l’offerta di beni e servizi su scala mondiale a prescindere dal luogo in cui risiedono, superando la precedente asimmetria informativa che caratterizzava i mercati.

2.1 Le tecnologie dell’Industria 4.0 e il loro impatto economico

Il lavoro in corso sulla concorrenza e la crescita guidata dall’innovazione che la quarta rivoluzione industriale sta portando, indicano l’esistenza di due effetti di contrasto: da un lato, una più intensa concorrenza sul mercato dei prodotti (o minaccia di imitazione) induce le imprese innovative in gioco ad innovarsi tecnologicamente in modo più approfondito data l’obsolescenza prevista per rimanere competitivi; d’altro canto, sul mercato si vive una concorrenza più intensa la quale tende a scoraggiare le imprese legate ad asset storici che devono innovare totalmente l’intera organizzazione e tutto ciò che ne concerne per evitare di uscire dal mercato.

Come illustrato in figura 2.1, l’Industria 4.0 introduce sistemi cyber e fisici per consentire a macchine e personale di collaborare in modo efficiente. L’obiettivo finale di tale rivoluzione è infatti quello di costruire fabbriche intelligenti ridefinendo il ruolo degli umani. Nel seguente capitolo verranno approfondite le ramificazioni che definiscono la tecnologia proposta dall’Industria 4.0. Si noti che la definizione di Industria 4.0 adottata in questo lavoro è una definizione ampia che comprende tecnologie variegata, tra cui quelle descritte nei capitoli successivi. In Ménière et al. 2020 vengono infatti dettagliate tutte le categorie tecnologiche contenute nel dataset in esame.

2.1.1 Intelligenza Artificiale

L’Intelligenza Artificiale (IA) può essere definita come ”la capacità di una macchina di imitare il comportamento umano intelligente” o ”la capacità di un agente di raggiungere obiettivi in un’ampia gamma di ambienti” Goldfarb et al. 2019. L’IA consente di automatizzare un numero sempre crescente di attività precedentemente svolte dal lavoro umano ed è impiegata nella produzione ordinaria di beni e servizi, con un potenziale impatto sulla crescita economica. Inoltre, l’intelligenza artificiale può anche modificare

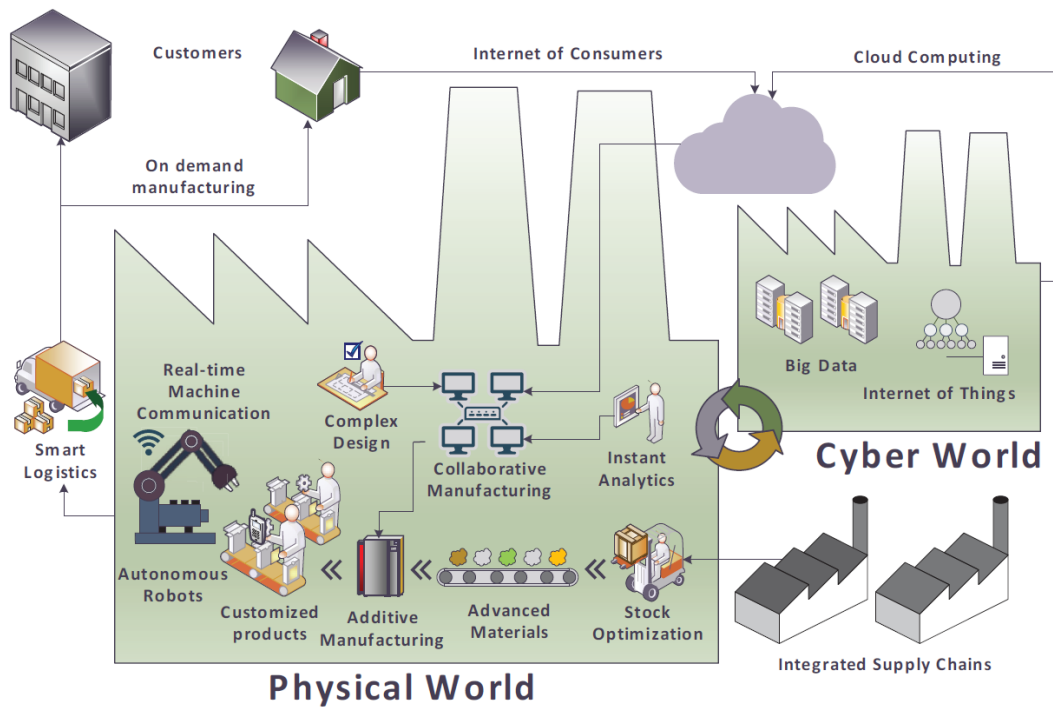


Figura 2.1. Schema che riassume le principali tecnologie e i nuovi flussi di precosso adottati con l'Industria 4.0 Dilberoglu et al. 2017.

radicalmente il processo con cui le industrie producono, aiutando a risolvere problemi sempre più complessi.

Tra le tecnologie di maggiore importanza che vengono adottate nella I4.0 e su cui vengono attualmente investite grandi somme di denaro, sicuramente è necessario citare l'Intelligenza Artificiale (IA). Le implicazioni che l'introduzione dell'IA ha sulla crescita economica sono state oggetto di numerosi studi come Goldfarb et al. 2019. Da un lato, viene messo in evidenza che l'intelligenza artificiale può aumentare la crescita economica in modo temporaneo o permanente a seconda di come essa viene introdotta. Dall'altro, la crescita economica delle compagnie che introducono processi altamente automatizzati potrebbe rimanere limitata a causa di alcune aree di interesse che sono essenziali ma difficili da migliorare. Inoltre, l'IA può scoraggiare l'innovazione viste le difficoltà implementative e limitare la creatività che solo l'uomo può introdurre, frenando il processo di crescita. Pertanto, le imprese possono influenzare, ed essere influenzate, dall'utilizzo dell'intelligenza artificiale, con rilevanti implicazioni per i loro risultati macroeconomici.

Il progresso dell'intelligenza artificiale e dei suoi effetti macroeconomici dipende dal comportamento potenzialmente ricco delle aziende (Aghion et al. 2017). Se da una parte l'Industria 4.0 abbatte il lato creativo del mercato, dall'altro fornisce un meccanismo orientato agli incentivi per delineare ulteriormente l'IA.

2.1.2 Analisi di Big Data

I dati immagazzinati dai computer e successivamente rielaborati seguono un percorso simile a quello cognitivo dell’uomo con i ricordi. All’inizio le informazioni nei computer erano poche, poi via via sono cresciute e così la loro capacità di rielaborazione. Oggi gli archivi di memoria sono diventati immensi e si parla infatti di ”Rivoluzione dei Big Data”, idea alla base dell’Artificial Intelligence. Ogni giorno nel mondo vengono spediti 75 miliardi di messaggi, 370 miliardi di email e sul web esistono circa 1 miliardo di siti alcuni dei quali vengono continuamente aggiornati. Diventa perciò inevitabile saperli sfruttare e studiare: analizzando questa grande massa di dati è possibile estrarre nuove conoscenze. Il risultato ottenuto consiste in nuove possibili previsioni, rese possibili dall’accuratezza dei dati che vengono raccolti in poco tempo e rielaborati da modelli e strumenti in grado di selezionare le informazioni importanti tramite algoritmi. Tramite l’analisi della grande mole di dati che viene prodotta dai processi industriali moderni, possono essere estratti molti *Key Process Indicator* (KPI). Essi rappresentano un elemento chiave per migliorare e monitorare con efficacia gli impianti produttivi nell’Industria 4.0. Due ruoli operativi, individuati in Apiletti et al. 2018, che possono ad esempio beneficiare in modo particolare di un monitoraggio intelligente del sistema di produzione sono (i) i responsabili della produzione e (ii) i responsabili del turno di produzione. I primi sono interessati al monitoraggio della produttività nel tempo con l’obiettivo di garantire un livello di produzione ottimale e valutare gli aspetti che possono contribuire all’inefficienza del processo produttivo. Invece, i secondi sono interessati a monitorare il corretto funzionamento degli apparati produttivi per reagire immediatamente a problemi improvvisi che causano inefficienze della linea di produzione. Pertanto, tramite l’analisi in tempo reale di Big Data, è possibile calcolare e monitorare parametri come ”Overall Equipment Effectiveness”, che misura la produttività manifatturiera della fabbrica ed effettuare l’analisi di manutenzione predittiva.

2.1.3 IoT

L’Internet of Things (IoT) è un mezzo per connettere oggetti fisici a Internet come una rete onnipresente che consente agli oggetti di raccogliere e scambiare informazioni. Trappey et al. 2017 L’IoT nel contesto dell’Industria 4.0 permette infatti di avere in ambito produttivo una migliore visione d’insieme delle operazioni del processo e delle risorse coinvolte attraverso l’integrazione di sensori di macchine, middleware, trasporti interni automatici, attrezzature sanitarie, software, sistemi di archiviazione e cloud computing back-end. Se prima si trattava solo di una prerogativa dei personal computer e dei dispositivi mobile, con l’avvento dell’Internet of Things anche gli elettrodomestici e automobili si possono collegare a internet. L’IoT non si riferisce solo alla rete degli oggetti fisici nell’industria, ma include anche le rappresentazioni digitali di prodotti, processi e infrastrutture di produzione come modelli 3D. Si parla di smart building, smart health e nuove tipologie di digital payment tramite oggetti connessi a internet

che facilitano le azioni di tutti i giorni. Le tecnologie IoT sono in continuo sviluppo e si possono adattare a qualunque realtà che implichi il controllo e il trasferimento di dati. I macchinari, diventati smart, gestiscono e comunicano dati tra loro in real time, abilitando servizi di manutenzione predittiva, iniziative di produzione ecologica, efficienza della qualità del prodotto, ottimizzazione energetica e di design.

2.1.4 Additive Manufacturing

La quarta rivoluzione industriale introduce l'integrazione di sistemi di produzione intelligenti e tecnologie informatiche avanzate. Si parla infatti di Additive Manufacturing (AM), più comunemente conosciuta come 3D printing, ovvero il processo di unione dei materiali per creare oggetti dai dati del modello 3D, in contrapposizione alle metodologie di produzione sottrattiva Dilberoglu et al. [2017](#).

Utilizzando la progettazione assistita da computer (CAD) o scanner di oggetti 3D, l'Additive Manufacturing consente la creazione di oggetti con forme geometriche precise. Questi vengono costruiti strato per strato, in contrasto con la produzione tradizionale che spesso richiede lavorazioni meccaniche o altre tecniche per rimuovere il materiale in eccesso.

Le tecnologie AM possono essere sostanzialmente suddivise in tre tipi:

- La prima tecnologia è una sinterizzazione, in cui il materiale viene riscaldato senza essere liquefatto per creare oggetti complessi ad alta risoluzione. La sinterizzazione laser diretta del metallo utilizza polvere di metallo mentre la sinterizzazione laser selettiva utilizza un laser su polveri termoplastiche in modo che le particelle aderiscano tra loro.
- La seconda tecnologia AM fonde completamente i materiali, includendo una sinterizzazione laser diretta del metallo per fondere strati di polvere metallica e la fusione a fascio di elettroni, che utilizza fasci di elettroni per fondere le polveri.
- Infine, la stereolitografia, che utilizza un processo chiamato fotopolimerizzazione, in base al quale un laser ultravioletto viene sparato in una vasca di resina fotopolimerica per creare parti ceramiche resistenti alla coppia in grado di sopportare temperature estreme.

La prima attrezzatura per la produzione di stampa 3D è stata sviluppata da Hideo Kodama dell'Istituto municipale di ricerca industriale di Nagoya. L'AM, in quanto tecnologia chiave nel contesto della rivoluzione imminente, offre un grande potenziale per i futuri sviluppi in questa nuova era.

Potrebbero però esserci ancora molti ostacoli però prima di raggiungere il nuovo paradigma tecnologico per via dei limiti dell'AM: a causa dei principali inconvenienti sulla sua velocità di produzione, precisione, ripetibilità e costo, l'AM potrebbe non essere preferito nelle fabbriche industriali convenzionali, specialmente per la produzione

di massa di parti normali. Tuttavia, ha ancora delle superiorità rispetto ai metodi di produzione convenzionali nella fabbricazione di oggetti complessi e personalizzati. Infatti, l'AM offre opportunità di produzione in una vasta gamma in termini di materiale (polimeri su metalli), dimensioni (nanoscala per parti di grandi dimensioni) e funzionalità (autoassemblaggio per un trasferimento di calore ottimale)

La forza delle parti prodotte è un'altra debolezza dell'AM che può essere promossa da nuovi materiali / processi che provocano microstrutture migliorate e un'adeguata ottimizzazione della progettazione / topologia. Inoltre, la produzione ibrida consente di compensare alcuni inconvenienti come la qualità della superficie del prodotto e offre l'opportunità di riparare / rimodellare le parti esistenti.

