



Dipartimento di Impresa e Management

Cattedra di Statistica applicata ed Econometria

L'impatto della digitalizzazione sulle *performance* aziendali: un'analisi  
econometrica

Prof. Antonio Pacifico

---

RELATORE

Giovanna Rigtano 265961

---

CANDIDATO

Anno accademico 2023/2024

## INDICE

INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO 1 .....	5
LE QUATTRO RIVOLUZIONI INDUSTRIALI E LA NASCITA DI UN NUOVO MODELLO DI <i>BUSINESS</i> : LA <i>SMART FACTORY</i> .....	5
1.1 <i>Dalla prima alla quarta rivoluzione industriale</i> .....	5
1.2 <i>verso l'industria 4.0 e la smart factory</i> .....	12
CAPITOLO 2 .....	16
UN NUOVO TIPO DI PRODUZIONE: LA <i>SMART MANUFACTURING</i> .....	16
2.1 <i>Le tecnologie abilitanti</i> .....	16
2.1.1 <i>Internet of things e cloud computing</i> .....	17
2.1.2 <i>Sistema cyber-fisico</i> .....	21
2.1.3 <i>Progettazione assistita da computer e produzione automatizzata</i> .....	22
2.2 <i>La struttura organizzativa</i> .....	22
CAPITOLO 3 .....	26
STIMA DELL'IMPATTO DELLA DIGITAL ECONOMY SULLE <i>PERFORMANCE</i> DELLE IMPRESE MEDIANTE IL <i>SOFTWARE RSTUDIO</i> .....	26
3.1 <i>Costruzione dei modelli di regressione</i> .....	27
3.1.1 <i>Analisi nei paesi sviluppati</i> .....	27
3.1.2 <i>Analisi nei paesi in via di sviluppo</i> .....	30
3.2 <i>Analisi di serie storiche attraverso le fasi del modello Box &amp; Jenkins</i> .....	31
3.2.1 <i>Fase I: analisi grafica</i> .....	32
3.2.2 <i>Fase II: analisi empirica</i> .....	34
3.2.3 <i>Fase III: previsioni della serie "salari e stipendi erogati dalle imprese dell'UE"</i> . 38	
CAPITOLO 4 .....	44
CONSIDERAZIONI FINALI E IMPLICAZIONI DI POLICY .....	44
4.1 <i>Risultati empirici dell'analisi svolta</i> .....	44
4.2 <i>Un business model all'insegna della sostenibilità</i> .....	45
4.3 <i>Combattere la resistenza al cambiamento per raggiungere i benefici auspicati</i> .....	46
RINGRAZIAMENTI .....	49
Bibliografia.....	50

## INTRODUZIONE

Il presente lavoro nasce come risposta alla domanda “in che modo l'entrata delle imprese manifatturiere nella quarta rivoluzione industriale ha impattato e impatterà sulle *performance* delle stesse?”.

Nel rispondere a tale interrogativo verrà dapprima proposto un *excursus* storico che, dalla prima rivoluzione industriale, giungerà ad analizzare la fase industriale in cui le imprese manifatturiere si trovano attualmente ad operare: la quarta rivoluzione industriale, definita anche con il termine di industria 4.0.

Seguirà, a introduzione dell'analisi econometrica da svolgere, la descrizione del *business model* che, implementato a seguito della suddetta rivoluzione, ha dato vita a un nuovo tipo di impresa: la *smart factory*, basata sull'utilizzo dell'*Internet of Things*, del *cloud computing*, dei sistemi cyber-fisici, della progettazione e della produzione assistite da computer.

In particolare, si vogliono indagare gli effetti generati dall'entrata delle imprese in detta nuova fase industriale sui salari e sugli stipendi erogati nei paesi sviluppati e in via di sviluppo dell'Unione Europea.

Lo studio sarà articolato come segue: verrà elaborato un *dataset* disaggregato a livello regionale, con distinzione tra regioni appartenenti ai paesi sviluppati e regioni dei paesi in via di sviluppo, e composto da dieci variabili (quali il Pil *pro-capite*, il tasso di occupazione e di disoccupazione, il tasso di crescita della popolazione, il capitale umano e fisico impiegati nelle imprese, le risorse umane impiegate nel settore della ricerca e sviluppo, l'e-commerce, i salari e stipendi erogati dalle imprese manifatturiere e le persone impiegate nelle imprese).

Tale *dataset* permetterà la costruzione di modelli di regressione multipla per indagare le relazioni che intercorrono tra la variabile “salari e stipendi erogati dalle imprese”, considerata come variabile dipendente rappresentativa delle *performance* delle imprese, e le dieci variabili di cui sopra considerate come variabili indipendenti.

Verrà effettuato, a conclusione della parte metodologica, uno studio di serie storiche che, seguendo il metodo di analisi di Box & Jenkins, mira a verificare come le variazioni delle variabili rappresentative della *digital economy* hanno impattato e impatteranno sulla variabile dipendente.

Saranno, poi, rappresentati i benefici connessi alla digitalizzazione di cui le imprese possono godere, facendo particolare riferimento al tema della sostenibilità, da intendersi non come mero ambientalismo, ma come fondamentale strumento di preservazione e di crescita delle risorse economiche, sociali e ambientali di ogni paese.

L'analisi si concluderà con la rappresentazione degli eventuali ostacoli che si possono frapponere alla digitalizzazione delle imprese, quali ad esempio, la resistenza dei dipendenti al cambiamento, alla quale si potrà ovviare con gli strumenti della comunicazione e della formazione.

## CAPITOLO 1

### LE QUATTRO RIVOLUZIONI INDUSTRIALI E LA NASCITA DI UN NUOVO MODELLO DI *BUSINESS*: LA SMART FACTORY

#### *1.1 Dalla prima alla quarta rivoluzione industriale*

Come autorevolmente sostenuto dall'economista tedesco Klaus Schwab, fondatore e presidente del Forum economico mondiale, nel suo libro "La quarta rivoluzione industriale" (2016), "*il termine rivoluzione denota un cambiamento brusco e radicale*"<sup>1</sup>. Dall'alba del XXI secolo, il mondo è testimone di una nuova rivoluzione industriale e della trasformazione digitale del mondo del *business*, comunemente definita come "industria 4.0". "*Tale rivoluzione sta continuando i progressi compiuti dalle altre tre, in cui il vapore, l'elettricità e poi l'elettronica hanno portato la società dalla produzione meccanica alla produzione di massa e poi all'automatizzazione*".<sup>2</sup>

Con il termine "rivoluzione industriale" ci si riferisce generalmente al periodo compreso tra il 1770 e il 1870, periodo in cui il cambiamento tecnologico ha permesso all'uomo di sfruttare la forza meccanica ed elettrica per i propri sforzi. Si sono verificati, di conseguenza, dei cambiamenti nei metodi di fabbricazione e di produzione e nelle pratiche di lavoro tali da permettere di creare nuove modalità di trasporto e di fornire un nuovo tipo di infrastruttura per gran parte delle società. Essenziale è stato il ruolo della tecnologia che ha permesso di innovare il processo produttivo e l'organizzazione della produzione. È, dunque, nel contesto della rivoluzione industriale che si può comprendere il significato che gli autori Mark Skilton e Felix Hovsepian nel libro "The 4th Industrial Revolution, Responding to the Impact of Artificial Intelligence on *Business*" (2018) danno al concetto di tecnologia: quest'ultima è da intendere come "*il modo in cui la conoscenza scientifica si evolve nella produzione di beni e servizi o nel raggiungimento di obiettivi, utilizzando strumenti e tecniche per ottenere risultati*". È, infatti, grazie ad essa che "*abbiamo imparato ad utilizzare metodi e processi per gestire le risorse naturali e ottenere vantaggi nella competizione e nell'acquisizione*".<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Ginevra, Svizzera, 2016, I, pp 6

<sup>2</sup> Mark Skilton & Felix Hovsepian, *The 4<sup>th</sup> industrial revolution responding to the impact artificial intelligent on business*, Springer International Publishing AG, 2018, foreword, pp 7

<sup>3</sup> Mark Skilton & Felix Hovsepian, *The 4<sup>th</sup> industrial revolution responding to the impact artificial intelligent on business*, Springer International Publishing AG, 2018, I, pp 3

“Prima della meccanizzazione, l’attività umana era guidata dalla mano e dal bestiame per costruire, lavorare la terra e viaggiare”<sup>4</sup>: è stata la prima rivoluzione industriale a segnare l’inizio della meccanizzazione, permettendo la produzione di energia meccanica dall’energia termica e consentendo, in tal modo, all’uomo di lavorare in modo più efficace, utilizzando l’energia, che dalle pompe fisse stazionarie, dalle gru e dai mulini andava alla locomozione sotto forma di treni e carrozze senza cavalli. Ad essere rivoluzionaria è stata, dunque, la capacità di sfruttare l’energia su richiesta, senza l’intervento dell’uomo o del bestiame.

Bisogna, però, tener presente che la prima rivoluzione industriale non si sarebbe potuta verificare se non fosse stata accompagnata da profondi cambiamenti che hanno interessato altri campi, come quelli demografico, agricolo, commerciale e dei trasporti.

Per quanto concerne il contesto demografico, si è assistito, tra la metà del Settecento e la metà dell’Ottocento, a una vera e propria rivoluzione demografica, che ha visto il passaggio da un regime demografico *naturale* a uno *moderno*. Secondo le stime dei primi censimenti moderni e di diversi studiosi (che si sono basati anche su elementi indiretti di misurazione demografica, quali l’allargamento delle cinte murarie della città, le leve militari, le rilevazioni tributarie ed ecclesiastiche e le descrizioni dei contemporanei) la popolazione mondiale, a metà Settecento, non raggiungeva gli 800 milioni e quella europea si aggirava intorno ai 140 milioni. Tali dati sono in parte spiegati dal fatto che nell’Europa preindustriale permaneva il cosiddetto antico regime demografico, che può essere definito come “*primitivo o naturale*”<sup>5</sup>, caratterizzato da una totale dipendenza della popolazione dalla disponibilità dei mezzi elementari di sussistenza e da un precario equilibrio demografico, dovuto a un’alta natalità (che oscillava intorno al 40 per mille) e a un’altrettanta elevata mortalità, superiore al 30 per mille. Quest’ultima era, inoltre, condizionata da un’elevatissima mortalità infantile: secondo le stime, un quarto dei bambini moriva entro il primo anno di vita e la metà non superava i cinque anni. Come conseguenza di ciò, la vita media si aggirava intorno ai 20/25 anni; coloro che, però, riuscivano a sopravvivere ai primi anni, avevano buone probabilità di superarne i 70. È in seguito alla transizione dall’antico al nuovo regime che la popolazione europea è raddoppiata, grazie alla riduzione del tasso di mortalità e, in seguito, a quello di natalità. Si riporta di seguito il grafico relativo a detta transizione.

---

<sup>4</sup> Mark Skilton & Felix Hovsepian, *The 4<sup>th</sup> industrial revolution responding to the impact artificial intelligent on business*, Springer International Publishing AG, 2018, I, pp 7

<sup>5</sup> Ennio De Simone, *Storia economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, 2016, capitolo III, pp 23-32

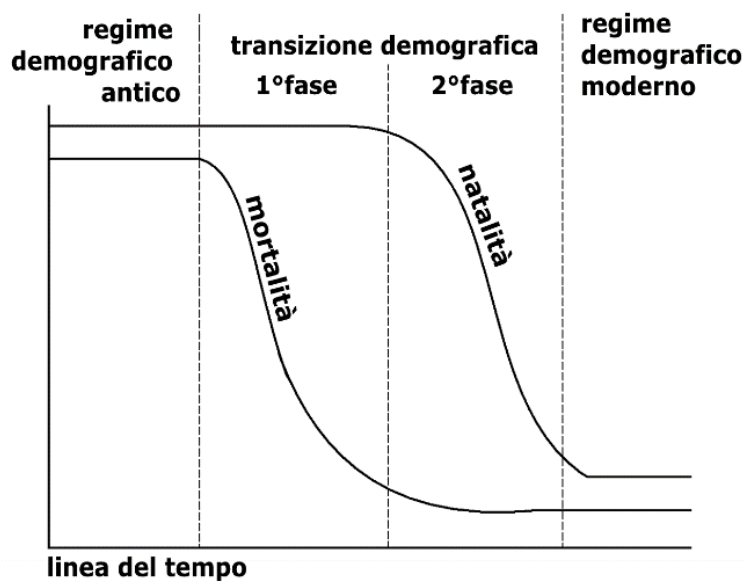


Grafico 1 transizione dal regime demografico antico a quello moderno; Ennio De Simone, *Storia economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, 2016, capitolo III, pp 23-30

A favorire la rivoluzione industriale è stata anche la rivoluzione agraria. Quest'ultima, infatti, ha garantito: il sostentamento di una popolazione in forte aumento, permettendo a un numero sempre maggiore di persone di dedicarsi ad attività diverse dall'agricoltura; l'aumento del reddito degli agricoltori da destinare all'acquisto dei prodotti industriali; lo spostamento dalle campagne, che non riuscivano a sostenere il passo della crescita demografica, verso le zone urbane e industriali; la partecipazione al finanziamento delle prime industrie da parte di molti proprietari terrieri.