La direzione futura dell'AM è la questione della sostenibilità, in cui l'AM può svolgere un ruolo significativo nel diminuire le risorse di rifiuti e ridurre il consumo di energia impiegando la produzione just-in-time

2.2 Contesto politico-economico dell'Industria 4.0

La produzione globale oggetto di Industria 4.0 si basa sull'introduzione di concetti di Internet of things e di "servitization" nelle aziende manifatturiere. Le fabbriche smart risultanti sono in grado di soddisfare le richieste dinamiche dei clienti con un'elevata variabilità in lotti di piccole dimensioni, integrando l'ingegno umano e l'automazione. Per supportare l'industria manifatturiera in questo processo di conversione e migliorare la competitività globale, i responsabili politici di diversi paesi hanno istituito programmi di ricerca e trasferimento tecnologico. Soprattutto la Germania, come descritto in Thoben et al. 2017, ha attuato il suo programma "Industrie 4.0", che sta influenzando sempre più la politica europea, mentre gli Stati Uniti si concentrano sullo smart manufacturing. Per la Germania, che ha una delle industrie manifatturiere più competitive al mondo e una forte fabbricazione di macchinari e impianti, è fondamentale affrontare le sfide di una quarta rivoluzione industriale. Pertanto, il governo tedesco ha stabilito il suo programma I4.0 per mantenere la sua competitività produttiva. Si basa sul presupposto che "la produzione industriale nel prossimo futuro sarà caratterizzata dalla forte individualizzazione dei prodotti in condizioni di produzione altamente flessibile (grandi serie), dall'ampia integrazione di clienti e partner commerciali nei processi aziendali e a valore aggiunto, e il collegamento tra produzione e servizi di alta qualità che porta ai cosiddetti prodotti ibridi". I4.0 comprende un passaggio di paradigma dalla produzione automatizzata a un concetto di produzione intelligente. Il mondo fisico e quello virtuale crescono insieme e gli oggetti, comprese le macchine, sono dotati di sensori e attuatori. L'implementazione della produzione intelligente utilizzerà concetti come IoT per facilitare questo cambiamento. La caratteristica esclusiva di I4.0 è quella di soddisfare le esigenze dei singoli clienti con varianti di prodotto in lotti molto piccoli, fino agli articoli a tantum. La disponibilità di tutte le informazioni rilevanti in tempo reale consentirà ai sistemi di produzione di soddisfare le esigenze dei clienti

senza sprechi dovuti alla riconfigurazione delle linee di assemblaggio o ai tempi di configurazione attraverso processi aziendali e ingegneristici dinamici. In questo contesto, i sistemi logistici e di produzione intelligenti possono generare il flusso di valore ottimale per soddisfare le richieste in tempo reale, nonché creare nuovi *Business Model* basati su una migliore manutenzione predittiva, robustezza nella progettazione del prodotto e logistica adattiva.

Il dataset si riferisce al periodo 2009-2014, periodo a cavallo con la Grande Recessione, cioè la crisi economica mondiale verificatasi tra il 2007 ed il 2013 scoppiata negli Stati Uniti d'America nel 2006 a seguito alla crisi dei subprime e del mercato immobiliare. Secondo l'analisi effettuata in Kozlowski et al. 2019, ciò può influire negativamente sulle aspettative e sui ritorni negli investimenti effettuabili. In una tipica recessione del secondo dopoguerra, l'attività economica prima diminuisce e poi mostra un forte rimbalzo verso una linea di tendenza stabile. Dopo la Grande Recessione, tuttavia, manca questo rimbalzo; la ripresa mancante è ciò che alcuni economisti chiamano "stagnazione secolare". Questo effetto ha grande impatto sugli investimenti, poichè aumenta la probabilità di ottenere rendimenti anormalmente bassi. Le imprese sono così meno inclini a investire. Di conseguenza, la crescita economica è ora inferiore rispetto a prima della crisi finanziaria.

Bisogna considerare però, oltre all'impatto della Grande Recessione, altri eventi economici che potrebbero influenzare il periodo storico in questione, anche in maniera positiva. L'evento da considerare è l'Agenda di Lisbona del 2000, che potrebbe infatti portare ripercussioni sul periodo di analisi preso in considerazione in questo lavoro di tesi. Lo scopo dell'agenda di Lisbona adottata nel 2000 era quello di rendere l'Unione europea "l'economia più competitiva e dinamica al mondo, capace di una crescita economica sostenibile con più e migliori posti di lavoro e una maggiore coesione sociale" for Internal Policies of the Union. 2016. L'agenda di Lisbona prevedeva interventi per incentivare gli investimenti in ricerca e sviluppo, riforme strutturali in modo da aumentare la flessibilità del mercato del lavoro e i tassi di partecipazione.

L'Horizon Europe è un'iniziativa di ricerca scientifica che prevede un programma che va dal 2014 al 2020 e che coinvolge l'Unione Europea. Il programma prevede un finanziamento stimato di 80 miliardi di euro. Fornisce sovvenzioni a progetti di ricerca e innovazione attraverso inviti a presentare nuove proposte competitive in ambito scientifico. Le entità giuridiche di qualsiasi paese all'interno dell'Unione Europea possono presentare proposte di progetto in risposta a questo programma. I partecipanti degli stati membri dell'Unione Europea e dei paesi associati a Horizon 2020 vengono automaticamente finanziati. Ciò rappresenta un'iniziativa che incoraggia notevolmente le aziende più giovani a beneficiare di questi fondi destinati alla ricerca anche in ambito industriale.

Capitolo 3

Stato dell'arte

Le innovazioni tecnologiche introdotte dalla quarta rivoluzione industriale influenzano le prestazioni delle aziende a breve e lungo termine. Pertanto, dovendo affrontare nuovi settori tecnologici, le aziende devono formulare strategie di sviluppo tecnologico appropriate per supportare la pianificazione e l'integrazione di tecnologie proprie dell'Industria 4.0. L'Industria 4.0 non è più una "tendenza futura", ma una vera e propria innovazione *disruptive* alla quale è necessario adattarsi per non rimanere esclusi dal mercato permanentemente. Viene pertanto proposto un percorso strategico che suggerisce i passi principali che le organizzazioni possono seguire per approcciarsi all'innovazione.

I principali passi da gestire iniziano dalla definizione delle strategie dell'Industria 4.0 di breve, medio e lungo termine per capire dove si trova l'azienda, dove deve andare e come arrivarci. Dopodiché, è necessario nominare un team di transizione I4.0 che gestisce la trasformazione digitale e l'integrazione dei sistemi e delle infrastrutture esistenti. Siccome non tutte le organizzazioni hanno la maturità IT adeguata per abbracciare l'Industria 4.0, può essere d'aiuto, soprattutto per le aziende di grandezza inferiore (PMI), procedere con operazioni di *Mergers & Acquisitions* cioè fusioni e acquisizioni su scala globale che permettono di acquisire nuove competenze tecnologiche. L'azienda che intende convertire la sua organizzazione in una nuova che sfrutta tecnologie I4.0, dovrebbe decodificare la procedura di "transizione" in un piano di progetto dettagliato, in cui specificare le caratteristiche del lavoro in ciascuna fase e condurre ulteriormente un'analisi completa di costi e benefici. Anche le strategie di marketing vanno rivalutate poiché molti produttori tradizionali continuano a operare con strategie che hanno già superato la loro efficacia, rivelandosi oltretutto controproducenti. Inoltre, dal punto di vista della gestione delle risorse umane, le aziende devono valutare attentamente le competenze nella loro forza lavoro e riconoscere quelle digitali che i dipendenti attuali già conoscono, al fine di identificare le competenze mancanti.

Studi recenti Artz et al. [2010](#) hanno evidenziato come la capacità di un'impresa di

investire in nuove invenzioni e innovazioni possa avere effetti sulla performance aziendale, misurati come ritorno sugli asset (ROA) e crescita delle vendite. In particolare vengono analizzati due aspetti: (i) l'invenzione di nuove tecnologie e lo sviluppo di nuove idee; e (ii) l'introduzione di elementi di innovazione come lo sviluppo di prodotti o servizi commercialmente validi a partire da idee creative. In Artz et al. 2010 l'invenzione è quantificata dal numero di brevetti concessi mentre l'innovazione è valutata dal numero di annunci di nuovi prodotti. Inoltre, viene evidenziato come molte invenzioni alla fine si traducano in innovazioni commerciabili. Questo perché i brevetti possono fornire la protezione per nuovi prodotti. Infine, viene studiata la capacità di un'impresa di beneficiare delle sue invenzioni e innovazioni esaminando i loro effetti separati sulla performance dell'impresa, misurati come ritorno sugli asset (ROA) e crescita delle vendite.

Nel lavoro proposto in Artz et al. 2010 viene concluso inoltre che la spesa in R&D è positivamente correlata al numero di brevetti registrati dalle aziende in analisi. Tale risultato è inoltre coerente con altri che sostengono che le capacità di ricerca interna, in particolare quelle con una forte componente di ricerca di base, siano la chiave per consentire a un'azienda di generare risultati creativi. Tuttavia è stata trovata una relazione negativa tra il numero di brevetti e sia il ROA che la crescita delle vendite mostrando quindi una situazione inaspettata. A tale riguardo gli autori sostengono che tale fenomeno sia tuttavia intrigante, mettendo in discussione il valore dei brevetti registrati come meccanismi di protezione.

3.1 PMI e Industria 4.0

Grazie alle tecnologie dell'Industria 4.0, le piccole e medie imprese hanno una grande opportunità per aumentare la loro competitività. Tuttavia, non tutte sono in grado di implementare tecnologie moderne per realizzare la trasformazione digitale. Il confronto tra grandi e piccole medie imprese studiato in Pech e Vrchota 2020 dimostra che le PMI hanno un livello inferiore di implementazione di tecnologie di Industria 4.0. Ciò conferma l'ipotesi che le grandi imprese abbiano, a causa degli elevati requisiti di capitale, maggiori opportunità di utilizzare le nuove tecnologie e trasformarle in fabbriche intelligenti. Tuttavia, questa situazione potrebbe cambiare in futuro se tali tecnologie diventeranno più accessibili e più appetibili in termini di ritorno sull'investimento. In Pech e Vrchota 2020 sono state inoltre classificate le piccole e medie imprese in base alla loro attitudine a sviluppare tecnologie in ambito Industria 4.0. Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi di clustering, le PMI vengono divise in quattro diversi gruppi, a seconda del livello di implementazione dell'Industria 4.0: (i) le PMI di livello "top" cioè le migliori in ambito di I4.0 che rappresentano però il gruppo meno numeroso; (ii) le imprese di tipo "start" che hanno introdotto da poco questo tipo di tecnologie, come i sensori (IoT), le infrastrutture IT e la digitalizzazione dei processi industriali per la raccolta dei dati (cloud, analisi dei dati e sistemi informativi); (iii) le "novelle"; (iv) le PMI

ancora in evoluzione.

Inoltre, viene evidenziato come le PMI spesso non hanno molte conoscenze per attuare la digitalizzazione delle loro attività; tuttavia, nella situazione attuale (pandemia di coronavirus), sono costretti a utilizzare l'home office e l'orario di lavoro ridotto. Le nuove tecnologie dell'Industria 4.0 possono aiutarli con questa sfida attuale.

Il lavoro proposto in Trappey et al. 2017 evidenzia inoltre la necessità di adottare standard comuni nel processo di digitalizzazione industriale. Questo porterebbe una grande semplificazione nel processo di adozione di tecnologie I4.0 sia per le PMI ma non solo. Tuttavia, viene anche sollevato che la definizione stessa di uno standard completo per l'Industria 4.0 necessiterà di almeno un ulteriore decennio per essere ultimata e ciò potrebbe scoraggiare ulteriormente le PMI a causa degli ingenti investimenti necessari per completare il processo di transizione al digitale.

3.2 Dalle PMI alle Grandi Imprese

Le grandi imprese, avendo ingenti facoltà di investire in innovazione, sono le prime a poter usufruire dei benefici dell'I4.0 Pech e Vrchota 2020. Recenti studi hanno analizzato diversi aspetti che investimenti in I4.0 portano alle grandi imprese (Benassi, Grinza e Rentocchini 2019; Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. 2020).

Nello specifico, in Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. 2020 viene analizzato lo storico dei brevetti registrati sul suolo europeo delle imprese con più di 250 dipendenti. Il numero di brevetti relativi a tecnologie di Industria 4.0 viene utilizzato come indicatore del livello di innovazione delle singole imprese. Tramite modelli econometrici viene quindi studiato l'impatto di tali investimenti in Industria 4.0 sulle performance dell'impresa. La performance dell'impresa viene misurata in termini di produttività e profittabilità. La produttività viene a sua volta studiata misurando gli impatti degli investimenti su "Labour Productivity" e "Total Factor Productivity". Invece, il ritorno sugli investimenti (ROI) viene utilizzato come indicatore di profittabilità. I risultati di questo lavoro suggeriscono che lo sviluppo di tecnologie I4.0 aumenti effettivamente la produttività e l'efficienza del processo produttivo. Tuttavia, non sono stati trovati legami con la profittabilità, servirebbero infatti più anni prima che gli investimenti diventino redditizi e nonostante le alte aspettative, la domanda di tali tecnologie sul mercato non è ancora decollata. Viene individuato inoltre un "boost effect" in termini di produttività per le imprese che sviluppano implementano per la prima volta tecnologie I4.0 probabilmente perché i primi brevetti raccolgono conoscenza avanzata che l'impresa ha accumulato negli ultimi periodi. Mentre tale effetto si riduce nei periodi successivi indicando che le curve di apprendimento I4.0 risultano molto difficili da scalare. Infine, si dimostra come il "timing of entry" sia rilevante quando emerge una nuova traiettoria tecnologica e quindi i "late innovators", che prima di innovare osservano le strategie dei concorrenti, possono beneficiare dalla strategia "wait and see" perché talvolta i cambiamenti sulla traiettoria sono rapidi.

In Benassi, Grinza e Rentocchini 2019 vengono invece investigati i trend tecnologici, la distribuzione geografica e le dinamiche a livello di business analizzando le registrazioni dei brevetti in ambito I4.0. Questo lavoro analizza i trend di investimento nel tempo per tipologia tecnologica di brevetto e sviluppa modelli di distribuzione geografica di aziende che sviluppano brevetti I4.0. Inoltre, vengono individuati e studiati gruppi di aziende tra loro correlate in termini di livello specializzazione tecnologica, dimensione e di intensità dei brevetti Industria 4.0 (ovvero la quota di brevetti I4.0 sul totale) tramite un'analisi di clustering. Nel complesso, viene dimostrato che le domande di brevetto I4.0 sono aumentate in modo significativo negli ultimi anni, in particolare quelle relative ad hardware e connettività. La maggior parte delle aziende è specializzata in un particolare dominio e solo alcune di esse si differenziano su più campi tecnologici. Dal punto di vista geografico, le società con sede negli Stati Uniti rappresentano circa il 30% delle domande I4.0 totali. Tuttavia, la Cina primeggia se si prende in considerazione l'intensità dei brevetti. Allo stesso tempo emergono nuovi paesi, come ad esempio Taiwan, ad esempio, che stanno avendo e avranno un ruolo fondamentale in specifici settori tecnologici. Inoltre emerge come le giovani aziende siano state in grado di entrare con successo nel mercato. Tuttavia, questo lavoro si concentra su un'analisi descrittiva della situazione attuale offrendo una precisa comprensione della situazione attuale e pertanto non vengono esplorate le cause e le conseguenze di tale sviluppo di brevetti I4.0.

Capitolo 4

Background e Domanda di Ricerca

Nel seguente capitolo verrà chiarito nel dettaglio l'obiettivo di questo lavoro di tesi e l'importanza del focus rappresentato dai brevetti che vengono registrati in ambito Industria 4.0.

4.1 Domanda di ricerca

Lavori recenti Benassi, Grinza e Rentocchini [2019](#); Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. [2020](#) si sono concentrati nello studio dell'impatto che lo sviluppo di tecnologia di Industria 4.0 ha avuto sulle performance delle imprese e sulla caratterizzazione della loro adozione. Tuttavia, lo studio degli effetti di I4.0 rappresenta un'area ancora poco esplorata in letteratura.

In Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. [2020](#) è stato trovato come lo sviluppo delle tecnologie I4.0 sia significativo per la produttività delle imprese ma non per la redditività. Infatti, viene dimostrato come la produttività possa aumentare in seguito all'adozione di tecnologie Industria 4.0 mirate all'incremento di efficienza produttiva. Oppure, l'adozione delle stesse può essere correlata all'aumento dei ricavi generati dall'output che incorpora le tecnologie I4.0. Inoltre, viene mostrato come le imprese capitalizzino di più sulla produttività quando sviluppano le tecnologie I4.0 per la prima volta individuando quindi un "effetto boost". Infine, viene evidenziato come le strategie "wait and see" consentano alle imprese di scegliere quando implementare l'innovazione tecnologica aspettando che questa sia stabile ed efficiente, evitando grandi investimenti azzardati.

In Benassi, Grinza e Rentocchini [2019](#) si dimostra invece come le domande di brevetti I4.0 siano aumentate in modo significativo negli ultimi anni e vengono analizzate le richieste sia a livello geografico, che a livello di settori industriali. Con questa analisi si dimostra come il numero medio di brevetti per azienda sia aumentato in modo significativo, suggerendo che l'impennata dell'attività di brevetto I4.0 si sia verificata principalmente all'interno delle imprese.

Dai risultati di questi elaborati scientifici di natura strettamente correlata allo studio dei brevetti rilasciati in Europa in ambito di Industria 4.0, deriva la domanda di ricerca presentata in questo elaborato di tesi. La zona di interesse, in gran parte inesplorata e a favore dell'adozione di queste tecnologie e dei conseguenti effetti, riguarda lo studio dell'impatto che investimenti in ambito di Industria 4.0 hanno sulla crescita delle imprese, misurata tramite variabili e indici economici.

Come emerso dai lavori precedenti è molto complesso quantificare l'ammontare degli investimenti effettuati dalle singole imprese in ambito Industry 4.0. Tuttavia è stato dimostrato come l'utilizzo dei brevetti come variabile di controllo per il livello di innovazione sia stato efficace in diversi lavori allo stato dell'arte Artz et al. 2010; Benassi, Grinza e Rentocchini 2019; Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. 2020; Pech e Vrchota 2020 in quanto rappresentano un ottimo indicatore della creazione di conoscenza e dell'introduzione di innovazione delle imprese Trajtenberg 1987.

Diversamente dai lavori precedenti, tuttavia, in questo lavoro si è deciso di adottare una quantificazione relativa del numero di brevetti I4.0 registrati denominata "Intensity 4.0". Tale denominazione deriva dalla definizione dell'indicatore. L'Intensity 4.0 viene infatti calcolata per ogni impresa come rapporto tra brevetti specifici dell'Industria 4.0 e totale di brevetti registrati. In pratica questo nuovo indicatore misura con quale intensità un'impresa si è dedicata allo sviluppo di tecnologie I4.0.

Per determinare la crescita delle imprese nel tempo invece sono stati considerati indicatori economici come crescita percentuale di revenues, profit, numero di employees, added value e Return On Investment (ROI). Le imprese vengono quindi caratterizzate tramite i corrispondenti valori di crescita percentuale. Tramite questi indicatori di crescita derivati è quindi possibile studiare i singoli effetti e analizzare diversi aspetti di crescita. Lo studio di più fattori di crescita permette inoltre di avere una visione più completa degli impatti economici.

Pertanto, questo lavoro di tesi mira a rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- Esiste una relazione significativa tra intensità di investimenti in I4.0 e la crescita di un'impresa?
- Esistono dei settori industriali in cui gli effetti degli investimenti sulla crescita sono più evidenti?
- Il "boost effect" delle aziende più giovani, individuato dai lavori precedenti, trova un riscontro positivo anche sulla crescita delle imprese nel tempo oltre che sulle performance?

Oltre a considerare i brevetti relativi all'Industry 4.0 nella loro generalità, è possibile studiare gli effetti che diversi paradigmi tecnologici hanno sui fattori di crescita in esame. Infatti, come evidenziato in Benassi, Grinza e Rentocchini 2019; Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. 2020 i brevetti I4.0 sono suddivisibili in tre sottocategorie rilevanti. Si parla infatti di tecnologie core, application e enabling. Queste tre famiglie

tecnologiche hanno caratteristiche ed effetti molto diversi sul mercato e sui costi per le imprese. Pertanto è necessario studiare separatamente per ognuno di essi l'effetto sui parametri di crescita. Per fare ciò, la definizione di "Intensity 4.0" verrà applicata ad ogni paradigma separatamente. I dettagli relativi ai diversi paradigmi tecnologici verranno spiegati nel dettaglio nei capitoli successivi.

4.2 Brevetti

Relativamente all'utilizzo di brevetti come meccanismi di protezione esiste un'ampia letteratura. Il brevetto è infatti l'approccio tradizionale con cui un'azienda, che ha sviluppato una nuova invenzione, può cercare di evitare l'imitazione. Si tratta di un documento legale con il quale un'agenzia governativa, dopo aver esaminato con successo una domanda di brevetto che descrive l'invenzione, concede diritti monopolistici al richiedente per produrre e vendere l'invenzione in un periodo di tempo predeterminato.

Innanzitutto, l'azienda o l'ente che intende registrare un'invenzione presso l'ufficio brevetti della zona geografica interessata, deve procedere con la domanda di brevetto. La domanda di brevetto contiene una descrizione tecnico-funzionale e un resoconto dettagliato dello stato dell'arte rilevante sulla tecnica anteriore pertinente al fine di evidenziare la novità dell'invenzione. In Cantamessa e Montagna [2016](#) si parla inoltre di "claims" nonché rivendicazioni. Le rivendicazioni sono la parte più importante del brevetto, poiché rappresentano i confini legali di ciò che esattamente sarà coperto da diritti monopolistici che solo un brevetto concesso può garantire. Pertanto solo gli elementi approvati che sono contenuti nelle rivendicazioni possono essere tutelate da diritti di monopolio, mentre tutto il resto può essere liberamente imitato dai competitors. È importante trovare infatti il giusto trade-off di disclosure tra ciò che è importante descrivere per essere protetti da imitazione dei competitors e ciò che invece va preservato in funzione di scoperte future.

Affinché un brevetto possa essere rilasciato dall'Ufficio Brevetti, l'invenzione deve soddisfare una serie di criteri, che possono variare leggermente da paese a paese. I requisiti sono i seguenti: (i) l'innovazione deve essere brevettabile. Non è consentito brevettare software, metodi aziendali o una legge della natura legata a forme di vita, mentre è possibile brevettare un dispositivo meccanico complesso. (ii) il brevetto, in quanto novità, deve contenere un'invenzione. Pertanto, un brevetto di successo richiede il mantenimento di un alto grado di riservatezza durante lo sviluppo dell'invenzione. Quando un inventore deve interagire con un'altra parte prima di depositare una domanda di brevetto, chiederà sempre di firmare un accordo di non divulgazione. Questo documento legale non solo vincola l'altra parte alla riservatezza, ma costituisce la prova che la natura di questo scambio di conoscenze non è pubblica e non può essere considerata un impedimento per una futura attività di brevettazione. (iii) non ovvietà. L'invenzione deve rappresentare un miglioramento sufficientemente marcato rispetto

alla tecnica nota. (iv) utilità. L'interpretazione di questo requisito è legato alla zona geografica. L'obiettivo è quello di evitare brevetti il cui scopo poco utile allo stato dell'arte in questione o addirittura oggetto di fantasia. Il brevetto deve essere utile per risolvere un problema e deve funzionare nella pratica. Ad esempio, nell'Unione Europea, il requisito richiede che l'invenzione sia suscettibile di applicazione industriale.