Infine, una notevole accelerazione alla prima rivoluzione industriale è stata data dal miglioramento delle vie di comunicazione e dei mezzi di trasporto, che hanno permesso l'ampliamento del mercato nazionale e internazionale. È, inoltre, degna di nota la nascita di assicuratori privati, soprattutto in Inghilterra, che hanno incentivato i trasporti via mare, che erano economici, ma allo stesso tempo molto rischiosi per via delle tempeste e dei pirati.<sup>6</sup>

La seconda rivoluzione industriale, definita anche come rivoluzione industriale americana, invece, a partire dal tardo XIX secolo fino agli inizi del XX, ha reso possibile la produzione di massa, favorita dall'avvento dell'elettrificazione su scala industriale, della catena di montaggio

<sup>6</sup> Sull'argomento, Ennio De Simone, *Storia economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, 2016

e dei motori elettrici. Come evidenziato da Joel Mokyr nel suo libro “The lever of riches” (1990), a partire dal 1870, i successi della prima rivoluzione industriale, che presentavano una scarsa base scientifica, sono stati estesi ad un’ampia gamma di attività e prodotti, entrando così a contatto con la vita quotidiana delle classi medie e lavoratrici, che hanno visto aumentare notevolmente il loro tenore di vita e il loro potere d’acquisto<sup>7</sup>; si rende, così, manifesto il motivo per cui Vaclav Smil, scienziato e analista politico, ha definito tale periodo come “The age of Synergy”.

Con la seconda rivoluzione industriale la scienza ha finalmente ottenuto un *feedback* dalla tecnologia, per cui molte conoscenze acquisite nel periodo precedente possono ora essere definite come “scienza”. Nel periodo della prima rivoluzione, infatti, sono state create “un’industria chimica senza chimica, un’industria del ferro senza metallurgia, macchine elettriche senza termodinamica”.<sup>8</sup>

Volgendo lo sguardo al contesto socioeconomico di questo periodo, si può notare come l’economia europea e americana abbiano subito profondi cambiamenti: l’industria si è affermata come settore principale e la borghesia, divenuta la classe dominante, ha iniziato ad esercitare il potere politico insieme alle vecchie *élites* aristocratiche.

Sebbene questo periodo si inserisca in un *trend* positivo dell’economia, fino al 1914 (anno a cui si fa generalmente risalire la fine della seconda rivoluzione industriale) si sono verificate due fasi espansive (registrate nei periodi dal 1848 al 1873 e dal 1897 al 1920) e una recessiva (iniziata nel 1873 e conclusasi nel 1896), nota con il nome di “grande depressione”.<sup>9</sup>

L’individuazione di tali fasi si deve a Nikolai Kondratiev, economista russo, che nella sua opera “I maggiori cicli economici” individua le cosiddette onde di Kondratiev: cicli regolari dalla lunghezza variabile tra i 50 o i 70 anni caratterizzati da due fasi, una ascendente e una discendente. Come mostrato nel grafico che segue, le fasi ascendenti sono fasi di crescita, che si verificano in seguito a *innovazioni a grappolo* che determinano un aumento negli investimenti, nel reddito, nella domanda globale, nei prezzi e nella produzione. Le fasi discendenti, al contrario, corrispondono a periodi di depressione economica.<sup>10</sup>

---

<sup>7</sup> Joel Mokyr, (1990), *The level of Riches*, Oxford University Press.

<sup>8</sup> Joel Mokyr, (1998), *The Second Industrial Revolution, 1870-1914*, Northwestern University Press, pp 1

<sup>9</sup> Ennio De Simone, *Storia economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, 2016

<sup>10</sup> Giuseppe Di Taranto, *La globalizzazione diacronica*, G. Giappichelli Editore, Torino, 2013, III, pp 73-83



Kondratieff cycles – long waves of prosperity.

Rolling 10-year yield on the S&P 500 since 1814 till March 2009 (in %, p. a.)

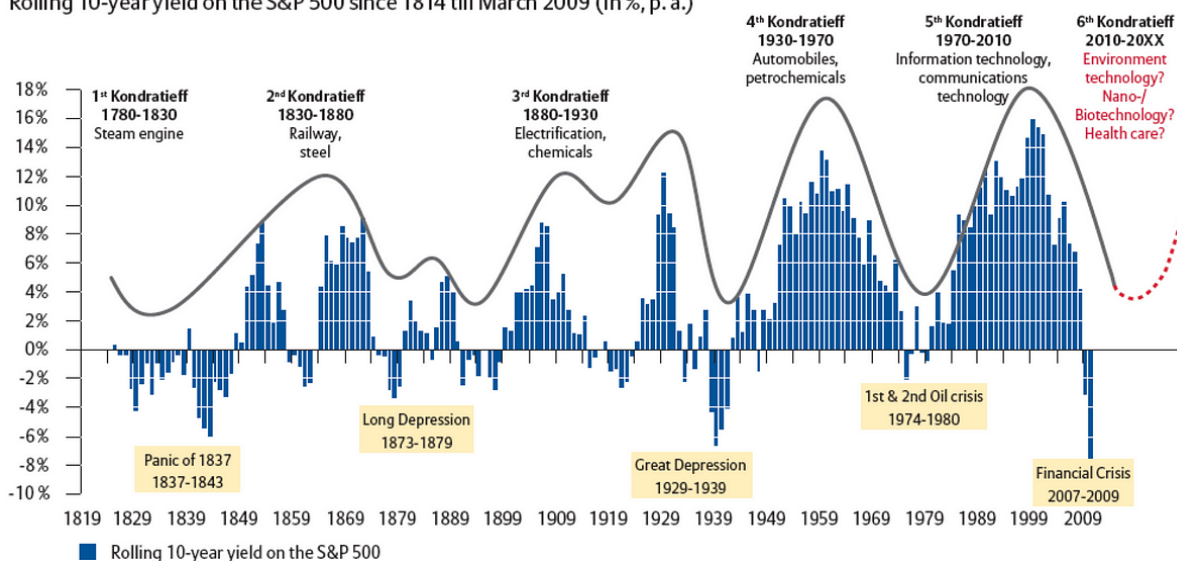


Grafico 2: fasi del ciclo di Kondratieff; Datastream; Illustration: Allianz Global Investors Capital Market Analysis

Durante la prima fase espansiva (la cosiddetta fase *a* del ciclo di Kondratieff), verificatasi nel periodo della seconda rivoluzione industriale, si è assistito ad un incremento moderato dei prezzi, che ha consentito alle imprese di realizzare maggiori profitti e, di conseguenza, di aumentare i salari. Se l'aumento dei salari ha permesso ai lavoratori di incrementare i loro consumi a beneficio della domanda di prodotti, l'aumento dei profitti da parte delle imprese ha permesso loro di conseguire utili più elevati e di effettuare migliori e maggiori investimenti, fronteggiando, così, rischi minori di fallimento nei periodi di crisi.

Lo sviluppo economico verificatosi nella fase presa ad esame ha interessato tutti i settori ed è stato favorito dall'affermazione del libero scambio, dallo sviluppo dei mezzi di trasporto e dalla maggiore disponibilità di oro da riservare alla coniazione di nuove monete e come garanzia per l'emissione di moneta cartacea. Sebbene l'aumento della disponibilità dei mezzi di pagamento si traduca normalmente in un aumento dell'inflazione, ciò non si è verificato nel suddetto periodo perché si era di fronte a scambi e produzione in continuo aumento che, per sorreggersi, avevano la necessità di una sempre maggiore quantità di mezzi di scambio.

Per quanto riguarda la fase depressiva di cui sopra, il suo inizio si fa coincidere con il 1873, anno in cui una crisi finanziaria ha colpito i mercati di Berlino, Vienna e New York, causando la diminuzione dei prezzi agricoli e industriali, dei salari e del tasso di profitto.

Le cause di ciò possono essere ricondotte a: l'aumento dell'offerta dei prodotti rispetto alla relativa domanda; la riduzione dei costi di trasporto delle merci, che ha favorito l'insorgere in Europa della crisi agraria, e la riduzione della produzione aurifera a seguito dell'esaurimento delle miniere d'oro americane e australiane, che ha portato all'insufficienza della moneta in circolazione rispetto ai volumi di produzione e, di conseguenza, alla riduzione dei prezzi.

È per far fronte alla “Grande depressione” che si è iniziata a diffondere in Europa la grande impresa americana (la cosiddetta *corporation*), luogo di concentrazione del potere economico e delle conoscenze scientifiche e tecniche, in cui il lavoro è organizzato “scientificamente”, seguendo il pensiero taylorista.<sup>11</sup>

Infine, con la terza rivoluzione industriale (iniziata a partire dagli anni 60 del '900) si parla di “rivoluzione digitale”: l'automazione tecnica, infatti, non è più da intendere come una trasformazione da una forma di energia ad un'altra con un ritmo più veloce, come è stato per le rivoluzioni del vapore e dell'elettricità del XVIII e XIX secolo.<sup>12</sup>

La cosiddetta *digital revolution* ha avuto inizio con lo sviluppo della microelettronica e dei semiconduttori, vedendo i primi processi di integrazione su larga scala (*very-large-scale integration: VLSI*) creare circuiti integrati (IC) dalla combinazione di migliaia di *transistor* in un unico *chip*. Tali circuiti hanno accelerato il passaggio dalla tecnologia meccanica e analogica all'elettronica digitale, cambiando radicalmente la digitalizzazione delle informazioni e dando il via al *pervasive computing*. È con l'informatica aziendale di IBM, Hewlett Packard e Microsoft che è stata, così, inaugurata l'era della tecnologia dell'informazione su larga scala: la terza rivoluzione industriale ha dato origine a un collegamento tra imprese e persone mai visto prima, favorito in gran parte dalla nascita del *World Wide Web*, che ha portato con sé una nuova sintassi e un protocollo che hanno permesso alle macchine di “parlare” tra loro e con gli esseri umani e alle aziende e alle persone di connettersi e scambiare prodotti e servizi.<sup>13</sup>

In questo caso, però, il termine “rivoluzione” non riesce ad esprimere la portata delle trasformazioni economiche e sociali che si sono verificate e che hanno iniziato a far parlare di terziarizzazione dell'economia e di società postindustriale. A partire dalla fine della guerra, infatti, il mondo ha iniziato ad assistere a un periodo di crescita senza precedenti, nel quale si

---

<sup>11</sup> Sull'argomento, Ennio De Simone, *Storia economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, 2016

<sup>12</sup> Mark Skilton & Felix Hovsepian, *The 4<sup>th</sup> industrial revolution responding to the impact artificial intelligent on business*, Springer International Publishing AG, 2018, I, pp 6

<sup>13</sup> Mark Skilton & Felix Hovsepian, *The 4<sup>th</sup> industrial revolution responding to the impact artificial intelligent on business*, Springer International Publishing AG, 2018, I, pp 8

possono distinguere due fasi: una di crescita economica continua e stabile (dal 1950 al 1973), che si può far ricondurre ad una nuova fase *a* del soprannominato ciclo di Kondratiev, e una di rallentamento che, seppur non generalizzato, ha portato, a partire dal 1973, a un periodo di stagflazione dovuto alla fine del sistema dei cambi fissi e agli *shock* petroliferi del 1973 e 1979.

La fase di crescita di cui sopra, nota con il nome di “*golden age*”, ha interessato soprattutto i paesi sviluppati, il cui Pil *pro-capite* è aumentato come mai prima di allora, in particolar modo per i paesi sconfitti durante la Seconda guerra mondiale come la Germania, l’Italia e il Giappone; per gli altri, come la Gran Bretagna e gli Stati Uniti, invece, i livelli di Pil sono risultati essere più modesti poiché, partendo da posizioni più avanzate, è stato più difficile realizzare un aumento consistente del Pil in termini percentuali.

Le cause di tale crescita possono essere rintracciate nella disponibilità di innovazioni realizzate durante il conflitto; nel nuovo ruolo assunto dallo Stato, che ha iniziato a ricoprire la funzione di stabilizzatore della domanda e di garante dell’occupazione; nell’avvio della costituzione del mercato comune e nell’introduzione del sistema dei cambi fissi, inaugurato con gli accordi di Bretton Woods, e nei costi bassi delle materie prime e del lavoro.

Come conseguenza della *golden age*, invece, le donne hanno aumentato notevolmente la loro presenza nel mondo del lavoro, anche in settori considerati ad appannaggio maschile, quali la magistratura, la politica e le forze armate; il commercio si è adattato alla produzione di massa grazie alla diffusione di supermercati, centri commerciali e *discount* (grandi magazzini che mirano al massimo contenimento dei prezzi riducendo al minimo i costi di gestione) e il sistema bancario si è trasformato. Le banche, infatti, hanno iniziato ad espandere le loro attività rivolgendosi ad un nuovo tipo di clientela, le famiglie, e a despecializzarsi. In particolare, a partire dagli anni Settanta si è affermata la cosiddetta banca universale, che è in grado di fornire qualsiasi tipo di servizio, compreso quello assicurativo. <sup>14</sup>

Questa rivoluzione è, dunque, da considerarsi come una preparazione ad una nuova era: i progressi tecnici che sono stati fatti nei campi della scienza dei materiali, delle nuove tecniche di produzione e della *machine intelligence* hanno consentito di arrivare al progresso che, nell’ambito della quarta rivoluzione industriale, ha il potenziale di cambiare intere industrie e l’esperienza umana. <sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Sull’argomento, Ennio De Simone, *Storia economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, 2016

<sup>15</sup> Mark Skilton & Felix Hovsepian, *The 4<sup>th</sup> industrial revolution responding to the impact artificial intelligent on business*, Springer International Publishing AG, 2018, I, pp 6

## ***1.2 verso l'industria 4.0 e la smart factory***

Sebbene alcuni autori non credano che si possa parlare di una quarta rivoluzione industriale, considerando questa come una “*continua evoluzione e non una rivoluzione delle tecnologie della terza rivoluzione industriale*”<sup>16</sup>, diversi studi hanno contrastato questa critica facendo leva su come l’iperconnettività, l’intelligenza artificiale e l’automazione abbiano apportato cambiamenti dirompenti in diversi settori. In particolare, Klaus Schwab, in “La quarta rivoluzione industriale” (2016), ritiene che siano tre i fattori che rafforzano la convinzione che sia in corso una quarta e distinta rivoluzione: la velocità, l’ampiezza e la profondità e l’impatto sui sistemi. Assistiamo ad una rivoluzione che, basandosi sulla precedente rivoluzione digitale e combinando insieme diverse tecnologie, si evolve ad un ritmo esponenziale e non lineare, contrariamente a quanto accaduto alle rivoluzioni industriali precedenti, comportando la trasformazione dei sistemi dei paesi, delle industrie e della società.<sup>17</sup>

Si può individuare la nascita della quarta rivoluzione nell’uso dei sistemi cyber-fisici (CPS), dell’*internet of things* (IOT) e dei servizi (IOS) e si possono individuare i suoi principali motori nello sviluppo delle industrie nell’era del pre-post-fordismo e nello sviluppo di Internet e di tutte le sue applicazioni e infrastrutture. Pur essendo consapevoli dell’impatto che la quarta rivoluzione industriale avrà sui sistemi, è, tuttavia, necessario tener presente che, a meno che le tecnologie legate all’*internet of things* non vengano sviluppate e implementate, tutte le possibili applicazioni di questa rivoluzione non potranno essere realizzate.