I brevetti hanno un ruolo chiave a livello sociale in quanto, se non esistessero, non ci sarebbe alcun incentivo per i singoli e per le imprese a investire nello sviluppo tecnologico. Infatti, non sarebbe razionale perseguire alcuno sforzo di ricerca e sviluppo sapendo che, dopo aver sostenuto i relativi costi e rischi, i competitors potrebbero imitare l'invenzione e togliere il vantaggio competitivo all'impresa, senza nemmeno sostenere gli investimenti ingenti richiesti.

Capitolo 5

Dati e Metodologia

5.1 Dataset

I dati utilizzati in questo lavoro di tesi sono stati estratti da ORBIS-IP e successivamente rielaborati in Benassi, Grinza e Rentocchini [2019](#) e Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. [2020](#). ORBIS-IP è un ampio dataset, fornito dal Bureau Van Dijk, di informazioni brevettuali su 110 milioni di società corporate del settore privato. Inoltre, ORBIS-IP include informazioni di bilancio, numero di dipendenti, anno di costituzione dell'azienda, settore di attività economica e ubicazione. Le società hanno sede in Stati Uniti, Germania, Giappone, Italia, Regno Unito, Corea del Sud, Francia, Belgio, Svezia, Finlandia, Spagna, Paesi Bassi, Cina e Austria. In particolare, la quota parte di aziende considerate nel database analizzato in questo lavoro di tesi, riguarda le grandi imprese che hanno sottoscritto dal 2009 al 2014 almeno un brevetto in ambito Industry 4.0 presso l'European Patent Office (EPO). Si tratta di grandi imprese che, come definito dall'Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), hanno più di 250 dipendenti.

La rielaborazione effettuata nel lavoro di Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. [2020](#) prevede una ricostruzione della storia brevettuale delle imprese in esame dal 1985, in modo da tenere traccia dello stock di brevetti che non riguardano l'I4.0 e avere una misura più precisa del grado di sviluppo delle capacità tecnologiche legate alle innovazioni in questo ambito. Le osservazioni vanno dal 2009 al 2014 in quanto le informazioni a livello finanziario necessarie per costruire gli indici economici rilevanti sono disponibili solo dal 2009. Inoltre, è stato selezionato il 2014 come ultimo anno di osservazione per evitare problemi di troncamento dovuti all'eventuale ritardo tra domanda e pubblicazione del brevetto.

Ogni azienda del dataset è accorpata alla struttura proprietaria e identificata in modo univoco come "Global Ultimate Owner" (GUO) in base cioè al proprietario finale di un'impresa. Raggruppare le imprese appartenenti allo stesso gruppo societario ha consentito di tenere conto esplicitamente degli eventuali effetti sinergici derivanti dalle dinamiche di gruppo. Il dataset utilizzato per questo lavoro di tesi contiene quindi 1386

imprese che hanno sottoscritto almeno un brevetto in Industry 4.0 tra il 2009 e il 2014. In media, per ogni anno, 1142 compagnie hanno sottoscritto brevetti.

Dopo la rielaborazione del dataset originale, esso presenta nuove caratteristiche. In Tabella 5.1 viene riportato il numero di osservazioni presenti nel dataset separatamente per ogni nazione. Le nazioni più rappresentate, e quindi quelle maggiormente attive nel deposito di brevetti nel periodo in esame, sono America, Giappone e Germania. Inoltre, tabella 5.2 mostra i settori industriali presi in considerazione in questa analisi. Le imprese in esame sono per la maggior parte appartenenti al settore manifatturiero con più di 5000 osservazioni comprese tra il 2009 e il 2014 e rappresentano quasi il 77% dell'intero dataset. Il secondo settore più rappresentato è invece quello dell'informazione e della comunicazione che tuttavia rappresenta l'8% dell'intero dataset. Infine, figura 5.1 mostra come si distribuiscono le imprese per età. Come è possibile notare la maggior parte delle compagnie ha meno di 100 anni, mentre alcune compagnie più storiche arrivano fino a più di 300. Mentre, il più elevato numero di aziende ha tra i 15 e 60 anni. Le imprese in media non sono giovani (50 anni), ma circa il 25% ha meno di 20 anni. Tutte queste caratteristiche permettono di evidenziare come i dati in analisi siano piuttosto eterogeni.

Tabella 5.1. Numero di osservazioni nel dataset per nazione.

	Nazione	Freq.	Percent	Cum.
1	AT	48	0.70	0.70
2	BE	173	2.53	3.23
3	CN	54	0.79	4.01
4	DE	1,498	21.87	25.88
5	ES	89	1.30	27.18
6	FI	146	2.13	29.31
7	FR	284	4.15	33.46
8	GB	347	5.07	38.53
9	IT	545	7.96	46.48
10	JP	1,262	18.42	64.91
11	KR	295	4.31	69.21
12	NL	66	0.96	70.18
13	SE	149	2.18	72.35
14	US	1,894	27.65	100.00
	Total	6,850	100.00	

Patent Industry 4.0: Core, Enabling, Application Il dataset contiene informazioni relative ai patent in generale, ai patent relative all'industria 4.0 e suddivide inoltre gli ultimi in tre sotto-categorie: Core, Enabling e Application.

Nel metodo di classificazione dell'EPO, i brevetti relativi a Industry 4.0 possono infatti distinguersi secondo tre domini tecnologici. Le tecnologie di tipo Core consentono

Tabella 5.2. Numero di osservazioni nel dataset per settore industriale.

	Settore Industriale	Freq.	Percent.	Cum.
1	ADMINISTRATIVE AND SUPPORT SERVICE ACTI	65	0.95	0.95
2	ARTS, ENTERTAINMENT AND RECREATION	16	0.23	1.18
3	CONSTRUCTION	75	1.09	2.28
4	EDUCATION	6	0.09	2.36
5	ELECTRICITY, GAS, STEAM AND AIR CONDITI	100	1.46	3.82
6	FINANCIAL AND INSURANCE ACTIVITIES	32	0.47	4.29
7	HUMAN HEALTH AND SOCIAL WORK ACTIVITIES	30	0.44	4.73
8	INFORMATION AND COMMUNICATION	567	8.28	13.01
9	MANUFACTURING	5,259	76.77	89.78
10	OTHER SERVICE ACTIVITIES	12	0.18	89.96
11	PROFESSIONAL, SCIENTIFIC AND TECHNICAL	299	4.36	94.32
12	PUBLIC ADMINISTRATION AND DEFENCE; COMP	6	0.09	94.41
13	REAL ESTATE ACTIVITIES	3	0.04	94.45
14	TRANSPORTATION AND STORAGE	92	1.34	95.80
15	WATER SUPPLY; SEWERAGE, WASTE MANAGEMEN	2	0.03	95.82
16	WHOLESALE AND RETAIL TRADE; REPAIR OF M	286	4.18	100.00
	Totale	6,850	100.00	

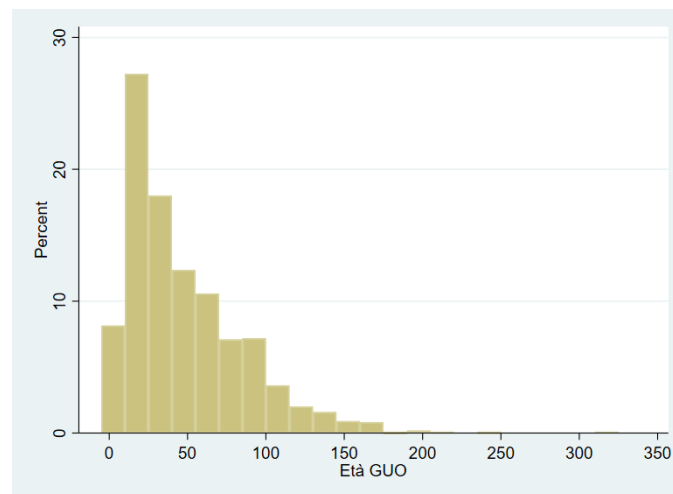


Figura 5.1. Distribuzione dell'età delle GUO prese in esame.

di trasformare qualsiasi oggetto in un dispositivo smart connesso a internet. Sono rappresentate da hardware e software incorporati in oggetti connessi tra loro, al fine di raccogliere e trasferire dati, ad esempio le reti 5G, i sensori di rete e le frequenze radio ID. Le tecnologie di tipo Enabling sono utilizzate in combinazione con oggetti connessi

e servono per raccogliere, archiviare e analizzare i dati. Si tratta di Artificial Intelligence nel senso più stretto del termine, Position Determination, Cloud Computing e Smart Manufacturing. Infine, le tecnologie di tipo Application si riferiscono all'area in cui possono essere applicati gli oggetti connessi come smart health, smart home e smart manufacturing. La classificazione delle tecnologie relative all'Industry 4.0 prevista secondo i brevetti registrati all'EPO non è esclusiva. Un brevetto I4.0 può infatti essere classificato non solo con un dominio di tecnologia, ma anche mediante combinazioni di più di un tipo di tecnologia.

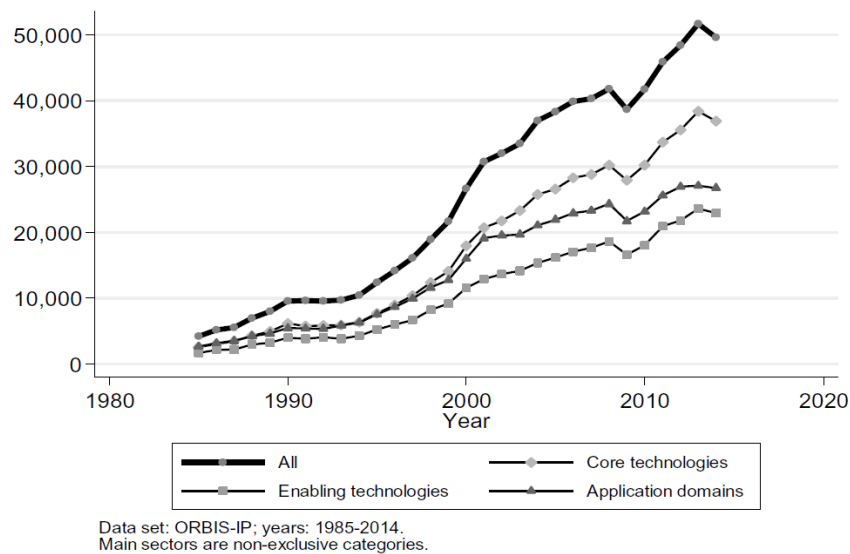


Figura 5.2. Trend del numero di patent I4.0 depositati per categorie non esclusive. Fonte Benassi, Grinza e Rentocchini 2019.

In figura 5.2 vengono riportati i trend di crescita delle applicazioni effettuate nel periodo che va dal 1985 al 2014.

Dalla figura è possibile notare come in generale il numero di depositi presso l'EPO di brevetti legati all' Industria 4.0 sia cresciuto in modo significativo. Infatti, si è passati da un numero intorno ai 5000 brevetti depositati nel 1985 a più di 50000 nel 2013. Inoltre, secondo Benassi, Grinza e Rentocchini 2019 la crescita di brevetti I4.0 è stata superiore più di più di due volte rispetto ai depositi di brevetti complessivi, dimostrando come queste nuove tecnologie abbiano ricevuto notevoli investimenti negli ultimi anni. Inoltre, le domande di brevetto I4.0 rappresentavano circa il 13% delle domande di brevetto totali nel 1985, mentre nel 2014 questa percentuale è aumentata a circa il 33%. Allo stesso modo, questo tasso di crescita è stato seguito dalle applicazioni di brevetti legati alle diverse categorie. Si può notare anche come la somma del numero di applicazioni effettuate per i brevetti divisi per categoria non sia uguale al totale delle applicazioni. Infatti, come precedentemente accennato, le sotto-categorie Core, Enabling e Application non sono esclusive.

Per analizzare l'evoluzione dei brevetti esclusivamente appartenenti ad una sola categoria bisogna osservare figura 5.3. Dalla figura si nota come le tecnologie Core siano quelle che hanno ricevuto uno sviluppo più evidente, rispetto invece alle tecnologie Application che evidenziano un trend più stazionario a partire dagli anni 2000. Invece le tecnologie Enabling mostrano una crescita meno dirompente delle altre due. Si può presumere che questo fenomeno sia tuttavia legato alla natura stessa delle tecnologie Enabling. Infatti, per definizione esse rappresentano tecnologie in grado sviluppare un'innovazione radicale. Nel programma europeo di investimenti "Horizon 2020" ad esempio vengono indicate come tecnologie Enabling le nanotecnologie, biotecnologie e le tecnologie in ambito di sviluppo sostenibile Union [n.d.](#) Lo sviluppo in questi settori richiede notevoli investimenti ed è molto difficile ottenere sviluppi velocemente commercializzabili e/o applicabili. Pertanto la loro crescita rimane limitata rispetto alle altre due categorie.

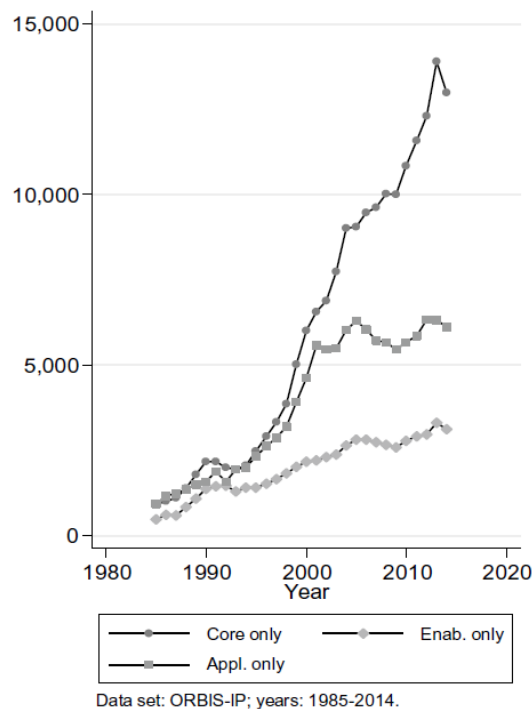


Figura 5.3. Trend del numero di patent I4.0 depositati per categorie esclusive. Fonte Benassi, Grinza e Rentocchini [2019](#).

5.2 Metodologia di Analisi

In questo lavoro di tesi vengono utilizzate tecniche di analisi econometrica per rispondere alle domande di ricerca presentate nel capitolo precedente.

L'econometria è comunemente conosciuta come l'applicazione di metodi statistici a dati economici. Il fine è quello di estrapolare conoscenza rispetto ai dati economici osservati. In particolare, l'econometria viene definita come "l'analisi quantitativa dei fenomeni economici effettivi basata sullo sviluppo simultaneo di teoria e osservazione, collegati da appropriati metodi di inferenza". Uno degli strumenti più utilizzati in tale ambito è la regressione multipla. Tale strumento viene utilizzato in questo lavoro per elaborare i dati economici presentati nelle sezioni precedenti. In Stock e Watson 2015 viene evidenziato come la regressione multipla sia uno strumento molto potente che permette di controllare l'effetto delle variabili per le quali si possiedono i dati. In questo lavoro vengono presi in considerazione diversi modelli che misurano diversi effetti sulla crescita delle imprese. Tutti i modelli seguono inoltre la seguente formulazione generale:

$$Growth_{it} = \alpha + \beta Intensity4.0_{it} + \gamma X_{it} + \epsilon_{it} \quad (5.1)$$

La variabile dipendente $Growth_{it}$ viene studiata separatamente per crescita di *Revenues*, *Profit*, *Employees*, *Added Value* e *Return On Investment (ROI)*. Questa variabile rappresenta la crescita corrispondente alla GUO i -esima al tempo t . Il coefficiente α rappresenta invece il parametro costante del modello di regressione. La variabile $Intensity4.0_{it}$ rappresenta invece la concentrazione di brevetti relativi all'I4.0 rispetto al totale dei brevetti depositati dalla GUO i -esima al tempo t . Tale variabile viene anche studiata suddividendo i suoi effetti tra le tre principali componenti Core, Enabling ed Application. Il vettore X_{it} descrive invece alcune delle caratteristiche principali di ogni GUO in esame. Inoltre, il vettore include una serie di controlli sui moderating effects che potrebbero inficiare sulla qualità dei risultati ottenuti. Infine, il termine ϵ_{it} rappresenta l'errore del modello di regressione. Le variabili appena introdotte verranno descritte nel dettaglio nei paragrafi successivi.

Il dataset preso in analisi contiene una struttura di dati detta *panel*. Infatti, il termine dati panel si riferisce a dati relativi a entità diverse, ognuna osservata in più periodi temporali. Nel dataset in analisi il numero di entità di imprese è pari a 1386, dove ogni entità è osservata per un periodo di anni che va dal 2009 al 2014. Inoltre il nostro panel di dati è sbilanciato in quanto per ogni GUO non tutti gli anni sono osservati. Per analizzare i dati panel viene sfruttato un modello ad effetti fissi. Tale modello di analisi permette di tenere conto degli effetti non osservati delle aziende che non variano nel tempo.

Variabili Dipendenti Questo lavoro di tesi si concentra sull'analisi degli effetti che l'Intensity 4.0 ha sulla crescita delle imprese. Per studiare gli effetti di tale fenomeno sulla crescita, diversi fattori economici sono stati presi in considerazione. La crescita di una compagnia è stata misurata in termini di:

- *Revenues*: definite come i ricavi cioè il reddito che un'entità ottiene dalle sue normali attività operative.
- *Profit*: il profitto, la differenza tra le entrate che un'azienda ha ricevuto dai suoi output e i costi sostenuti.
- *Employees*: numero di dipendenti.
- *Added Value*: il valore aggiunto, la differenza tra il prezzo di vendita di un prodotto e il costo dei materiali e dei componenti acquistati per produrlo.
- *Return On Investment (ROI)*: ritorno sugli investimenti. Si tratta di un indice economico che misura la prestazione di un investimento.

Ogni fattore economico elencato è riportato nel dataset per ogni impresa in un range di anni compreso tra il 2009 e il 2014. Per convertire il valore puntuale di ogni parametro nel suo corrispondente fattore di crescita percentuale la seguente formula è stata applicata:

$$G(t) = \frac{v(t) - v(t-1)}{v(t-1)} \quad (5.2)$$

Nella formulazione t rappresenta l'anno in analisi, v è il valore corrispondente alla metrica in esame e il risultato $G(t)$ rappresenta il fattore di crescita corrispondente. La variabile $G(t)$ è stata calcolata per ogni fattore economico, ottenendo così cinque nuove variabili:

- *Percentuale di Revenues Growth*
- *Percentuale di Profit Growth*
- *Percentuale di Employees Growth*
- *Percentuale di Added Value Growth*
- *Percentuale di Return On Investment (ROI) Growth*

Queste nuove misurazione vengo utilizzate in questo lavoro come variabili dipendenti $Growth_{it}$ nel modello generale. In questo modo è possibile misurare su diversi fattori, l'impatto che hanno avuto investimenti in ambito di industria 4.0. In tabella 5.3 vengono riportate le statistiche descrittive per quanto riguarda le variabili dipendenti. In media, tutti i fattori economici analizzati mostrano valori leggermente positivi anche se con ampie variazioni considerando i valori di deviazione standard osservati. Inoltre si osservano anche casi in cui la crescita o decrescita assumono valori fino a due ordini di grandezza superiori rispetto all'anno precedente.

Tabella 5.3. Statistiche descrittive per le variabili dipendenti.

Variable	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Revenues G.	.086	.557	-.529	23.347
Profit G.	.034	1.993	-13.851	16.841
Employees G.	.053	.353	-.576	9.305
Added Value G.	.114	8.878	-345.65	282.627
ROI G.	.050	7.421	-137.205	270.889

Variabili indipendenti relative ai patent. L'obiettivo principale di questo lavoro è studiare gli effetti che investimenti in ambito I4.0 hanno avuto sulla crescita delle imprese. La variabile Intesity 4.0 viene utilizzata come *proxy* per valutare quantitativamente gli investimenti effettuati in tale ambito. L'Intensity4.0 è calcolata per ogni impresa come:

$$Intensity4.0_{it} = \frac{\#_brevetti4.0_{it}}{\#_totale_brevetti_{it}} \quad (5.3)$$

Quindi tale variabile rappresenta la quantità percentuale di brevetti I4.0 depositati fino all'anno t rispetto al totale. Inoltre, per considerare il depreciation dei brevetti nel tempo, è stata considerata la quantità deflazionata del numero di brevetti con rapporto costante di depreciation di 0.15.

La variabile $Intensity4.0_{it}$ non permette di studiare gli effetti di ogni singola categoria Core, Enabling e Application. Pertanto, tale variabile viene sostituita con tre valori separati di Intensity, una per ogni famiglia tecnologica. Per ogni tipologia di crescita vengono studiati due modelli separati: il primo rispettivamente a $Intensity4.0_{it}$ e il secondo per $Intensity4.0_Core_{it}$, $Intensity4.0_Enabling_{it}$ e $Intensity4.0_Application_{it}$. Questa separazione è necessaria in quanto abbiamo già osservato in figura 5.2 come le diverse tecnologie abbiano caratteristiche molto differenti tra loro. Tali differenze si possono rispecchiare su diversi tipi di crescita.

Altre variabili indipendenti. Per evidenziare gli effetti dell'Intensity4.0 sulla crescita è necessario rimuovere tutti i moderating effects non rilevanti. Per rimuovere tali effetti dai diversi modelli analizzati sono state aggiunte una serie di variabili. I moderating effects considerati in questa analisi includono:

- Le dimensioni dell'azienda in termini di Employees e di Revenues. Le Revenues e gli Employees vengono trasformati tramite logaritmo per ridurre la loro variabilità. Inoltre, gli Employess sono stati categorizzati per permettere lo studio di diverse interazioni.
- L' Industry in cui opera l'azienda.
- La Country in cui opera l'azienda.

- L'Application Date che rappresenta l'anno in cui è stato depositato il brevetto.
- Le interazioni tra Application Date e Industry, Country e categoria di Employees.

Il controllo di tali tendenze è necessario. Infatti potrebbero esserci tendenze temporali nelle crescite aziendali e nello sviluppo di tecnologie I4.0 che andrebbero a sporcare gli effetti misurati dai brevetti. Inoltre, siccome viene studiata la crescita delle GUO nel tempo, anche moderating effects legati ad effetti fissi di Revenues, Profit, Added Value e ROI sono tenuti in considerazione e analizzati.

Capitolo 6

Analisi e Risultati

6.1 Risultati principali

In tabella 6.1 vengono riportati i risultati delle analisi effettuate studiando gli effetti dell'Intensity 4.0 sulla crescita di Revenues, Profit, Employees, Added Value e ROI. Nell'analisi sono state inserite variabili di controllo al fine di minimizzare gli effetti non di interesse ai fini dell'analisi che potrebbero portare ad un risultato erraneo. Gli effetti controllati dalle suddette variabili sono: Application Date, Employees (cat.), Country (cat.), Industry (cat.) e le interazioni di Country (cat.)#Application Date, Industry (cat.)#Application Date e Employees (cat.)#Application Date.

Dalla tabella 6.1 si nota che a livello generale, a prescindere dal settore di appartenenza dell'impresa o dal paese in cui opera, la variabile Intensity 4.0 non ha impatto significativamente positivo sulla crescita di Revenues, Profits, Employees, Added Value o ROI. L'unica evidenza riscontrata all'interno di questa analisi econometrica, è che l'impatto dell'Intensity 4.0 risulta essere negativamente significativo sulla crescita del numero di employees. Tale risultato viene tuttavia spiegato da studi recenti come in for Internal Policies of the Union. 2016. Da uno studio della Boston Consulting Group emerge che l'avanzamento tecnologico e l'automazione hanno effettivamente portato a una riduzione del numero degli employees all'interno delle imprese. Questo perché l'Industria 4.0 porta inevitabilmente a cambiamenti significativi sulle competenze richieste ai lavoratori di oggi e sulle metodologie del lavoro stesso. Inoltre, secondo Wetzels for Internal Policies of the Union. 2016, il presidente dell'IG Metall, una federazione sindacale tedesca che rappresenta i lavoratori del settore metalmeccanico, l'imminente rivoluzione digitale comporta il rischio di una "forte densità di prestazioni e nuovi modi per monitorare e misurare le prestazioni". L'economia potrebbe diventare sempre più dipendente da nuove e più flessibili forme di lavoro come i "click worker" e i "cloud worker". Nel peggiore dei casi, Wetzels ha previsto una massiccia riduzione dei dipendenti. L'Industria 4.0 richiede anche capacità manageriali per essere in grado di rivedere l'organizzazione imprenditoriale nel suo insieme ed essere in grado di comprendere il

settore, la correlazione tra produzione e processo in termini di value chain. Non si tratta perciò solo di formare un “lavoratore digitale”.