La rivoluzione consiste, dunque, nell’espansione orizzontale dell’*Information Technology* in tutti i settori industriali e nella combinazione dell’innovazione tecnica con quella istituzionale, così come è accaduto nella seconda rivoluzione industriale. Creando una fusione tra mondo fisico e cyberspazio, la quarta rivoluzione industriale ha dato vita a una rete distribuita in cui tutti i punti di connessione hanno la stessa potenza e sono collegati tra loro, come illustrato nella figura che segue.<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Lee, M., Yun, J.J., Pyka, A., Won, D., Kodama, F., Schiuma, G., Park, H., Jeon, J., Park, K., Jung, K., Yan, M.M., Lee, S., Zhao, X., *How to respond to the fourth industrial revolution, or the second information technology revolution? Dynamic New combinations between technology, market, and society through open innovation*. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and complexity, Vol (4), issue 3, Elsevier

<sup>17</sup> Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Ginevra, Svizzera, 2016, Introduction, pp 3

<sup>18</sup> Lee, M., Yun, J.J., Pyka, A., Won, D., Kodama, F., Schiuma, G., Park, H., Jeon, J., Park, K., Jung, K., Yan, M.M., Lee, S., Zhao, X., *How to respond to the fourth industrial revolution, or the second information technology revolution? Dynamic New combinations between technology, market, and society through open innovation*. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and complexity, Vol (4), issue 3, Elsevier

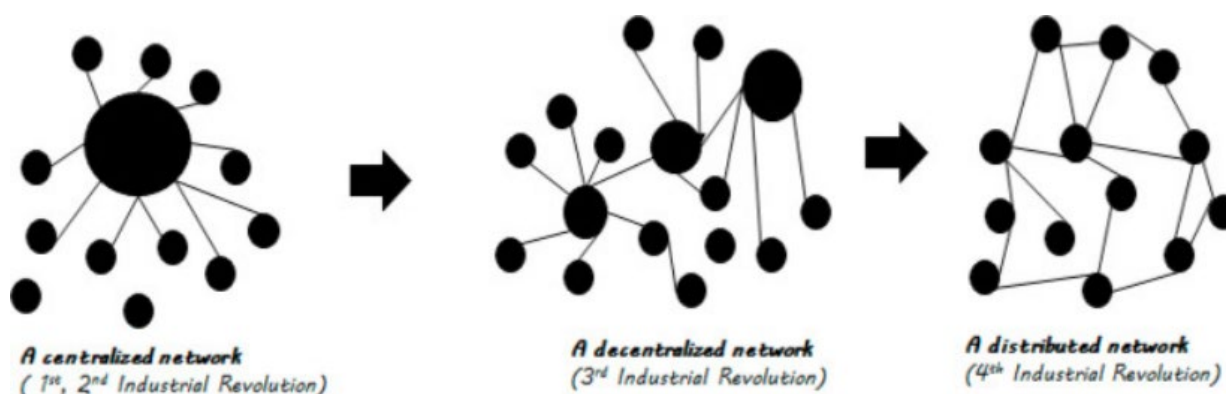


Figura 1: rappresentazione dei network delle quattro rivoluzioni industriali; Lee, M., Yun, J.J., Pyka, A., Won, D., Kodama, F., Schiuma, G., Park, H., Jeon, J., Park, K., Jung, K., Yan, M.M., Lee, S., Zhao, X., *How to respond to the fourth industrial revolution, or the second information technology revolution? Dynamic New combinations between technology, market, and society through open innovation. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and complexity, Vol (4), issue 3, Elsevier*

Si può, in questo modo, agilmente comprendere come “la quarta rivoluzione industriale (...) non riguarda solo macchine e sistemi intelligenti e connessi. Il suo ambito è molto più ampio. Si stanno verificando contemporaneamente onde di ulteriori progressi in settori che vanno dal sequenziamento del DNA alla nanotecnologia, dalle energie rinnovabili alla computazione quantistica.”<sup>19</sup>

“È la fusione di queste tecnologie e la loro interazione attraverso i domini fisici, digitali e biologici che rende la quarta rivoluzione industriale fundamentalmente diversa dalle rivoluzioni precedenti.”<sup>20</sup>

Ci si riferisce a questa nuova rivoluzione e alla sua conseguente trasformazione digitale anche con il termine “industria 4.0”.

L’espressione “industria 4.0” va comunemente attribuita ad un gruppo di lavoro che, nel 2011, alla fiera di Hannover in Germania, su mandato dell’Unione di ricerca Economia-Scienza del Ministero tedesco dell’Istruzione e della Ricerca, ha utilizzato la suddetta espressione nel proprio rapporto finale dandogli due significati: come sinonimo di una “quarta rivoluzione industriale” e come etichetta per il piano strategico perseguito dalla Germania per rafforzare la propria posizione competitiva internazionale nel settore manifatturiero. Nel 2014, infatti, il governo federale tedesco ha annunciato che l’“industrie 4.0” sarà parte integrante della sua iniziativa “High-Tech Strategy 2020 for Germany”, finalizzata alla leadership dell’innovazione

<sup>19</sup> Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Ginevra, Svizzera, 2016, I, pp 8

<sup>20</sup> Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Ginevra, Svizzera, 2016, I, pp 8

tecnologica dell'economia tedesca; nel 2016, di conseguenza, le iniziative di ricerca in questo settore sono state finanziate con 200 milioni di euro da parte di enti governativi.<sup>21</sup>

L'industria 4.0 è da intendere, dunque, come quella fase industriale che, influenzando le regole della concorrenza, la struttura industriale e le richieste dei clienti, sta portando a un mutamento dei modelli di *business* delle aziende, che vengono ridefiniti attraverso l'incorporazione di concetti legati all'*Internet of Things* e la digitalizzazione delle fabbriche, così da poter offrire nuove soluzioni digitali per i clienti, nonché diminuire i costi legati alla manodopera e ai materiali, i tempi di preparazione e lavorazione, garantendo una maggiore efficienza nei processi produttivi.

È in questo contesto che inizia ad emergere la figura della fabbrica intelligente, la cosiddetta *smart factory*, altamente flessibile e riconfigurabile e in grado di produrre prodotti personalizzati in modo efficiente, redditizio ed ecologicamente sostenibile.



Figura 2: driver e principi della smart factory; Sull'argomento, Santos, C., Mehrsai, A., Barros, A.C., Araújo, M., Ares E. (2017), *Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps*. *Procedia Manufacturing*, Vol (13), pp 972-979, Elsevier

Come si evince dalla figura di cui sopra, i *driver* necessari all'implementazione della *smart factory* e, più in generale, dell'industria 4.0 sono i seguenti:

- *Driver* organizzativi, legati a nuove forme di lavoro e collaborazione;
- *Driver* tecnologici, derivanti dalla combinazione di diversi *trend* tecnologici;

<sup>21</sup> Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G. e Sartor M. (2020), *Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions*. *International Journal of Production Economics*, Vol (226), Elsevier

- *Driver* dell'innovazione, che promuovono lo sviluppo di nuovi modelli di *business* e di reti di innovazione estese;
- *Driver* operativi, provenienti dalla costante esigenza delle aziende di potenziare le loro *performance* operative per mantenere la propria competitività.

A guidare, invece, la concettualizzazione e l'implementazione della fabbrica intelligente ci sono sei principi: interoperabilità, virtualità, *real-time capability* (capacità di raccogliere, elaborare e agire sui dati quasi istantaneamente), decentralizzazione, orientamento ai servizi e modularità.

Si rende, così, manifesto come in questa nuova fase industriale sia necessario per le industrie accrescere l'importanza delle reti collaborative, della sincronia tra domanda e offerta, della personalizzazione nello sviluppo di prodotti e servizi, del decentramento e dell'uso estensivo dei dati nel guidare le prestazioni operative.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Sull'argomento, Santos, C., Mehraei, A., Barros, A.C., Araújo, M., Ares E. (2017), *Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps*. *Procedia Manufacturing*, Vol (13), pp 972-979, Elsevier

## CAPITOLO 2

### UN NUOVO TIPO DI PRODUZIONE: LA *SMART MANUFACTURING*

Un ruolo importante nel contesto dell'*industry 4.0* è svolto dalla produzione intelligente (la cosiddetta *intelligent* o *smart manufacturing*), che mira a ottimizzare la produzione e le transazioni di prodotto, sfruttando appieno le tecnologie avanzate di produzione e informazione.

Questo nuovo tipo di produzione, facendo leva sulla scienza e tecnologia intelligenti e ricorrendo a sensori intelligenti, modelli decisionali adattivi, materiali avanzati, dispositivi intelligenti e analisi dei dati, mira a ottimizzare la progettazione, la produzione, la gestione e l'integrazione dell'intero ciclo di vita del prodotto. Si può, in tal modo, ottenere un miglioramento dell'efficienza della catena produttiva, della qualità del prodotto, del livello di servizio e della competitività di un'impresa manifatturiera, che vede rafforzata la propria abilità nel gestire le dinamiche e le variazioni del mercato globale.

Nell'era dell'industria 4.0, tale sistema di produzione intelligente (*IMS*), grazie ad un'architettura orientata ai servizi, è in grado di garantire ai consumatori finali servizi collaborativi, personalizzabili, flessibili e riconfigurabili. A tal fine è, tuttavia, necessaria una stretta integrazione uomo-macchina, favorita anche dall'introduzione nell'*IMS* dell'intelligenza artificiale, e la creazione di un armonioso ecosistema tra gli elementi coinvolti nell'*IMS*, così che possa essere assicurata una fusione ottimale tra gli aspetti organizzativi, gestionali e tecnologici.<sup>23</sup>

#### **2.1 Le tecnologie abilitanti**

Le tecnologie che rendono possibile tale tipo di produzione sono: l'*Internet of Things* e il *cloud computing*, il sistema cyber-fisico, la progettazione assistita da computer e la produzione automatizzata.

Si procederà ora ad una specifica analisi delle suddette tecnologie.

---

<sup>23</sup> Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S.T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. Engineering, Vol (3), Issue 5, pp 616-630, Elsevier.



### ***2.1.1 Internet of things e cloud computing***

Il primo ad utilizzare il termine *Internet of Things (IoT)* è stato il ricercatore dell'università MIT del Massachusetts Kevin Ashton nel 1999, per indicare un sistema in cui gli oggetti fisici possono essere connessi a Internet tramite sensori. Ashton ha creato questa espressione per evidenziare come le etichette di identificazione a radiofrequenza (*RFID*) nelle catene di approvvigionamento aziendali potessero essere collegate a Internet per monitorare e tracciare merci senza l'intervento umano.

Nel 1990, è stato presentato il primo "*Internet device*": un tostapane connesso a *Internet Protocol (IP)* che poteva essere comandato da remoto. Successivamente, anche altre "*cose*" sono state collegate a *IP*, come una macchina per bibite alla Carnegie Mellon University negli USA e una caffettiera nella Trojan Room dell'Università di Cambridge nel Regno Unito, che è stata online fino al 2001. Sono questi primi giocosi tentativi ad aver gettato le basi per l'attuale *Internet of Things*, per il quale, però, non c'è ancora una definizione univoca.

L'*Internet Architecture Board (IAB)* ritiene che "*il termine "Internet of Things" (IoT) indichi una tendenza che vede un gran numero di "embedded devices" utilizzare i servizi di comunicazione offerti dai protocolli Internet. Molti di questi dispositivi, spesso chiamati "oggetti intelligenti", non sono gestiti direttamente dall'uomo, ma sono presenti come componenti in edifici o veicoli, oppure sono sparsi nell'ambiente*".<sup>24</sup>

L'*Oxford Dictionaries*, invece, individua Internet come elemento del più ampio concetto dell'*Internet of Things*, considerando quest'ultimo come "*l'interconnessione via Internet di dispositivi informatici incorporati negli oggetti di uso quotidiano, che consentono di inviare e ricevere dati.*"

Nonostante le numerose interpretazioni, si può comprendere come questo concetto, seppur difficile da definire, sia da intendere come un'estensione della connettività di rete e della capacità di calcolo a una gamma di oggetti, dispositivi, sensori e articoli quotidiani che di norma non sono considerati "computer". Ciò consente ai dispositivi di comunicare, generare, scambiare e consumare dati, spesso con un limitato intervento umano.

---

<sup>24</sup> Rose, K., Eldridge, S. e Chapin, L. (2015). *The internet of things: An overview*. The internet society.

Secondo quanto pubblicato dall'*Internet Architecture Board* nel marzo 2015, sono quattro i modelli di comunicazione utilizzati dai dispositivi *IoT*: *device-to-device*; *devie-to-cloud*; *device-to-gateway*; *back-end data-sharing*.

Nel modello di comunicazione *device-to-device*, come si può osservare dalla figura riportata, due o più dispositivi sono connessi e comunicano direttamente tra loro, senza l'ausilio di un *server* applicativo intermedio.

Tali dispositivi comunicano attraverso diversi tipi di rete, quali le reti IP o Internet, o protocolli, come *Bluetooth*.

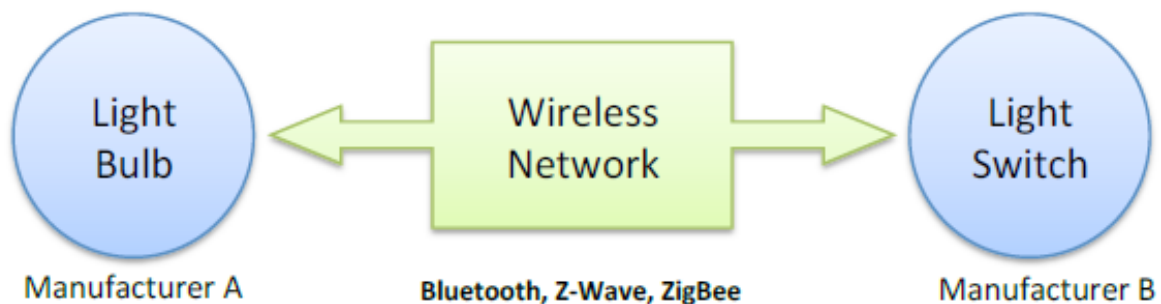


Figura 3: modello di comunicazione dei dispositivi *IoT* *device-to-device*; Tschofening, H., et al., *Architectural Considerations in Smart Object Networking*. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015.

Nel modello *device-to-cloud*, invece, il dispositivo *IoT* si connette direttamente ad un servizio *cloud* via internet (come un *application service provider*) per la trasmissione di dati e la gestione del traffico di messaggi.

Questa metodologia, rappresentata dalla *Figura 4*, utilizza frequentemente i meccanismi di comunicazione preesistenti, come le connessioni *Ethernet* cablate o le reti Wi-Fi, per stabilire un collegamento tra il dispositivo e la rete *IP*, che a sua volta si connette al servizio *cloud*.

Possono, però, sorgere problemi di interoperabilità, quando si cerca di integrare dispositivi di produttori diversi, e incorrere nel fenomeno del cosiddetto "*vendor lock-in*", che si verifica quando i dispositivi o i servizi sono progettati per funzionare esclusivamente con una piattaforma specifica o con un servizio *cloud* particolare.

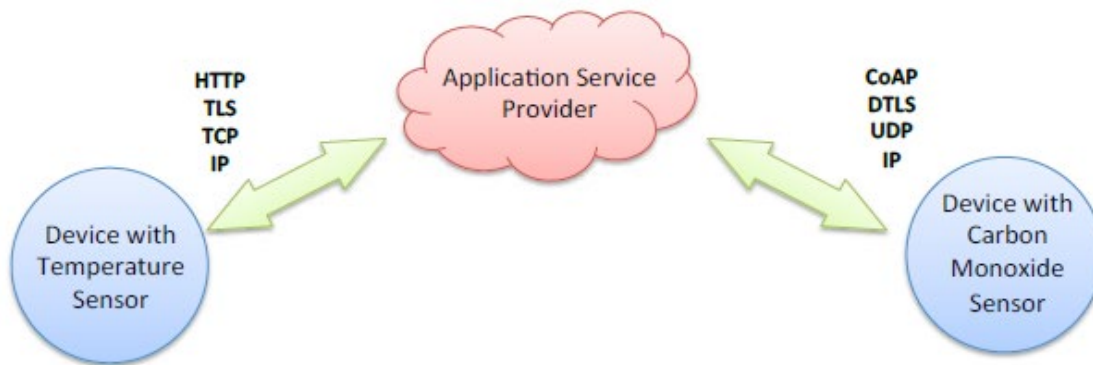


Figura 4: modello di comunicazione dei dispositivi IoT device-to-cloud; Tschofenig, H., et al., *Architectural Considerations in Smart Object Networking*. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015.

Il terzo modello di comunicazione, il cui funzionamento è riportato in *Figura 5*, il cosiddetto modello *device-to-gateway* o più tipicamente noto come *device-to-application-layer-gateway (ALG)*, viene utilizzato quando si è in presenza di dispositivi che non hanno l'innata capacità di connettersi al servizio *cloud* e necessitano, dunque, di connettersi ad un servizio *ALG* per raggiungerlo.

Ciò significa che vi è un *software* applicativo che, operando su un *local gateway device*, funge da intermediario tra il dispositivo *IoT* e il *cloud* e permette la trasmissione dei dati e delle richieste del dispositivo al *cloud*.

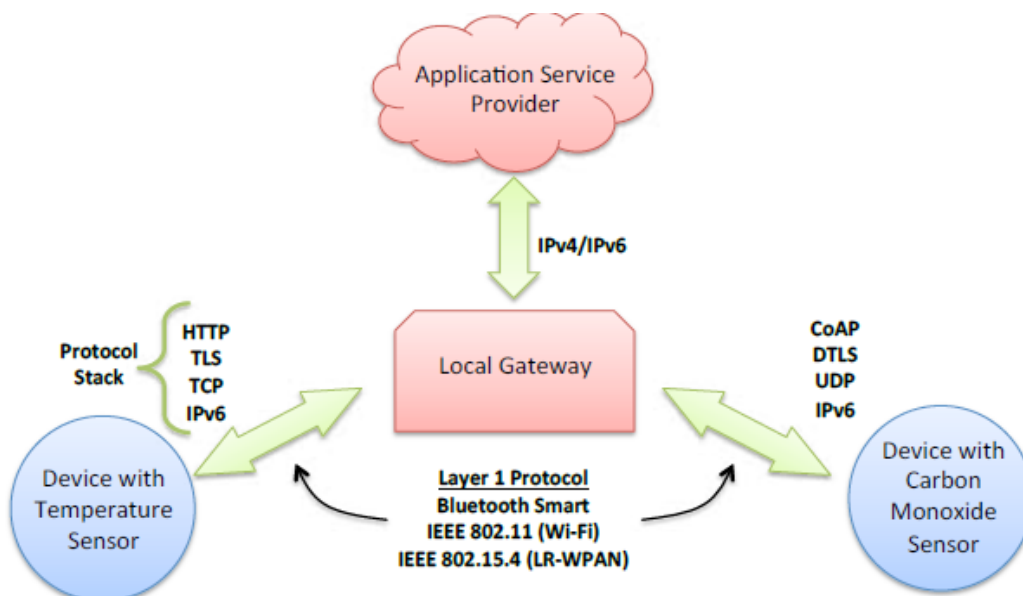
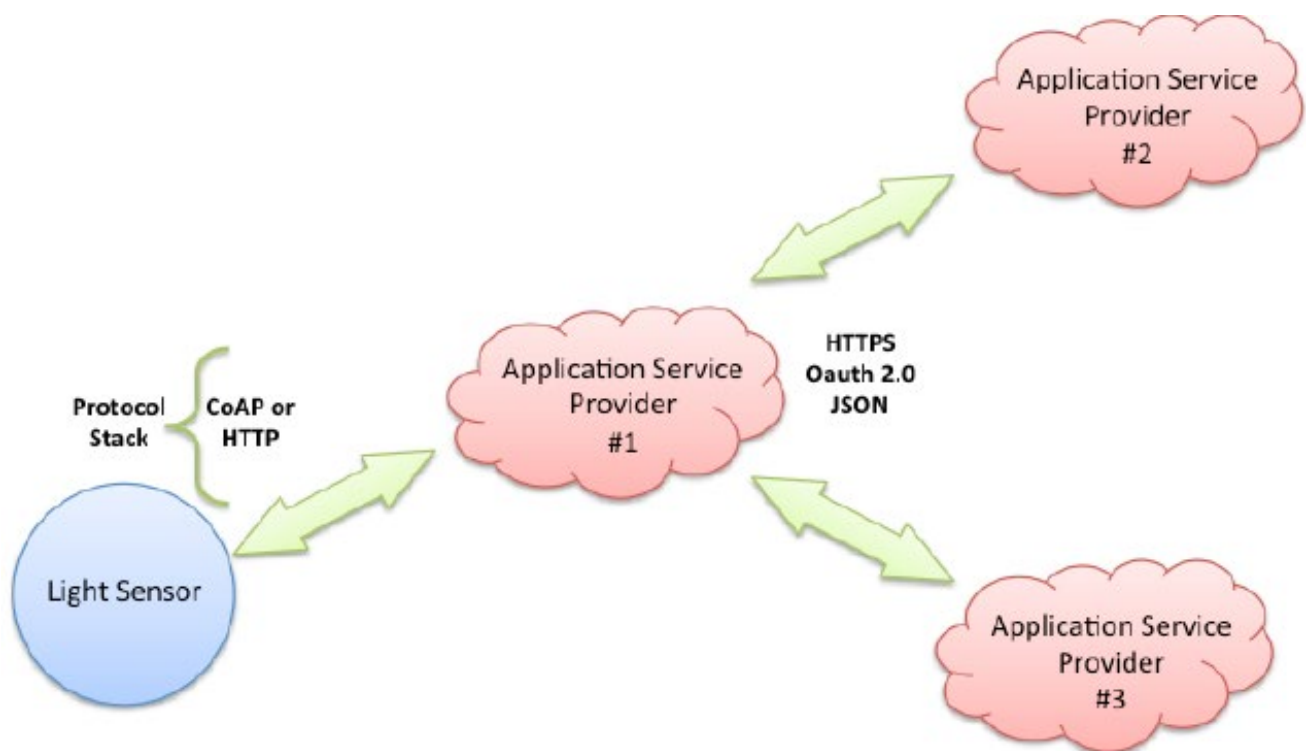


Figura 5: modello di comunicazione dei dispositivi IoT device-to-gateway; Tschofenig, H., et al., *Architectural Considerations in Smart Object Networking*. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015.

Infine, l'ultimo modello di comunicazione è il cosiddetto *back-end data-sharing Model*. Quest'ultimo permette agli utenti di esportare, analizzare e confrontare i dati degli "oggetti intelligenti" provenienti da un servizio *cloud* con altri dati provenienti da fonti diverse. Questo modello, raffigurato nella *Figura 6* di seguito riportata, è da intendere, dunque, come un'estensione del modello di comunicazione *device-to-cloud*, in quanto permette di aggregare i dati provenienti da diversi dispositivi *IoT* in un unico luogo, facilitando così l'analisi e l'estrazione di informazioni utili, nonché permette di superare i "silos di dati", garantendo una maggiore flessibilità e condivisione dei dati tra diverse piattaforme e servizi.<sup>25</sup>



*Figura 6: modello di comunicazione dei dispositivi IoT back-end data-sharing; Tschofening, H., et al., Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015.*

È il *cloud computing* a fornire l'infrastruttura e la piattaforma necessarie per eseguire e gestire i *cloud service* più volte nominati.

<sup>25</sup> Rose, K., Eldridge, S. e Chapin, L. (2015). *The internet of things: An overview*. The internet society

Con il termine *cloud computing* si indica, infatti, la “fornitura di servizi computazionali attraverso risorse visualizzate e scalabili su Internet”<sup>26</sup>. È il concetto di scalabilità a rendere il *cloud computing* interessante per gli imprenditori, permettendo loro di allocare una maggiore quantità di risorse solo in caso di aumento della domanda di servizi aggiuntivi.

Sono, infine, cinque le caratteristiche che un *cloud* ideale dovrebbe detenere secondo il *National Institute of Standards and Technology (NIST)*: *self-service on-demand* (capacità degli utenti di accedere e gestire le risorse in modo autonomo e immediato, senza la necessità di interventi manuali da parte degli amministratori di sistema o degli operatori IT.); ampio accesso alla rete; *pooling* delle risorse; rapida elasticità e servizio “misurato”, così da poter offrire una tariffazione basata sull’utilizzo effettivo delle risorse e fornire trasparenza, flessibilità ed economicità alle operazioni IT.<sup>27</sup>

### **2.1.2 Sistema cyber-fisico**

La seconda tecnologia a rendere possibile il sistema di produzione intelligente è il sistema cyber-fisico.

È stata Helen Gill della *National Science Foundation* negli Stati Uniti a introdurre nel 2006 il concetto di sistemi cyber-fisici (*CPS*), riferendosi a un piano di “sensazione e manipolazione locale del mondo fisico” e di “controllo e osservabilità in tempo reale”.

Tale concetto viene inteso oggi come “un’integrazione di sistemi di diversa natura, il cui scopo principale è il controllo di un processo fisico e, attraverso il feedback, il suo adattamento in tempo reale a nuove condizioni operative. Questo risultato si ottiene dalla fusione di oggetti e processi fisici, piattaforme computazionali e reti di telecomunicazioni.”<sup>28</sup>

All’interno della *smart factory*, i *CPS* sono in grado di gestire in modo autonomo gli scenari operativi, adattandosi o regolando i parametri di processo, e di raggiungere:

- a) la digitalizzazione dei processi;

---

<sup>26</sup> Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S.T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. Engineering, Vol (3), Issue 5, pp 616-630, Elsevier.

<sup>27</sup> Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S.T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. Engineering, Vol (3), Issue 5, pp 616-630, Elsevier.

<sup>28</sup> Network Digital 360, *Cyber physical systems (CPS), cosa sono, come stanno rivoluzionando il mondo industriale*, (2020).