Tabella 6.1. Modello principale dell’impatto di Intensity 4.0 su crescita di Revenues, Profit, Employees, Value Added e Return On Investment. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014).

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Revenues Total (ln)	0.713*** (0.105)				
Intensity 4.0	-0.055 (0.058)	-0.627 (0.558)	-0.089** (0.040)	3.199 (2.536)	1.742 (1.301)
Patents Overall Stock Tot. (ln)	0.106** (0.043)	0.221 (0.217)	0.034 (0.046)	-1.260* (0.764)	0.400 (0.723)
Profit After Tax (ln)		1.048*** (0.097)			
Productivity (ln)		-0.250 (0.439)	-0.145** (0.073)	1.314 (2.876)	-0.995 (1.064)
Age	-0.054 (0.036)	0.178 (0.243)	0.019 (0.021)	-2.027 (1.306)	0.862 (1.061)
Employees Total (ln)	-0.258** (0.123)	-0.829 (0.509)	0.486*** (0.059)	-4.086* (2.236)	-3.161** (1.351)
Tangibility	0.127* (0.070)	-1.164* (0.612)	0.023 (0.042)	3.810 (2.932)	0.742 (3.225)
Added Value Total (ln)				4.758** (2.232)	
ROI					8.090*** (2.740)
Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Employees (cat.)	yes	yes	yes	yes	yes
Country (cat.)	yes	yes	yes	yes	yes
Industry (cat.)	yes	yes	yes	yes	yes
Country (cat.)#Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Industry (cat.)#Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Employees (cat.)#Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Constant	-4.082** (2.005)	-10.376 (12.953)	-1.948* (1.120)	65.938 (50.204)	-3.579 (52.530)
Observations	5,460	3,805	5,460	3,283	5,460
R-squared	0.406	0.209	0.459	0.133	0.020
Number of guo_id_cat	1,386	1,276	1,386	966	1,386

Robust standard errors in parentheses

*** p0.01, ** p0.05, * p0.1

6.1.1 Crescita delle revenues

In prima ipotesi, ci si aspetta che investimenti in Industria 4.0 abbiano degli effetti positivi sulla crescita del fatturato di un’impresa. Vista la mancanza di un impatto significativo della variabile Intensity 4.0 sulla crescita delle revenues, ci si interroga su un eventuale impatto differenziato sulle imprese con andamento crescente o decrescente delle revenues. La tabella 6.2 mostra i risultati di tale analisi. L’analisi è stata effettuata suddividendo le imprese a livello di andamento di crescita delle revenues crescente e

decescente. Il modello (1) mostra come l'interazione dell'intensity 4.0 con la crescita positiva delle revenues abbia impatto negativo. Al contrario, per quanto riguarda la GUO con crescita negativa delle revenues, nel modello (2) l'impatto dell'intensity 4.0 risulta significativamente meno dannoso. Tuttavia, si conferma che gli investimenti in termini di patent in Industria 4.0 non hanno in generale effetto significativo sulla crescita delle revenues delle compagnie in esame.

Tabella 6.2. Analisi su crescita revenues positiva e negativa. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014).

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Revenues G.
Intensity 4.0	0.052 (0.071)	-0.106* (0.057)
Intensity# Pos. Rev G.	-0.158*** (0.058)	
Pos. Rev G.	0.211*** (0.018)	
Intensity# Neg. Rev G.		0.158*** (0.058)
Neg. Rev G.		-0.211*** (0.018)
Revenues Total (ln)	0.341*** (0.079)	0.341*** (0.079)
Patents Overall Stock Tot. (ln)	0.114*** (0.044)	0.114*** (0.044)
Age	-0.036 (0.030)	-0.036 (0.030)
Productivity (ln)	0.165 (0.124)	0.165 (0.124)
Tangibility	0.114* (0.067)	0.114* (0.067)
Application Date	yes	yes
Employees (cat.)	yes	yes
Country (cat.)	yes	yes
Industry (cat.)	yes	yes
Country (cat.)#Application Date	yes	yes
Industry (cat.)#Application Date	yes	yes
Employees (cat.)#Application Date	yes	yes
Constant	-3.062* (1.835)	-2.851 (1.838)
Observations	5,460	5,460
R-squared	0.417	0.417
Number of guo_id_cat	1,386	1,386

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

6.1.2 Natura differenziata dei brevetti 4.0

Come già spiegato nei capitoli precedenti, nel dataset in questione, gli investimenti in tecnologie 4.0 vengono ulteriormente suddivisi in base alla natura differenziata delle tecnologie oggetto dei brevetti rilasciati dalle imprese in questione. Brevemente, si ricorda che le tecnologie di tipo "enabling" sono utilizzate con oggetti connessi tra loro

e servono per raccogliere, archiviare e analizzare i dati (Artificial Intelligence, Cloud, ecc.). Le tecnologie di tipo "core" consentono di trasformare qualsiasi oggetto in un dispositivo smart connesso a internet e sono rappresentate da hardware e software. Infine, le tecnologie di tipo "application" si riferiscono all'area in cui possono essere applicati gli oggetti connessi come smart health, smart home e smart manufacturing. Vista la natura differenziata di queste tecnologie, è stato studiato l'impatto dell'intensity separatamente per tecnologia sulla crescita di revenues, profit, employees, valore aggiunto e ROI. La tabella 6.3 riporta i risultati dell'analisi i quali suggeriscono che:

- Le tecnologie di tipo "enabling" (Int. Enabling) hanno impatto negativo sulla crescita di revenues ed employees. Si tratta infatti di tecnologie molto radicali soprattutto a livello di capabilities dello user e del suo approccio alla tecnologia. I cambiamenti derivati da tali tecnologie portano a importanti ristrutturazioni/riqualificazioni del personale. Inoltre si tratta di tecnologie molto costose e non immediatamente commercializzabili e pertanto non generano ritorno economico nel breve termine.
- Le tecnologie di tipo "core" (Int. Core) hanno impatto positivo sulla crescita del ROI. Il motivo di questo riscontro dipende dal fatto che una tecnologia "core" consiste in un vettore per trasformare oggetti in oggetti smart. Essi permettono di far aumentare la rendite delle risorse investite. Risulta più immediato perciò, rispetto a un brevetto che riguarda una tecnologia disruptive come quella enabling, ottenere un ritorno sugli investimenti con crescita positiva investendo su progetti e brevetti con tecnologie di tipo "core".
- Le tecnologie di tipo "application" (Int. Application) hanno impatto positivo sulla crescita delle revenues. Tale risultato conferma che le tecnologie sono più accattivanti sul mercato. Infatti esse mostrano un utilizzo più immediato da comprendere e da adottare e perciò consentono alle imprese che investono in tecnologie di questo tipo di godere di una crescita delle revenues con andamento positivo.

Si nota come l'analisi effettuata separatamente per ogni paradigma tecnologico mostri alcuni aspetti interessanti di analisi che meritano di essere analizzati più nel dettaglio. Infatti dall'analisi precedenti, considerando le tecnologie aggregate in un unico indicatore (Intensity 4.0) non sono state in grado di dimostrare gli effetti che investimenti in questo settore possono effettivamente portare. Solo tramite un maggior livello di dettaglio si individuano quelle che sono le tipologie tecnologiche più redditizie e sulle quali si sono verificati i maggiori riscontri positivi. In particolare sono state individuate come più rilevanti per la crescita economica le tecnologie di tipo "core" ed "application".

Tabella 6.3. Modello principale dell'impatto di Intensity 4.0 divisa per categorie Enabling, Core e Application su crescita di Revenues, Profit, Employees, Value Added e Return On Investment. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014).

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Int. Enabling	-0.216** (0.088)	0.495 (0.741)	-0.204*** (0.071)	4.435 (3.410)	-2.907 (1.826)
Int. Core	-0.098 (0.085)	-1.059 (0.736)	-0.028 (0.069)	0.362 (3.027)	3.634* (1.881)
Int. Application	0.106* (0.055)	-0.280 (0.596)	0.042 (0.060)	2.769 (2.033)	1.754 (1.693)
Revenues Total (ln)	0.714*** (0.104)				
Patents Overall Stock Total (ln)	0.112*** (0.043)	0.242 (0.214)	0.037 (0.045)	-1.682* (0.970)	-0.045 (0.729)
Age	-0.052 (0.035)	0.176 (0.243)	0.019 (0.023)	-2.163 (1.350)	0.871 (1.078)
Employees Total (ln)	-0.254** (0.122)	-0.811 (0.505)	0.489*** (0.059)		
Tangibility	0.131* (0.070)	-1.170* (0.615)	0.026 (0.042)	4.296 (3.079)	1.203 (3.303)
Profit After Tax (ln)		1.043*** (0.097)			
Productivity (ln)		-0.264 (0.440)	-0.144** (0.073)	2.552 (2.743)	-0.112 (1.090)
Added Value Total (ln)				4.234** (2.004)	
ROI					7.775*** (2.667)
Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Employees (cat.)	yes	yes	yes	yes	yes
Country (cat.)	yes	yes	yes	yes	yes
Industry (cat.)	yes	yes	yes	yes	yes
Country (cat.)#Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Industry (cat.)#Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Employees (cat.)#Application Date	yes	yes	yes	yes	yes
Constant	-4.262** (1.977)	-10.400 (12.963)	-2.009* (1.178)	40.951 (38.205)	-31.383 (50.002)
Observations	5,460	3,805	5,460	3,283	5,460
R-squared	0.407	0.209	0.460	0.133	0.020
Number of guo_id_cat	1,386	1,276	1,386	966	1,386

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

6.2 Risultati sugli effetti delle caratteristiche delle imprese

In questa sezione vengono effettuate ulteriori analisi dettagliate che riguardano alcuni "moderating effects" sulle analisi precedenti. Si è infatti notato come, andando ad analizzare nel dettaglio le singole tecnologie, sono stati ottenuti riscontri più significativi. Per individuare ulteriori risultati di interesse sono state effettuate analisi considerando:

- Le imprese per fasce di età;

- Diversi settori industriali per cui sono attesi effetti più evidenti e significativi. I settori in esame sono "Manufacturing" e "Information and Communication Technologies" (ICT).
- Dimensioni delle imprese in termini di Employees.

Tutte le analisi di questa sezione sono state effettuate tenendo in considerazione le variabili di controllo già descritte nei risultati precedenti. Per brevità tali variabili non verranno riportare all'interno delle prossime tabelle.

6.2.1 Impatto Intensity 4.0 con imprese divise per età

Al fine di approfondire meglio l'impatto degli investimenti in tecnologie 4.0 sulla crescita di variabili economiche rilevanti, la successiva analisi prevede uno studio delle GUO in esame in base all'età (variabile Age). La suddivisione è dettata dagli eventi che riguardano riforme economiche descritte nel capitolo 2. La tabella 6.4 riporta la suddivisione in gruppi rispetto all'età delle GUO. Le imprese risultano così raggruppate:

1. <15: imprese con meno di 15 anni, suddivisione scandita dall'Agenda di Lisbona 2000 per studiare gli effetti che gli incentivi possano aver avuto sulle imprese nate a posteriori. Tale intervallo temporale include aziende nate alla fine degli anni '90 e che quindi sono cresciute beneficiando dei piani di investimento effettuati a partire dagli anni 2000 (ad esempio agenda di Lisbona e Horizon 2020).
2. 15-65: imprese di età compresa dai 15 ai 65 anni. Si tratta quindi di imprese nate nel Dopo Guerra. Le compagnie appartenenti a questo gruppo hanno quindi potuto beneficiare dei piani di investimento effettuati a partire dagli inizi degli anni '50.
3. 65-120: il terzo gruppo di imprese riguarda imprese di età compresa tra 65 e 120 anni. La nascita di tali aziende risale quindi agli inizi del '900.
4. >120: le imprese rimanenti registrano un'età di fondazione che va oltre i 120 anni. Questo gruppo rappresenta in particolare le aziende più storiche.