- b) l'integrazione della rete di fornitura, incorporando i dati e i *feedback* direttamente nell'ambiente produttivo;
- c) il miglioramento della qualità produttiva, potendo tracciare tramite i *CPS* ogni passaggio della catena produttiva e analizzare gli impianti in maniera puntuale;
- d) il miglioramento dell'efficienza e della sostenibilità della produzione (il sistema cyber-fisico permette una più agevole gestione di impianti, macchinari e attrezzature);
- e) l'incremento della velocità di trasferimento delle conoscenze, così da ottenere un supporto costante al lavoro e una veloce crescita della produttività.<sup>29</sup>

### **2.1.3 Progettazione assistita da computer e produzione automatizzata**

Servono a rendere una *smart factory* tale anche la progettazione assistita da computer (*CAD*) e la produzione automatizzata (*CAM*).

Con il *computer-aided design (CAD)* si fa riferimento all'utilizzo di computer nelle fasi di disegno, progettazione e ingegnerizzazione di nuovi prodotti, rendendo possibile la realizzazione di innumerevoli alternative di progettazione e di versioni in scala minore o maggiore rispetto all'originale.

Il *computer-aided manufacturing*, invece, è inteso come l'impiego di macchine a controllo computerizzato nelle fasi di gestione dei materiali, di fabbricazione dei componenti, di produzione e di assemblaggio. Il sistema *CAM* consente, dunque, di produrre prodotti diversi, modificando solamente le istruzioni del *software* e di soddisfare rapidamente le richieste dei clienti.<sup>30</sup>

## **2.2 La struttura organizzativa**

È opportuno sottolineare come le tecnologie di cui sopra, per permettere alla *smart factory* di far fronte alle esigenze personalizzate e alle nuove sfide di mercato sorte con la quarta rivoluzione industriale, devono essere applicate ad ogni aspetto dell'industria, perché necessarie a implementare i tre tipi di integrazione (illustrati nella figura qui riportata) su cui

---

<sup>29</sup> Lamparelli, A., (2021). *Sistemi cyber-fisici: la trasformazione guidata dalla quarta rivoluzione industriale*. Leyton.

<sup>30</sup> Richard L. Daft, *Organizzazione aziendale*, Maggioli Editori, 2021, capitolo VIII, pp 295-336

la *smart factory* stessa si basa, ovvero, l'integrazione orizzontale attraverso reti di valore, l'integrazione verticale e sistemi di produzione in rete e l'integrazione digitale *end-to-end*.

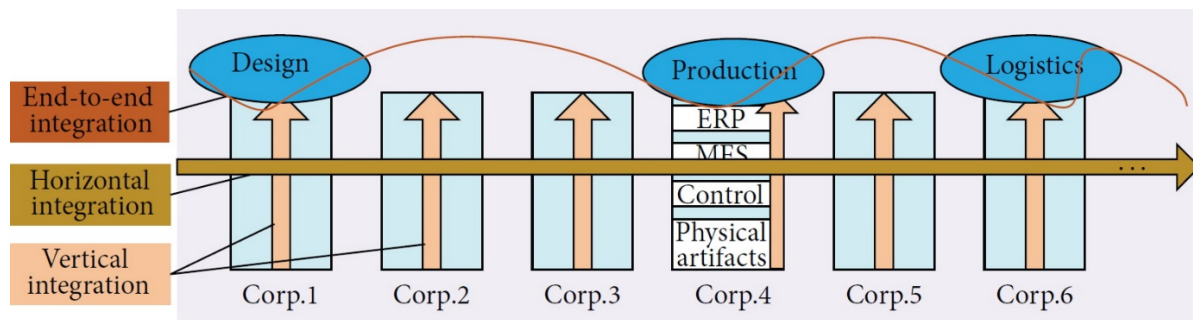


Figura 7: i tre tipi di integrazione della smart factory e le loro relazioni; Wang S, Wan J, Li D, Zhang C. *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2016;12(1).*

Procedendo con ordine, una società integrata orizzontalmente sarebbe in grado di competere e cooperare con le altre società ad essa correlate, creando, in tal modo, un ecosistema efficiente in cui le informazioni possono agilmente circolare e portare alla nascita di nuove reti di valore e di nuovi modelli di *business*.

L'integrazione verticale, invece, fa riferimento alla capacità delle *smart machines* impiegate nella fabbrica intelligente di costituire un sistema auto-organizzato, riconfigurabile e adattabile a diverse tipologie di prodotto e di raccogliere ed elaborare una vastissima quantità di informazioni per rendere trasparente il processo di produzione.

La terza ed ultima tipologia di integrazione è l'“integrazione ingegneristica *end-to-end*”, grazie alla quale i prodotti, le attrezzature e i diversi *stakeholder* -come clienti, lavoratori, fornitori- sono inseriti in una rete virtuale e scambiano dati nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto.

Da un punto di vista esclusivamente interno all'azienda, senza quindi considerare altri soggetti esterni ad essa, la fabbrica intelligente si articola sui quattro livelli presenti in *Figura 8*: livello delle risorse fisiche, livello di rete industriale, *cloud layer* e livello terminale di supervisione e controllo.

Il primo livello è quello delle risorse fisiche e comprende prodotti, macchine e trasportatori intelligenti. Tali risorse, potendo comunicare tra loro sfruttando la rete industriale e collaborare al raggiungimento di un obiettivo comune, danno vita ad un sistema di produzione autonomo, auto-organizzato e basato su un meccanismo di negoziazione e su una rete industriale intelligenti.

Il livello di rete industriale, invece, permette la creazione di un'infrastruttura che rende possibile, attraverso collegamenti *wireless* più flessibili e convenienti, la comunicazione tra le risorse fisiche di cui sopra e il terzo livello del *cloud*.

Quest'ultimo costituisce il vero supporto della fabbrica intelligente. Il *cloud service*, infatti, garantisce l'elaborazione dei dati prodotti dagli “*artefatti intelligenti*”, così da supportare la gestione, l'ottimizzazione, la supervisione e il controllo del sistema.

Il “livello terminale di supervisione e controllo” rappresenta, infine, l'ultimo dei quattro livelli su cui è costruita la *smart factory* e permette il collegamento tra la fabbrica stessa e l'essere umano. Attraverso PC, tablet o telefoni cellulari si può, infatti, accedere alle statistiche memorizzate nel *cloud*, apportare modifiche alla configurazione o effettuare, anche da remoto attraverso internet, operazioni di manutenzione e diagnosi.<sup>31</sup>

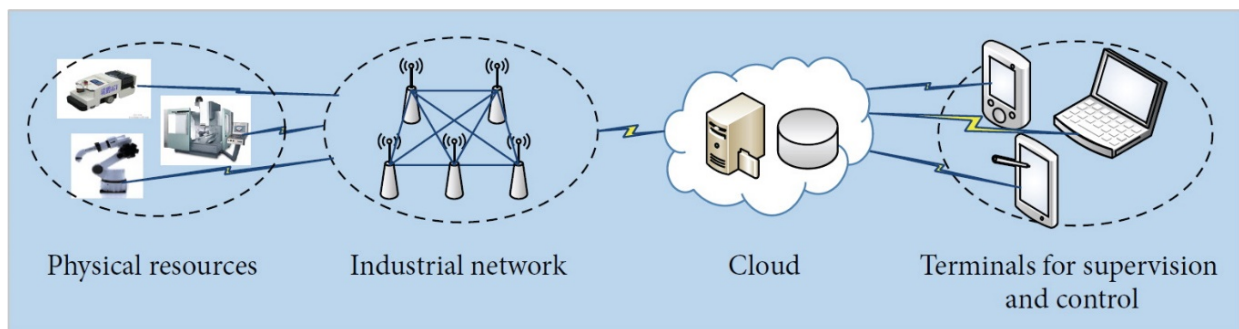


Figura 8: I quattro livelli della fabbrica intelligente; Wang S, Wan J, Li D, Zhang C. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2016;12(1).

Infine, continuando nella prospettiva interna alla *smart factory*, due delle tre forme di integrazione aziendale di cui sopra possono essere declinate anche in un'ottica “micro”.

In particolare, l'integrazione orizzontale, da un punto di vista interno all'organizzazione, risulta essere caratterizzata da moduli di creazione di valore collegati tra loro lungo il flusso di materiali della fabbrica intelligente e dalla logistica intelligente. Ciò comporta che l'attività di logistica in entrata e in uscita sarà svolta da veicoli a guida automatica (*AGV*) in grado di reagire facilmente ad eventi imprevisti, come un cambiamento nel traffico o nelle condizioni atmosferiche, e di agire autonomamente tra il punto di partenza e la destinazione che viene

<sup>31</sup> Wang S, Wan J, Li D, Zhang C. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2016;12(1).



assegnata loro. Inoltre, tali mezzi di trasporto sono in grado di scambiare dati intelligenti con i suddetti moduli di creazione del valore, creando, così, un coordinamento decentralizzato delle forniture e dei prodotti con il sistema di trasporto. A tal fine è necessario che le forniture e i prodotti contengano dei sistemi di identificazione, come *chip RFID* o codici *QR*, così che possano essere identificati e localizzati in ogni momento all'interno della catena del valore.

L'integrazione verticale, invece, fa riferimento al collegamento intelligente tra tutti i fattori di creazione del valore, quali i prodotti, le attrezzature e le persone, e le diverse attività della catena del valore, come le funzioni marketing e vendite, assistenza e acquisti. Si può, in questo modo, permettere ai sistemi di produzione, come le macchine utensili e gli strumenti di assemblaggio, di identificare e localizzare i fattori di *value creation*, quali i prodotti o le persone, e di monitorare tutti i processi di produzione, così da poter reagire in tempo reale a cambiamenti specifici del prodotto, dei processi e delle persone.

La comunicazione e lo scambio di dati intelligenti che sono posti in essere tra gli attori dei due livelli di integrazione vengono eseguiti tramite il *cloud*.<sup>32</sup>

Alla luce di ciò, si può dunque affermare che una fabbrica intelligente, grazie a questo tipo di organizzazione, dà vita ad un ecosistema produttivo agile, decentralizzato e capace di invertire la logica dei sistemi di produzione tradizionali. Le macchine industriali di produzione, infatti, non si limitano ad elaborare il prodotto, ma è quest'ultimo a dire loro cosa fare.<sup>33</sup>

Ad essere decentralizzato, infine, è anche il processo decisionale all'interno della *smart factory*, che si basa su un ambiente generale organico, auto-regolamentato e con pochi livelli gerarchici, in grado, così, di far fronte alla mutevole domanda da parte dei clienti.<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> Stock, T. e Seliger, G. (2016). *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*, Procedia CIRP, Vol (40), pp 536-541, Elsevier.

<sup>33</sup> Gabriel, M. e Pessl, E., (2016). *Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences*. Annals of faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XIV, Fascicule 2.

<sup>34</sup> Richard L. Daft, *Organizzazione aziendale*, Maggioli Editori, 2021, capitolo VIII, pp 295-336

## CAPITOLO 3

### **STIMA DELL'IMPATTO DELLA DIGITAL ECONOMY SULLE PERFORMANCE DELLE IMPRESE MEDIANTE IL SOFTWARE RSTUDIO**

Stante quanto detto, in questo capitolo si vuole procedere a fornire una risposta alla domanda di ricerca che è alla base di questa tesi: “in che modo l'entrata delle imprese manifatturiere nella quarta rivoluzione industriale ha impattato e impatterà sulle *performance* delle stesse?”.

Oggetto di questa analisi sono le imprese manifatturiere dei paesi appartenenti all'Unione Europea, suddivisi in “paesi sviluppati” e “paesi in via di sviluppo”.

Ricadono tra i paesi del primo gruppo il Belgio, la Danimarca, la Germania, l'Irlanda, la Spagna, la Francia, l'Italia, il Lussemburgo, i Paesi Bassi, l'Austria, il Portogallo la Finlandia e la Svezia. Fanno, invece, parte dei paesi non sviluppati la Bulgaria, la Repubblica Ceca, l'Estonia, la Grecia, la Croazia, la Repubblica di Cipro, la Lettonia, la Lituania, l'Ungheria, la Repubblica di Malta, la Polonia, la Romania, la Slovenia e la Slovacchia.

A tale scopo, ricorrendo all'archivio statistico dell'Eurostat, è stato costruito un dataset disaggregato a livello regionale e composto da dieci variabili rappresentative della *digital economy*, quali:

- il Pil *pro-capite*;
- il tasso di occupazione;
- il tasso di disoccupazione;
- il tasso di crescita della popolazione;
- il capitale umano impiegato nelle imprese;
- il capitale fisico impiegato nelle imprese;
- le risorse umane impiegate nel settore di ricerca e sviluppo;
- l'*e-commerce*, rappresentato dagli individui che hanno ordinato beni o servizi tramite internet per uso privato;

- i salari e gli stipendi erogati dalle imprese manifatturiere;
- le persone impiegate nelle imprese.

Per la misurazione delle *performance* delle imprese è stata utilizzata la variabile “salari e stipendi”; le altre variabili prese in considerazione rappresentano, invece, le variabili indipendenti.

Il lavoro di analisi inizierà con la costruzione di due modelli di regressione lineare, che permettono di studiare le relazioni che intercorrono tra la variabile dipendente “salari e stipendi” e le variabili indipendenti prese a riferimento sia nei paesi sviluppati che nei paesi in via di sviluppo, e si concluderà con lo studio di serie storiche, seguendo la procedura d’analisi di Box & Jenkins.

### **3.1 Costruzione dei modelli di regressione**

#### **3.1.1 Analisi nei paesi sviluppati**

Per fornire una risposta alla domanda di ricerca che guida la presente analisi, è stato costruito, tramite il *software RStudio*, per i paesi sviluppati e per i paesi in via di sviluppo, il seguente modello di regressione multipla:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + u_i \quad (1)$$

Nell’equazione (1) la variabile dipendente è indicata con  $y_i$ , le variabili indipendenti con  $x_{1i}$ ;  $x_{2i}$ ;  $x_{3i}$ . Il termine  $u_i$  rappresenta l’errore di regressione; i termini  $\beta_0$  e  $\beta_k$ , invece, individuano i parametri di regressione.

Per il modello costruito per i paesi sviluppati, è stata presa come variabile dipendente la variabile “salari e stipendi”, a rappresentazione delle *performance* delle imprese, e come variabili indipendenti le variabili “risorse umane impiegate nel settore di ricerca e sviluppo”, “tasso di disoccupazione” e “persone impiegate nelle imprese”.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-1.723724	0.425182	-4.054	0.00670 **
HR_in_R&D_deved	-0.005200	0.002584	-2.012	0.09087 .
unemployment_rate_deved	-0.016969	0.003650	-4.649	0.00351 **
people_employed_deved	1.137073	0.063187	17.995	0.000 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.004617 on 6 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.9904, Adjusted R-squared: 0.9856  
F-statistic: 205.9 on 3 and 6 DF, p-value: 1.941e-06

Come si può osservare dall'*output* restituito, le sole variabili che sono risultate essere strettamente significative tra loro e adatte alla costruzione del modello sono quelle relative alle risorse umane impiegate nel settore di R&S, al tasso di disoccupazione e alle persone impiegate nelle imprese.

In particolare, la variabile “risorse umane impiegate nell’attività di ricerca e sviluppo” risulta essere significativa al 10%, la variabile “tasso di disoccupazione” all’1 % e la variabile “persone impiegate nelle imprese” allo 0,1%.

Un parametro è detto “significativo” se ha un effetto significativo sulla variabile dipendente che, in questo caso, corrisponde ai salari e agli stipendi corrisposti dalle imprese.

Per il calcolo di detta significatività si prende come riferimento il valore associato al *p-valore*, definito come il più basso livello di significatività secondo cui la stima del parametro di regressione è diversa dal valore ipotetico. In un modello come quello proposto, in cui il numero delle osservazioni è minore di trenta, il *p-valore* è pari alla probabilità che la distribuzione standard sia strettamente maggiore alla statistica test in valore assoluto:

$$p - valore = \Pr(Z > |z_{test}|) = 1 - \Pr(Z \leq |z_{test}|)$$

La significatività di sole tre variabili è dovuta alla presenza di un problema di multicollinearità che, causato dal *dataset* costruito così come sopraindicato, si esplica in una correlazione maggiore dell’80% tra le variabili. In particolare:

- il Pil *pro-capite* risulta essere correlato al 96,36 % con il tasso di occupazione; al 92,96% con il capitale umano impiegato nelle imprese; al 92,15% con le risorse umane impiegate nel settore di ricerca e sviluppo e al 91,33% con l’e-commerce;
- il tasso di disoccupazione presenta una correlazione pari al 99,21% con il tasso di occupazione; al 93,80 % con il capitale umano impiegato nelle imprese e al 93,67% con l’e-commerce;

- infine, la variabile dipendente “salari e stipendi” mostra una correlazione pari 92,41% con le persone impiegate nelle imprese.

Una così alta correlazione tra le variabili spiega perché l’indice  $R^2$ -adjusted sia pari al 98,56%. Tale indice è un indice di bontà di adattamento utilizzato nella regressione multipla ed è pari a:

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} * \frac{SSR}{TSS} = 1 - \frac{s_u^2}{s_y^2}$$

I termini  $TSS$  (somma dei quadrati totali) e  $SSR$  (somma dei quadrati dei residui) sono indici di variabilità.

In particolare, la  $TSS$ , rappresentando la variabilità complessiva dei dati, misura la variabilità totale nella variabile dipendente  $y$  e si calcola come la somma dei quadrati delle differenze di ciascun valore osservato ( $y_i$ ) e la media ( $\bar{y}$ ) della variabile dipendente:  $TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$

Il termine  $SSR$  misura, invece, la variabilità residua non spiegata dal modello di regressione ed è pari alla somma dei quadrati delle differenze tra i valori osservati ( $y_i$ ) e i valori predetti ( $\hat{y}_i$ ).  $SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ .

I suddetti indici di variabilità, per il calcolo dell’ $R^2$ -adjusted vengono ponderati per i rispettivi gradi di libertà, rispettivamente pari a  $n-k-1$  per l’indice  $SSR$  e  $n-1$  per l’indice  $TSS$ . Grazie a tale ponderazione si evita che l’indice  $\bar{R}^2$  cresca ogni volta che viene aggiunta una variabile indipendente.

È opportuno evidenziare, inoltre, la presenza della relazione positiva tra la variabile dipendente “salari e stipendi erogati dalle imprese” e le persone impiegate nelle imprese e (la presenza) della relazione negativa che sussiste tra la variabile dipendente e le variabili “risorse umane impiegate nel settore di ricerca e sviluppo” e “tasso di disoccupazione”.

L’effetto negativo tra il salario e le risorse umane impiegate nel settore della ricerca e sviluppo può essere spiegato dalla mancanza di volontà da parte delle imprese di investire in attività di R&S, nonché dalla mancanza di sufficienti risorse umane da allocare nella suddetta attività o dall’inadeguatezza delle competenze degli impiegati.

A tal proposito, si vuole sottolineare come l’impiego delle nuove tecnologie all’interno delle imprese ha portato ciò che viene definito come “*skill biased change*”: ai lavoratori sono richieste competenze sempre più specializzate e meno routinarie. Ciò significa che le imprese

possono beneficiare di un incremento delle proprie *performance*, competitività e profittabilità solo disponendo di capitale qualificato.<sup>35</sup>

### 3.1.2 Analisi nei paesi in via di sviluppo

Per quanto riguarda l'analisi riferita ai paesi in via di sviluppo, il modello di regressione è stato costruito prendendo come variabile dipendente i salari e gli stipendi erogati dalle imprese e come variabili indipendenti le variabili “*e-commerce*”, “tasso di disoccupazione” e “risorse umane impiegate nel settore di ricerca e sviluppo”; sono queste, infatti, le uniche variabili ad essere strettamente significative tra loro.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	11.98145	2.81669	4.254	0.00536	**
<i>e-commerce</i> _deving	0.02361	0.01008	2.343	0.05760	.
unemployment__rate_deving	-0.12173	0.02806	-4.339	0.00488	**
HR_in_R&D_deving	-0.24054	0.08135	-2.957	0.02538	*

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.033 on 6 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.8586, Adjusted R-squared: 0.7879  
 F-statistic: 12.15 on 3 and 6 DF, p-value: 0.005843

Nello specifico, la variabile “*e-commerce*” risulta essere significativa al 10%, la variabile “tasso di disoccupazione” all’ 1% e la variabile “risorse umane impiegate in attività di R&S” al 5%.

Anche in questo modello, come in quello dei paesi sviluppati, si è in presenza di un elevato valore dell'indicatore *R<sup>2</sup>-adjusted*, pari al 78,79%. Ciò si deve alla permanenza di una forte correlazione tra le variabili, nonostante il problema della multicollinearità, dovuto alla costruzione del *dataset*, sia stato risolto.

In particolare, tra i paesi in via di sviluppo si assiste ad una forte correlazione tra il Pil *pro-capite* e il tasso di occupazione (94,58%), il capitale umano impiegato nelle imprese (94,46%), le risorse umane impiegate nel settore di ricerca e sviluppo (94,35%) e l'*e-commerce* (93,72).

Il tasso di disoccupazione è, a sua volta, correlato al 98,32% con il tasso di occupazione, al 95,44% con il capitale umano e all’88,19% con l'*e-commerce*.

---

<sup>35</sup> I libri del fondo sociale europeo n. 153, *Istruzione, Formazione e Mercato del lavoro: I rendimenti del capitale umano in Italia*, 2010, I, pp. 20-23

Il capitale fisico impiegato nelle imprese, invece, presenta un'alta correlazione solo con le risorse umane impiegate in attività di R&S.

La variabile dipendente “salari e stipendi”, infine, risulta avere una correlazione maggiore all'80% solo con la variabile “persone impiegate nelle imprese”, pari all'88,59%.

Come si può notare dall'*output* restituito dal *software RStudio*, c'è, come per i paesi sviluppati, una relazione negativa tra i salari dei paesi in via di sviluppo e il tasso di disoccupazione e le risorse umane impiegate nei settori di ricerca delle imprese.

Si attesta, invece, una relazione positiva tra la variabile dipendente e la variabile indipendente relativa all'*e-commerce*.

L'offerta di prodotti e servizi digitali, garantita dall'implementazione tecnologica, permette alle imprese di semplificare i processi aziendali e di migliorare il proprio servizio clienti, ottenendo, così, un incremento delle *performance*.

Per poter trarre vantaggio dall'*e-commerce* è, però, necessario che le iniziative relative a quest'ultimo vengano fatte rientrare negli obiettivi strategici dell'impresa, definiti in seguito ad un'attenta analisi della propria base di clienti e concorrenti. È solo così, infatti, che le imprese possono trovare nel commercio elettronico una fonte di redditività sostenibile.<sup>36</sup>

### ***3. 2 Analisi di serie storiche attraverso le fasi del modello Box & Jenkins***

Si procederà ora all'analisi di serie storiche, che coprono gli anni dal 2013 al 2022, per i paesi sviluppati e in via di sviluppo seguendo la procedura di Box & Jenkins: si inizierà con un'analisi grafica delle serie storiche, verificando anche la presenza di dipendenze lineari; successivamente si dimostreranno analiticamente i risultati ottenuti e, infine, l'analisi verrà conclusa con la fase del “*forecasting*”, in cui verranno effettuate previsioni per gli anni futuri, si verificherà la presenza di un *break* strutturale, ovvero un avvenimento in grado di modificare l'andamento di una variabile. Infine, verranno costruiti dei modelli *ADL*.

---

<sup>36</sup> Chang, K.C, Jackson, J, Grover, V, *E-commerce and corporate strategy: an executive perspective*, Information & Management, Vol (40), Issue 7, August 2003, ppg. 663-675, Elsevier

### 3.2.1 Fase I: analisi grafica

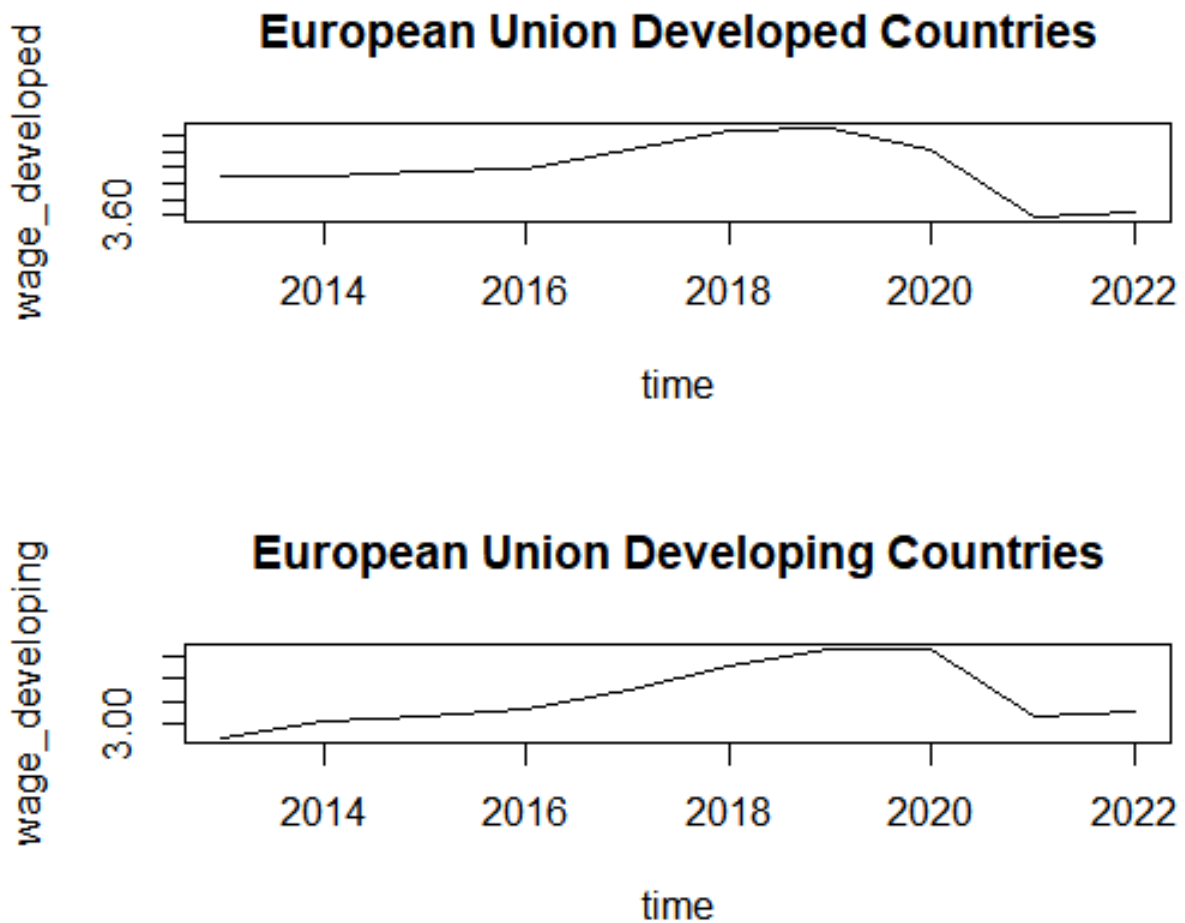


Grafico 3: salari e stipendi erogati dalle imprese dell'UE nei paesi sviluppati e in via di sviluppo dal 2013 al 2022; fonte propria

Per quanto riguarda l'analisi grafica delle variabili dipendenti "salari e stipendi erogati dalle imprese", si può notare dal grafico riportato come a partire dal 2013, anno di inizio della serie storica, il salario erogato dalle imprese dei paesi sviluppati dell'UE risulta essere maggiore rispetto a quello dei paesi in via di sviluppo.