Sempre in tabella 6.4 viene riportata la dimensionalità dei singoli gruppi. Come atteso il gruppo più popoloso è quello compreso tra 15-65 anni contenente più del 55% delle osservazioni. Tuttavia anche il gruppo di aziende giovani (<15) mostra un numero significativo di campioni. Ogni gruppo è stato rappresentato nell'analisi econometrica tramite variabile dummy. Il gruppo >120 è stato utilizzato come base per l'analisi categorica ed è stato omesso dai risultati. Infatti l'interesse principale si concentra sulle aziende appartenenti ai tre gruppi rimanenti.

Dopodiché, tali variabili sono state fatte interagire con la variabile Intensity 4.0 per misurare il loro effetto congiunto. La tabella 6.5 mostra i risultati di questa analisi econometrica. Le aziende più giovani, appartenenti al gruppo <15, evidenziano un impatto

Tabella 6.4. Suddivisione delle imprese in base alla Age, seguendo i piani di investimento.

Gruppi Età	Freq.	Percent.	Cum.
<15	1,289	18.91	18.91
15-65	3,732	54.75	73.66
65-120	1,446	21.21	94.88
>120	349	5.12	100.00
Tot.	6,816	100.00	

negativo dell'intensity 4.0 sulla crescita degli employees. Questo risultato riconferma nuovamente la previsione sostenuta da Wetzel per il quale le tecnologie figlie dell'Industria 4.0 portano a una massiccia riduzione del numero di dipendenti all'interno di un'impresa. Invece, per le aziende considerate più anziane (tra 65-120 anni di età) nate dopo il '900, si osserva un impatto significativamente negativo sulla crescita delle revenues. Presumibilmente questo effetto è dovuto al fatto che le aziende in esame appartenenti a questo gruppo e quindi con un'età di fondazione importante che va dai 65 ai 120 anni, sono molto più legate ad asset storici e richiedono di conseguenza investimenti di natura più ingente prima di conseguire cambiamenti innovativi rispetto alle imprese giovani. Non vengono riscontrati ulteriori effetti rilevanti analizzando solo le età delle imprese rispetto all'Intensity 4.0. Nelle sezioni successive si vedrà come in effetti ci sia un'importanza nell'età delle imprese ma come essa sia legata a specifiche tecnologie e settori.

Tabella 6.5. Impatto Intensity 4.0 con imprese divise per età. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Revenues Total (ln)	0.746*** (0.138)	-5.300 (17.027)	-0.206* (0.106)	7.934 (5.141)	0.381 (1.577)
Intensity 4.0	1.236 (0.812)	72.530 (99.837)	0.379 (0.292)	1.515 (5.738)	-5.662 (9.298)
<15#Intensity 4.0	-1.126 (0.832)	-113.876 (132.892)	-0.548* (0.307)	-3.880 (6.418)	9.303 (10.012)
15-65#Intensity 4.0	-1.319 (0.814)	-83.070 (107.790)	-0.466 (0.292)	-0.818 (5.529)	7.748 (9.415)
65-120#Intensity 4.0	-1.393* (0.844)	-126.072 (146.595)	-0.407 (0.328)	11.522 (10.853)	2.109 (9.718)
>120#Intensity 4.0	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Observations	5,432	4,471	5,432	3,305	5,432
R-squared	0.406	0.050	0.460	0.107	0.019
Number of guo_id_cat	1,380	1,356	1,380	968	1,380

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

6.2.2 Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese divise per età

Mantenendo la stessa struttura del modello descritto in Tabella 6.5, si osserva come l'output presentato in Tabella 6.6 prosegua lo studio precedente dell'impatto di tecnologie 4.0 sulla crescita di Revenues, Profit, Employees, Added Value e ROI, con la stessa suddivisione di imprese per variabile Age, ma aggiungendo un ulteriore elemento di analisi: la variabile intensity viene infatti suddivisa in base alla natura differenziata della tecnologia in questione e quindi sfruttando le tre intensity 4.0 per tipo di tecnologia. Si evince dai risultati che le tecnologie di tipo "enabling" per tutte le fasce di anzianità delle imprese in questione, mostrano un impatto significativamente negativo sulla crescita del numero di dipendenti, conferma ulteriore delle analisi precedenti e quindi coerente con le spiegazioni fornite.

6.2.3 Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese divise per settore industriale

Grazie al livello di dettaglio garantito dal dataset utilizzato in questo lavoro di tesi, è possibile studiare le imprese in esame suddividendole in gruppi di appartenenza al settore industriale di competenza. Tutti i settori presenti nel dataset che caratterizzano l'operatività delle imprese sul mercato sono elencati in Tabella 6.7. Inoltre, le statistiche descrittive di queste categorie permettono di individuare i settori di interesse più rappresentativi che sono "Information and Communications Technology (ICT)" e "Manufacturing".

La tabella 6.8 rappresenta l'output ottenuto analizzando l'impatto della variabile Intensity 4.0 differenziata in base alla tipologia di tecnologia sulle imprese operanti nel settore Manufacturing. Dai risultati si evince che nel settore manifatturiero, il più rappresentato, l'impatto di investire in tecnologie classificabili come tecnologie di tipo "enabling" è negativamente significativo sia per quanto riguarda la crescita delle revenues, sia per la crescita del numero di employees dell'impresa. Tale risultato mantiene inalterata anche in ambito manufacturing la teoria secondo la quale la tecnologia enabling rappresenta la categoria di natura più disruptive rispetto alle altre tecnologie appartenenti alla quarta rivoluzione industriale.

L'analisi riportata in Tabella 6.9 ha come focus le imprese operanti in settore manufacturing la cui age sia inferiore ai 15 anni. Si ottengono, infatti, risultati differenti dall'analisi precedente studiando in maniera isolata questa categoria: l'impatto di investire in tecnologie appartenenti alla tipologia "enabling" ha, al contrario, impatto significativamente positivo sulla crescita delle revenues. Tale riscontro è giustificato dall'influenza positiva che il piano Horizon 2020 ha garantito, incentivando lo sviluppo di nuove tecnologie. Inoltre, si conferma che i brevetti di categoria tecnologica di tipo "application" sono i più redditizi e garantiscono, in termini di crescita di profit, riscontri redditizi.

Tabella 6.6. Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese divise per età. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Revenues Total (ln)	0.744*** (0.136)	-4.949 (17.050)	-0.210** (0.105)	7.586 (4.784)	0.312 (1.586)
Int. Enabling	1.147 (1.264)	30.829 (123.313)	0.578* (0.328)	-16.964 (15.664)	-8.310 (16.517)
Int. Core	-1.480 (1.643)	-27.827 (127.779)	0.136 (0.398)	9.852 (13.611)	29.979 (18.999)
Int. Application	1.119 (1.101)	88.666 (151.997)	-0.177 (0.338)	2.683 (4.895)	-21.737 (15.045)
<15#Int. Enabling	-1.307 (1.285)	-36.530 (128.531)	-0.911** (0.364)	17.097 (17.701)	0.559 (15.319)
15-65#Int. Enabling	-1.360 (1.273)	40.310 (128.718)	-0.725** (0.344)	20.991 (17.180)	5.432 (17.423)
65-120#Int. Enabling	-1.382 (1.308)	-7.227 (122.786)	-0.845** (0.378)	21.799 (19.170)	11.187 (16.630)
>120#Int. Enabling	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
<15#Int. Core	1.253 (1.646)	-20.553 (119.033)	-0.409 (0.417)	-6.991 (13.404)	-22.199 (19.147)
15-65#Int. Core	1.482 (1.643)	-74.152 (126.381)	-0.112 (0.405)	-11.985 (14.295)	-26.772 (18.845)
65-120#Int. Core	0.728 (1.766)	-89.127 (131.578)	-0.075 (0.582)	17.287 (25.383)	-33.525* (20.050)
>120#Int. Core	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
<15#Int. Application	-0.688 (1.115)	-78.536 (148.614)	0.489 (0.425)	-6.693 (7.174)	23.591 (16.302)
15-65#Int. Application	-1.098 (1.103)	-147.748 (200.135)	0.154 (0.338)	-2.628 (4.867)	24.372 (15.322)
65-120#Int. Application	-1.063 (1.123)	-135.508 (187.724)	0.178 (0.365)	7.735 (11.825)	18.532 (14.641)
>120#Int. Application	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Observations	5,432	4,471	5,432	3,305	5,432
R-squared	0.407	0.050	0.461	0.113	0.019
Number of guo_id_cat	1,380	1,356	1,380	968	1,380

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

I risultati in Tabella 6.10 mostrano invece il secondo settore industriale preso in esame, cioè quello ICT. Nuovamente, l'impatto generato dagli investimenti in tecnologie di tipo "enabling" conferma la sua natura significativamente negativa sulla crescita dell'added value.

Anche analizzando esclusivamente il gruppo di imprese ICT aventi età inferiore ai 15 anni in Tabella 6.11, l'impatto di investire in tecnologie "enabling" è negativamente significativo sulla crescita del numero di employees. Diversamente, intensity di tipo "core" e "application" hanno impatto positivo sulla crescita del numero di employees

Le aziende considerate, come già specificato, presentano tutte un numero di dipendenti superiore a 250.

L'interazione tra dimensione dell'impresa e intensità di brevetti in ambito I4.0 non

Tabella 6.7. Suddivisione delle imprese per SETTORE INDUSTRIALE.

	Settore Industriale	Freq.	Percent	Cum.
1	ADMINISTRATIVE AND SUPPORT SERVICE ACTI	65	0.95	0.95
2	ARTS, ENTERTAINMENT AND RECREATION	16	0.23	1.18
3	CONSTRUCTION	75	1.09	2.28
4	EDUCATION	6	0.09	2.36
5	ELECTRICITY, GAS, STEAM AND AIR CONDITI	100	1.46	3.82
6	FINANCIAL AND INSURANCE ACTIVITIES	32	0.47	4.29
7	HUMAN HEALTH AND SOCIAL WORK ACTIVITIES	30	0.44	4.73
8	INFORMATION AND COMMUNICATION	567	8.28	13.01
9	MANUFACTURING	5,259	76.77	89.78
10	OTHER SERVICE ACTIVITIES	12	0.18	89.96
11	PROFESSIONAL, SCIENTIFIC AND TECHNICAL	299	4.36	94.32
12	PUBLIC ADMINISTRATION AND DEFENCE; COMP	6	0.09	94.41
13	REAL ESTATE ACTIVITIES	3	0.04	94.45
14	TRANSPORTATION AND STORAGE	92	1.34	95.80
15	WATER SUPPLY; SEWERAGE, WASTE MANAGEMEN	2	0.03	95.82
16	WHOLESALE AND RETAIL TRADE; REPAIR OF M	286	4.18	100.00

Tabella 6.8. Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese appartenenti al settore Manufacturing. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Int. Enabling	-0.309** (0.151)	117.234 (127.119)	-0.351*** (0.131)	5.218 (3.897)	-0.900 (2.824)
Int. Core	-0.137 (0.151)	-152.224 (150.234)	-0.029 (0.128)	4.130 (5.815)	3.388 (3.466)
Int. Application	0.087 (0.078)	-78.250 (84.634)	0.135 (0.099)	1.260 (1.362)	0.497 (3.226)
Observations	4,202	3,476	4,202	2,582	4,202
R-squared	0.425	0.054	0.488	0.120	0.016
Number of guo_id_cat	1,064	1,048	1,064	744	1,064

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

risulta essere però significativa per il caso di studio. Non si vedono, infatti, effetti significativi sulle crescite osservate.