A partire dal 2019 però, a causa della pandemia covid-19, i salari hanno iniziato a diminuire in entrambi i gruppi di paesi dell'unione europea, portando nel 2021 a risultati inaspettati. In detto anno, infatti, i salari dei paesi sviluppati si sono ridotti in misura nettamente maggiore rispetto a quelli dei paesi in via di sviluppo, il cui rialzo sembrerebbe essere maggiore rispetto a quello dei paesi sviluppati.



Tali risultati sono spiegati facendo ricorso al fenomeno del *catching-up*, secondo il quale, nel breve termine, i paesi con minor tasso di crescita tendono a crescere più velocemente rispetto ai paesi con un maggior livello di produttività o di Pil *pro-capite*.

Ciò è garantito dalla possibilità per i paesi meno sviluppati di adottare e implementare tecnologie già sviluppate dai paesi avanzati, evitando, così, i costi e i rischi legati alla ricerca e allo sviluppo iniziale.

Nel lungo termine, invece, i paesi più sviluppati tendono a crescere più velocemente e a mantenere livelli più alti di Pil *pro-capite*.

Si rende ora necessario verificare la presenza di dipendenze lineari, ovvero della presenza di relazioni che la variabile dipendente ha sul suo passato.

Ciò comporta che il cambiamento del passato della variabile farà mutare il valore della variabile stessa al tempo preso in considerazione per l'analisi.

Un cambiamento di tal genere è da attribuire a effetti esterni non direttamente misurabili, che, nel caso in questione, potrebbero essere dovuti a fattori strettamente correlati alla produttività o a fattori di servizio tecnologico.

La presenza di tali dipendenze permette, dunque, di predire l'andamento della variabile "salari e stipendi" corrisposti dalle imprese a partire dalla distribuzione passata della stessa.

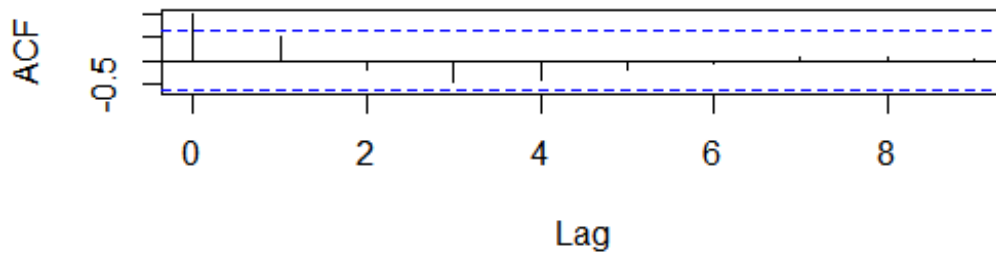
Si studia la presenza di dipendenze lineari testando la significatività delle funzioni di autocorrelazione (*ACF*) mediante il test di Portmanteau.

L'*ACF* di una serie storica  $\{y_t\}$  è definita come il rapporto tra la covarianza tra  $y_t$  e  $y_{t-j}$  e la radice del prodotto tra le varianze di  $y_t$  e  $y_{t-j}$ : 
$$\rho(j) = \frac{\text{Cov}(y_t, y_{t-j})}{\sqrt{V(y_t) * V(y_{t-j})}}$$

La presenza di dette dipendenze può essere testata anche attraverso l'analisi dei correlogrammi delle funzioni di autocorrelazione.

Si riportano di seguito i correlogrammi delle *ACF* dei paesi sviluppati e dei paesi in via di sviluppo.

### ACF - European Union Developed Countries



### ACF - European Union Developing Countries

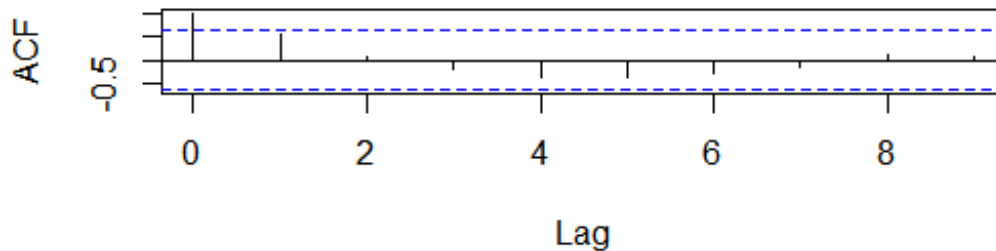


Grafico 4: funzioni di autocorrelazione dei paesi in via di sviluppo appartenenti all'unione europea; fonte propria

Osservando le funzioni di autocorrelazione comprese nelle bande di Bartlett, indicative di un intervallo di confidenza del 95%, si può notare come la variabile dipendente (livello di salario e stipendio per impresa) mostra più alte dipendenze lineari nei paesi sviluppati che in quelli in via di sviluppo. Questi ultimi, infatti, non usufruiscono o, se lo fanno, è in misura minore dei benefici tecnologici di cui godono le industrie manifatturiere dei paesi sviluppati appartenenti all'UE.

#### 3.2.2 Fase II: analisi empirica

Segue all'analisi grafica l'analisi empirica delle serie storiche, che costituisce la seconda fase della procedura Box-Jenkins, nella quale verrà testata la stazionarietà delle serie storiche attraverso il test di Dickey-Fuller e verranno individuati i ritardi ottimali del modello.

Per verificare se le serie dipendono da componenti di tempo, è stato eseguito un *Augmented Dickey-Fuller Test*.

In particolare, come si può dedurre dagli *output* elaborati dal *software* e qui riportati, le serie storiche dei paesi sviluppati e in via di sviluppo risultano essere non stazionarie: i valori del p-valore, infatti, rispettivamente pari a 0,09478 e 0,3966, risultano essere maggiori di 0,05.

#### Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: wages and salaries in European Union developed countries
Dickey-Fuller = -3.2775, Lag order = 1, p-value = 0.09478
alternative hypothesis: stationary
```

#### Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: wages and salaries in European Union developing countries
Dickey-Fuller = -2.4614, Lag order = 1, p-value = 0.3966
alternative hypothesis: stationary.
```

La non stazionarietà, dovuta al fatto che i modelli seguono dei *trend*, viene superata differenziando la variabile, ovvero, minimizzando le dipendenze che la serie storica ha su  $y_t$ .

Si prosegue l'analisi delle serie storiche costruendo un modello autoregressivo, ottenuto regredendo la  $y$  sui suoi ritardi, e studiando i suoi ritardi ottimali attraverso il criterio di informazione dell'Akaike.

L'*AIC* (*Akaike Information Criterion*) è pari a:

$$AIC(p) = \ln\left(\frac{SSR(p)}{T}\right) + (p + 1) * \frac{2}{T}$$

Il termine  $SSR(p)$  rappresenta la somma dei quadrati dei residui della stima del modello autoregressivo; con  $(p + 1)$  si indicano i ritardi delle covariate e dell'intercetta; il 2, invece, costituisce il *penalty term*.

I ritardi ottimali per i modelli di entrambi i paesi risultano essere sette, risultato anomalo per modelli che seguono un *trend* e che dovrebbero avere, di conseguenza, un numero inferiore di ritardi ottimali.

Per confermare la correttezza dei modelli autoregressivi costruiti, da un punto di vista analitico, si esegue un test sulla significatività dei coefficienti di autoregressione e, da un punto di vista grafico, si analizzano le correlazioni seriali nei residui.

Si riportano di seguito i risultati dei test per la verifica della significatività dei coefficienti autoregressivi dei paesi sviluppati e, di seguito, dei paesi in via di sviluppo.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
ar1	-0.925	0.000	-3421.400	< 0.000	***
ar2	-0.620	0.000	-1205.200	< 0.000	***
ar3	-1.907	0.000	-5326.500	< 0.000	***
ar4	-1.907	0.000	-5326.400	< 0.000	***
ar5	-0.620	0.000	-1205.200	< 0.000	***
ar6	-0.925	0.000	-3421.500	< 0.000	***
ar7	-1.000	0.000	-13218000	< 0.000	***
intercept	-0.001	0.000	-4.011	0.000	***

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
ar1	-0.832	0.000	-3290.300	< 2.2e-16	***
ar2	-0.759	0.000	-1875.600	< 2.2e-16	***
ar3	-1.397	0.000	-4280.600	< 2.2e-16	***
ar4	-1.397	0.000	-4280.600	< 2.2e-16	***
ar5	-0.759	0.000	-1875.600	< 2.2e-16	***
ar6	-0.832	0.000	-3290.300	< 2.2e-16	***
ar7	-1.000	0.000	-6085800	< 2.2e-16	***
intercept	-0.009	0.000	27.203	< 2.2e-16	***

Si può dedurre dai risultati proposti la presenza di effetti non direttamente osservabili che, impattando negativamente sulla distribuzione passata dei salari e degli stipendi erogati dalle imprese dei paesi sviluppati e in via di sviluppo appartenenti all'unione europea, hanno creato variazioni fino al tempo preso in considerazione per l'analisi.

Si nota, inoltre, che tutti i coefficienti autoregressivi risultano essere significativi all'1%, significatività attestata dai tre asterischi. Da ciò si può comprendere di essere in presenza di *endogeneity issues*, che dipendono dalle *omitted variables* e dall'*unobserved heterogeneity*.

Con il termine *omitted variables* ci si riferisce alla distorsione da variabili omesse, dovuta al fatto che si sta eseguendo un'analisi univariata: l'analisi dell'*output* suggerisce, infatti, che dovrebbe essere effettuata un'analisi multivariata, aggiungendo, dunque, ulteriori variabili al modello per studiarne la cointegrazione.

L'eterogeneità non osservata (*unobserved heterogeneity*), invece, dipende da effetti non direttamente misurabili: ci sono, infatti, degli avvenimenti, come l'entrata in una nuova era industriale o *shock* inattesi come la pandemia, che non possono essere stimati nel modello. Ciò

porta a concentrarsi sullo studio di variabili che sono state fortemente colpite da tali *shock* (le cosiddette variabili *proxy*), che a loro volta hanno impattato sulla variabile “salari e stipendi”.

Lo studio di tali questioni di endogeneità verrà poi approfondito mediante la costruzione di un modello *ADL*.

Si può, dunque, confermare, come detto, la correttezza dei modelli stimati mediante lo studio delle correlazioni seriali per i paesi sviluppati e in via di sviluppo.

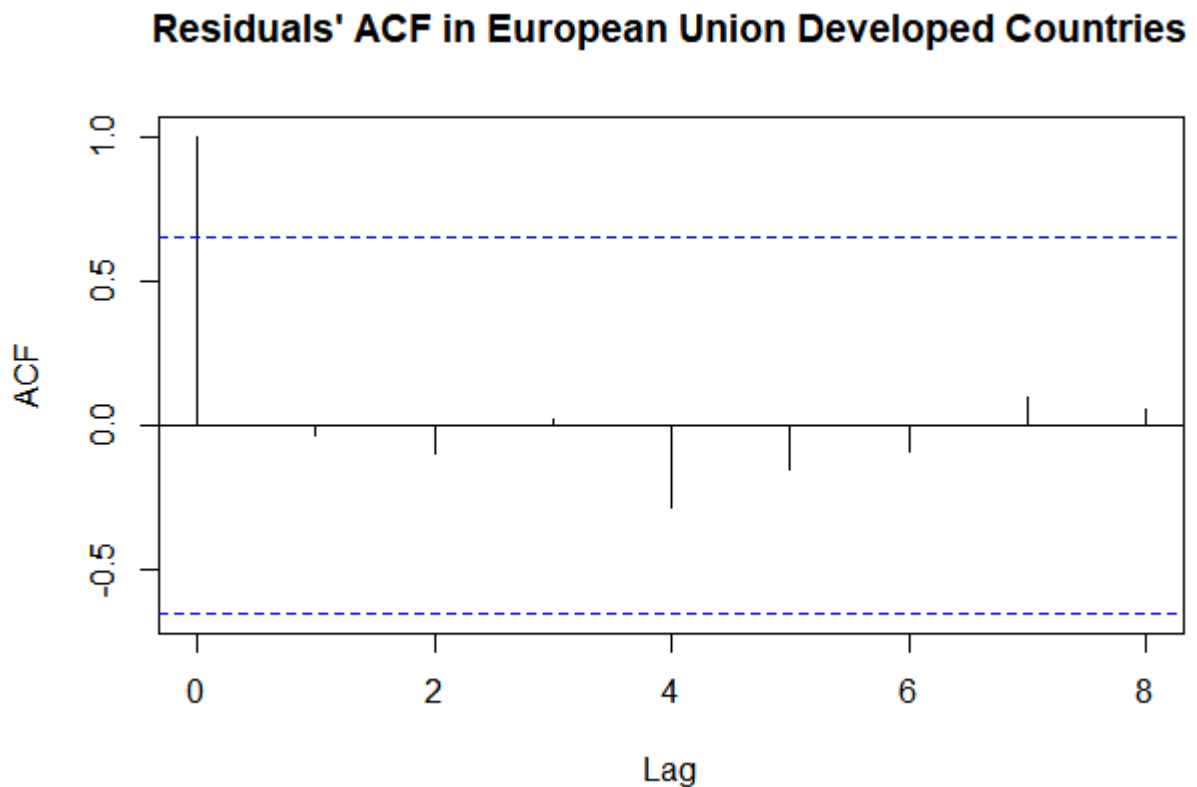


Grafico 5: funzioni di autocorrelazione dei residui nei paesi sviluppati appartenenti all'unione europea; fonte propria