Tabella 6.9. Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese giovani (<15 anni) appartenenti al settore Manufacturing. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Int. Enabling	1.027** (0.467)	-16.876 (14.866)	0.195 (0.311)	7.123 (12.080)	10.987 (11.015)
Int. Core	-0.505 (0.407)	-11.654 (18.615)	-0.250 (0.283)	-1.834 (6.786)	-11.797 (10.109)
Int. Application	0.036 (0.256)	25.521** (12.858)	0.327 (0.298)	-3.293 (4.417)	-3.291 (3.291)
Patents Overall Stock tot. (ln)	0.089 (0.083)	2.068 (2.292)	-0.501* (0.260)	-0.203 (2.822)	2.855** (1.230)
Employees (ln)	-0.591*** (0.171)	-5.717 (12.073)	0.772*** (0.290)	3.884 (5.770)	-5.040 (4.064)
Observations	694	553	694	390	694
R-squared	0.529	0.156	0.585	0.218	0.092
Number of guo_id_cat	181	177	181	120	181

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

Tabella 6.10. Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese appartenenti al settore ICT. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Int. Enabling	-0.184 (0.113)	2.396 (3.175)	-0.198 (0.131)	-0.836* (0.494)	-9.181 (10.190)
Int. Core	0.108 (0.106)	-1.891 (3.848)	0.087 (0.097)	-0.417 (0.376)	7.854 (10.352)
Int. Application	0.085 (0.107)	-4.353 (4.582)	-0.116 (0.096)	-0.385 (0.335)	10.033 (7.544)
Observations	454	372	454	211	454
R-squared	0.526	0.853	0.344	0.519	0.148
Number of guo_id_cat	114	111	114	73	114

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

Tabella 6.11. Impatto Intensity 4.0 differenziata per tecnologia con imprese giovani (<15 anni) appartenenti al settore ICT. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Revenues Total (ln)	0.528* (0.269)	2.775 (11.252)	-1.017*** (0.323)	-17.007 (.)	28.771 (26.332)
Int. Enabling	-0.338 (0.260)	0.104 (5.936)	-0.912*** (0.247)	76.410 (.)	-17.856 (20.043)
Int. Core	0.213 (0.282)	24.336*** (8.881)	0.476* (0.273)	41.169 (.)	19.150 (20.372)
Int. Application	0.482** (0.224)	19.395** (7.231)	0.539** (0.207)	224.297 (.)	19.200 (18.027)
Observations	126	4,471	108	126	53
R-squared	0.658	0.050	0.699	0.561	1.000
Number of guo_id_cat	34	1,356	33	34	34

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

Tabella 6.12. Suddivisione delle imprese per numero di employees.

Gruppi Employees	Freq.	Percent.	Cum.
<1k	2,524	36.88	36.88
1k-25k	3,625	52.97	89.85
25k-250k	652	9.53	99.37
>250k	43	0.63	100.00
Totale	6,844	100.00	

Tabella 6.13. Impatto Intensity 4.0 con imprese divise per numero di Employees. Sorgente ORBIS-IP dataset (anni 2009-2014). I controlli sono riportati in tabella 6.1.

Variabili	(1) Revenues G.	(2) Profit G.	(3) Employees G.	(4) Added Value G.	(5) ROI G.
Intensity 4.0	0.496 (1.394)	167.528 (268.484)	-0.284 (0.782)	-7.567 (7.141)	-18.674 (19.451)
<1k#Intensity 4.0	-0.525 (1.398)	-171.477 (270.318)	0.212 (0.784)	10.708 (9.795)	19.400 (19.431)
1k-25k#Intensity 4.0	-0.523 (1.399)	-224.003 (311.975)	0.175 (0.786)	6.351 (7.466)	21.583 (19.797)
25k-250k#Intensity 4.0	-1.431 (1.586)	-222.666 (321.902)	0.289 (0.982)	10.826 (9.488)	23.429 (21.411)
>250k#Intensity 4.0	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Observations	5,459	4,490	5,459	3,313	5,459
R-squared	0.405	0.046	0.458	0.090	0.016
Number of guo_id_cat	1,385	1,361	1,385	971	1,385

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

Capitolo 7

Conclusioni

In questo lavoro di tesi sono stati studiati ed analizzati gli effetti che investimenti in ambito di Industria 4.0 hanno avuto su diversi fattori di crescita delle imprese. L'Intensity dei brevetti 4.0 è stata utilizzata come parametro di proxy per quantificare gli investimenti annuali effettuati dalle singole imprese. Sono stati monitorati diversi fattori di crescita quali crescita percentuale di revenues, profit, numero di employees, added value e Return On Investment (ROI).

Il processo presentato sfrutta un'analisi econometrica del dataset ORBIS-IP fornito dal Bureau VanDijk, contenente informazioni sui depositi brevettuali in Europa di 110 milioni di società corporate del settore privato dal 2009 al 2014. Inoltre, ORBIS-IP include informazioni di bilancio, numero di dipendenti, anno di costituzione dell'azienda, settore di attività economica e ubicazione.

Il primo risultato rilevante estrapolato da diverse analisi è relativo alla crescita delle imprese rispetto al numero di employees. Gli ingenti investimenti I4.0 effettuati dalle imprese in esame hanno infatti dimostrato di avere un impatto negativo sulla crescita di employees. Tale fenomeno è stato riscontrato a più livelli. Da un'analisi generale dell'Intensity è emerso che investire in Industry 4.0 ha portato nel periodo in esame ad un trend decrescente di numero di impiegati. Ciò è coerente anche con i risultati ottenuti da Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. [2020](#) dove viene mostrato che l'efficienza dei processi produttivi aumenta con l'aumentare degli investimenti. Tuttavia, questa efficienza è ottenuta tramite una sempre più elevata automatizzazione del processo produttivo che richiede sempre meno manodopera e personale sempre più qualificato. In particolare, è stato individuato come le tecnologie enabling siano la causa principale di tale fenomeno. Ciò è in particolare vero per le aziende giovani (<15 anni). Gli unici effetti positivi sulla crescita economica (revenues) a livello generale si ha con le tecnologie di tipo application e core. Mentre le tecnologie enabling rislutano ancora una volta come negativamente impattanti sulle revenues. Queste ultime infatti richiedono ingenti investimenti che nel breve periodo temporale analizzato non permettono di osservare una crescita economica. Ci si aspetta tuttavia che nel lungo periodo queste permettano un ritorno economico adeguato agli investimenti essendo esse tecnologie

disruptive ma necessarie per rimanere competitivi nel mercato.

Il secondo risultato rilevante si ha a livello di settore industriale. Analizzando il settore manifatturiero, che è sia il più popoloso del nostro dataset e quello che dovrebbe beneficiare di più dalla rivoluzione industriale, si è osservato che gli investimenti effettuati hanno avuto impatto negativo a livello di crescita economica e di employees. Nello specifico sono le tecnologie enabling a causare questo effetto. Come precedentemente evidenziato, le aziende potrebbero aver bisogno di più tempo e di una notevole quantità di investimenti in scorte di conoscenze cumulative prima dei benefici operativi ed economici del loro emergono investimenti. Un fenomeno simile si registra per il settore ICT che per sua natura è portatore di innovazione in questo ambito. Un'ipotesi che potrebbe ulteriormente spiegare il risultato ottenuto si ha nel fatto che la Grande Recessione abbia avuto effetti che si prolungano nel tempo.

Infine, nonostante i diversi segnali negativi riscontrati con i risultati precedenti, abbiamo confermato l'esistenza di un "boost effect" nelle aziende più giovani (<15 anni) nei settori manifatturiero e ICT. Infatti, per le aziende nate a partire dalla fine degli anni '90 gli investimenti in I4.0 hanno favorito una crescita positiva nei parametri economici. Per il settore manifatturiero le tecnologie enabling e application hanno portato ad un trend positivo di revenues e profit. Invece, nel settore ICT sono le tecnologie core a determinare la crescita di profit e employees. Questo risultato controtendenza conferma ed estende i risultati trovati in Benassi, Grinza, Rentocchini, Rondi et al. 2020. Inoltre è possibile spiegare questo risultato considerando gli ingenti investimenti che sono stati messi a disposizione con l'Agenda di Lisbona e l'Horizon Europe 2020. Tali fondi sono stati messi a disposizione delle imprese per incentivare gli investimenti tecnologici. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che aziende giovani nate in un contesto di crescita e alta dinamicità si trovano avvantaggiate nell'adottare e sviluppare nuove soluzioni tecnologiche. Invece aziende più anziane hanno difficoltà ad adattare i propri asset a nuovi paradigmi produttivi. In generale aziende con asset consolidati sono più riluttanti ad adottare tecnologie disruptive e in questo caso richiedono anche maggiori investimenti economici.

Il fatto che non si siano trovate altre correlazioni positive tra gli investimenti in Industry 4.0 e i fattori di crescita può inoltre essere dovuto al fatto che i potenziali innovatori sono riluttanti a brevettare le loro invenzioni, temendo che la divulgazione di nuove conoscenze nel brevetto conduca all'imitazione diretta da parte di competitors.

Bibliografia

- Aghion, P., Jones, B. F. & Jones, C. I. (2017). *Artificial intelligence and economic growth* (rapp. tecn.). National Bureau of Economic Research.
- Agrawal, A., Gans, J. & Goldfarb, A. (2018). *Prediction machines: the simple economics of artificial intelligence*. Harvard Business Press.
- Apiletti, D., Barberis, C., Cerquitelli, T., Macii, A., Macii, E., Poncino, M. & Ventura, F. (2018). iSTEP, an Integrated Self-Tuning Engine for Predictive Maintenance in Industry 4.0. *2018 IEEE Intl Conf on Parallel Distributed Processing with Applications, Ubiquitous Computing Communications, Big Data Cloud Computing, Social Computing Networking, Sustainable Computing Communications (ISPA/IUCC/BD-Cloud/SocialCom/SustainCom)*, 924–931.
- Artz, K. W., Norman, P. M., Hatfield, D. E. & Cardinal, L. B. (2010). A longitudinal study of the impact of R&D, patents, and product innovation on firm performance. *Journal of product innovation management*, 27(5), 725–740.
- Benassi, M., Grinza, E. & Rentocchini, F. (2019). The Rush for Patents in the Fourth Industrial Revolution: An Exploration of Patenting Activity at the European Patent Office. *SSRN Electronic Journal*.
- Benassi, M., Grinza, E., Rentocchini, F., Rondi, L. et al. (2020). *Going Revolutionary: The Impact of 4IR Technology Development on Firm Performance* (rapp. tecn.). SEEDS, Sustainability Environmental Economics e Dynamics Studies.
- Cantamessa, M. & Montagna, F. (2016). *Management of innovation and product development*. Springer.
- Ciffolilli, A. & Muscio, A. (2018). Industry 4.0: national and regional comparative advantages in key enabling technologies. *European Planning Studies*, 26(12), 2323–2343.
- Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U. & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545–554.
- for Internal Policies of the Union., E. P. D. G. (2016). *Industry 4.0*. Publications Office.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Godina, R., Ribeiro, I., Matos, F., T Ferreira, B., Carvalho, H. & Peças, P. (2020). Impact Assessment of Additive Manufacturing on Sustainable Business Models in Industry 4.0 Context. *Sustainability*, 12(17), 7066.

- Goldfarb, A., Gans, J. & Agrawal, A. (2019). *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. University of Chicago Press.
- Haleem, A. & Javaid, M. (2019). Additive manufacturing applications in industry 4.0: a review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 4(04), 1930001.
- Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. *Management of permanent change* (pp. 23–45). Springer.
- Kessler, S. (2017). The optimist's guide to the robot apocalypse. *Quartz*, 9, 2017.
- Kozłowski, J. et al. (2019). Tail Risk: Part 2, The Missing Recovery After the Great Recession. *Federal Reserve Bank of St. Louis Economic Synopses*, (19).
- Lin, B., Wu, W. & Song, M. (2019). Industry 4.0: driving factors and impacts on firm's performance: an empirical study on China's manufacturing industry. *Annals of Operations Research*, 1–21.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1–10.
- Ménière, Y., Rodriguez, J. P., Rudyk, I. & Wienold, N. (2020). *Methodology for identifying 4IR technologies in patent data*. European Patent Office.
- Muscio, A. & Ciffolilli, A. (2020). What drives the capacity to integrate Industry 4.0 technologies? Evidence from European R&D projects. *Economics of Innovation and New Technology*, 29(2), 169–183.
- Pech, M. & Vrchota, J. (2020). Classification of small-and medium-sized enterprises based on the level of industry 4.0 implementation. *Applied Sciences*, 10(15), 5150.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54–89.
- Stock, J. H. & Watson, M. W. (2015). *Introduction to econometrics*.
- Thoben, K.-D., Wiesner, S. & Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. *International Journal of Automation Technology*, 11, 4–19.
- Trajtenberg, M. (1987). *Patents, citations and innovations: tracing the links* (rapp. tecn.). National Bureau of Economic Research.
- Trappey, A. J., Trappey, C. V., Govindarajan, U. H., Chuang, A. C. & Sun, J. J. (2017). A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 208–229.
- Union, E. (n.d.). Key Enabling Technologies | Horizon 2020 [(Accessed on 01/18/2021)].
- Venturini, I. I. F. (2020). The anatomy of the AI innovating sector in Europe.
- Xu, M., David, J. M., Kim, S. H. et al. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International journal of financial research*, 9(2), 90–95.