## Residuals' ACF in European Union Developing Countries

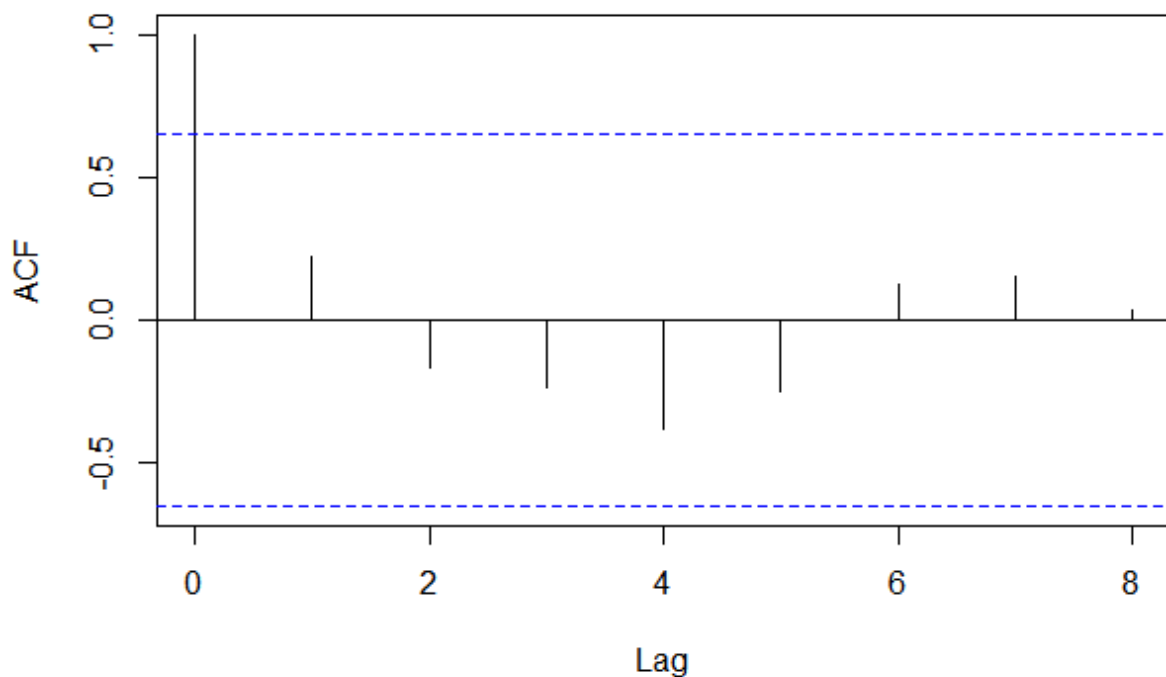


Grafico 6: funzioni di autocorrelazione dei residui nei paesi in via di sviluppo appartenenti all'unione europea

Come si può osservare dai grafici riportati, senza considerare quanto risultante dal  $Lag = 0$  perché corrispondente al periodo di osservazione, tutte le dipendenze lineari tra i residui sono nulle: le funzioni di autocorrelazione dei residui, infatti, non fuoriescono dalle Bande di Bartlett. Se ciò si fosse verificato, non sarebbe possibile effettuare un *forecasting* affidabile.

### 3.2.3 Fase III: previsioni della serie “salari e stipendi erogati dalle imprese dell'UE”

La fase del *forecasting*, che costituisce l'ultimo *step* del modello di analisi fin ora seguito, prevede lo studio dell'andamento futuro dei salari e degli stipendi per i tre periodi successivi a quelli considerati, ossia il 2023, il 2024 e il 2025, il test della presenza di un *break* strutturale e la costruzione di un modello *Autoregressive Distributed Lag (ADL)*.

Per quanto riguarda le previsioni dei salari e degli stipendi corrisposti dalle imprese dei paesi sviluppati e in via di sviluppo, si riportano di seguito i grafici relativi alle suddette previsioni, sulle cui assi delle ascisse ai numeri 10, 11 e 12 corrispondono gli anni 2023, 2024 e 2025.

forecasting in AR(7)

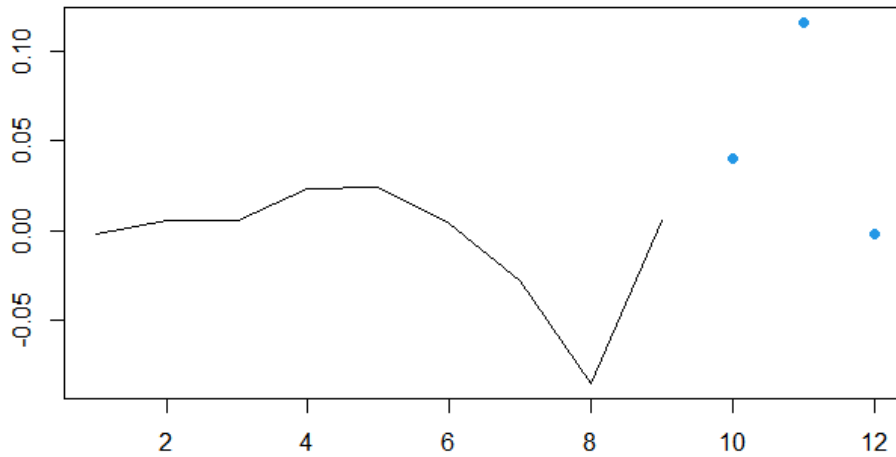


Grafico 7: previsioni dei salari e stipendi erogati dalle imprese dei paesi sviluppati appartenenti all'unione europea; fonte propria

forecasting in AR(7)

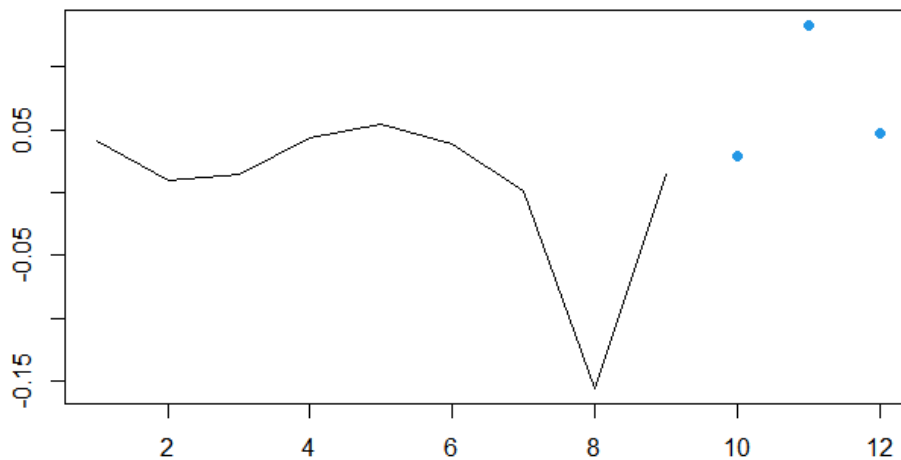


Grafico 8: previsioni dei salari e stipendi erogati dalle imprese dei paesi in via di sviluppo appartenenti all'unione europea; fonte propria

Come si può osservare, i salari per impresa erogati da entrambi i tipi di paesi sono aumentati nel 2023, stanno aumentando nel 2024 e si ridurranno nel 2025.

I paesi in via di sviluppo, però, rispetto ai paesi sviluppati, presenteranno una crescita maggiore dei salari nel 2024 e una minore riduzione degli stessi nel 2025. In particolare, i valori di

previsione per i salari erogati nei paesi sviluppati risultano essere pari a 0.04 per il 2023, 0.12 per il 2024 e 0.002 per il 2025. Nei paesi in via di sviluppo, invece, ammontano a 0.02 per 2023, 0.13 per il 2024 e 0.05 per il 2025.

Sono due i motivi per cui i salari per impresa presentano un tale andamento.

In primo luogo, le imprese manifatturiere, a seguito dei conflitti bellici, hanno beneficiato dell'aumento dei fondi pubblici e dei prezzi, a cui, però, non è seguita una crescita economica; ciò ha permesso di vendere i propri prodotti ad un prezzo molto più elevato, che ha portato a una riduzione della domanda. Le aziende, dunque, trovandosi attualmente di fronte a un eccesso di offerta, abbasseranno nel 2025 i relativi salari.

A favorire l'aumento dei salari è stato anche il diffondersi della digitalizzazione nel settore manifatturiero. Tuttavia, la *digital economy* è cresciuta più velocemente dell'economia legata alla produttività.

Infine, per valutare l'efficacia della previsione, si fa riferimento al valore del *RMSFE* (*Root Mean Squared Forecast Error*), statistica utilizzata per calcolare l'*accuracy* (accuratezza) della previsione stessa

Il *RMSFE* è pari alla radice quadrata degli errori di previsione:

$$RMSFE = \sqrt{E[(y_{T+h} - \hat{y}_{T+h|T})^2]}$$

Essendo tale metrica pari a 0.0000241 e 0.0000257 rispettivamente per i paesi sviluppati e in via di sviluppo, si può affermare che i modelli previsionali presentano buone capacità predittive.

Infine, per testare la presenza di break strutturali per l'anno 2019, si va ad eseguire un test di Chow sulle due variabili dipendenti "salari e stipendi erogati dalle imprese", adatto nei casi in cui si conosce la data in cui si vuole confermare l'esistenza del *break* strutturale.

In particolare, come si può dedurre dagli *output* elaborati dal *software* e qui riportati, poiché i valori del p-valore risultano essere pari a 0.003313 per i paesi sviluppati e 0.005376 per i paesi non sviluppati e, dunque, minori di 0,05, si attesta la presenza di un break strutturale per l'anno 2019.



Chow test

```
data: salaries_UE_developed_countries ~ t
F = 17.123, p-value = 0.003313
```

Chow test

```
data: salaries_UEdeveloping_countries ~ t
F = 14.125, p-value = 0.005376
```

Attestata la presenza di un *break* strutturale, si prosegue l'analisi con la costruzione di modelli *ADL* (*Autoregressive Distributed Lag*), modelli autoregressivi distribuiti sui ritardi della variabile presa in esame e di un'altra variabile.

Un modello *ADL* si presenta nella seguente forma:

$$ADL(p, q): y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \dots + \beta_p y_{t-p} + \delta_1 X_{t-1} + \delta_2 X_{t-2} + \dots + \delta_q X_{t-q}$$

Stimando siffatti modelli si possono approfondire le questioni di endogeneità discusse nel paragrafo 3.2.2.

Poiché l'intento della presente analisi è studiare l'impatto della *digital economy* sui salari e sugli stipendi delle imprese, considerati come variabile dipendente indicativa della *performance* delle imprese, si andrà a regredire la variabile  $y$  sulla sua distribuzione passata e su quella di variabili rappresentative della *digital economy*, quali il capitale umano e il capitale fisico.

Per indagare gli effetti che la *digital economy* ha sui salari erogati dalle imprese appartenenti ai paesi sviluppati dell'Unione Europea, sono stati costruiti due modelli *ADL*.

Nel primo modello la variabile "salari e stipendi erogati dalle imprese" (variabile presente nel modello con il nome "1.1 ddep\_deved") è stata regredita sui suoi ritardi e su quelli della variabile "capitale umano impiegato nelle imprese" (indicata con il nome "1.1 dhcap"); nel secondo modello, invece, è stata considerata la variabile "capitale fisico impiegato nelle imprese" (riportata con il nome "1.1 dgfcf").

Si riportano di seguito i modelli costruiti mediante il *software RStudio*.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.08170	0.02551	3.203	0.0239 *
l.1.ddep_deved	-0.93025	0.23863	-3.898	0.0114 *
l.1.dhcap	-0.11149	0.03154	-3.534	0.0167 *

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02202 on 5 degrees of freedom  
(1 osservazione eliminata a causa di un valore mancante)  
Multiple R-squared: 0.8193, Adjusted R-squared: 0.747  
F-statistic: 11.33 on 2 and 5 DF, p-value: 0.01389

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.02517	0.01146	-2.196	0.0795 .
l.1.ddep_deved	0.05352	0.37557	0.142	0.8923
l.1.dgfcf	0.82668	0.27938	2.959	0.0316 *

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02483 on 5 degrees of freedom  
(1 osservazione eliminata a causa di un valore mancante)  
Multiple R-squared: 0.7702, Adjusted R-squared: 0.6783  
F-statistic: 8.378 on 2 and 5 DF, p-value: 0.02532

La significatività nelle componenti autoregressive dell'investimento in capitale umano e fisico denota che tali variabili hanno un impatto significativo sui salari per impresa. In particolare, la variazione del capitale umano ha impattato negativamente sui salari, al contrario del capitale fisico, la cui variazione ha determinato un impatto positivo.

Da ciò si deduce che, poiché la maggior parte dei servizi produttivi viene eseguita dalle macchine, un aumento di capitale umano, se non specializzato, porta a una riduzione delle *performance* delle imprese.

Per i paesi in via di sviluppo, sono stati costruiti gli stessi modelli realizzati per i paesi sviluppati.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.0803	0.1994	0.403	0.7038
l.1.ddep_deving	-0.9457	0.4400	-2.149	0.0843 .
l.1.dhcap	-0.1047	0.2650	-0.395	0.7090

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.07736 on 5 degrees of freedom  
(1 osservazione eliminata a causa di un valore mancante)  
Multiple R-squared: 0.4804, Adjusted R-squared: 0.2725  
F-statistic: 2.311 on 2 and 5 DF, p-value: 0.1947

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.04353	0.03725	-1.168	0.295
l.1.ddep_deving	-0.10973	0.62605	-0.175	0.868
l.1.dgfcf	0.97843	0.62811	1.558	0.180

Residual standard error: 0.06446 on 5 degrees of freedom  
(1 osservazione eliminata a causa di un valore mancante)  
Multiple R-squared: 0.6392, Adjusted R-squared: 0.4949  
F-statistic: 4.429 on 2 and 5 DF, p-value: 0.07818

Dagli *output* riportati si può dedurre che, come accade per i paesi sviluppati, l'investimento in capitale umano (indicato nel modello realizzato con il nome "l.1 dhcap") impatta negativamente sul salario (corrispondente alla variabile "l.1 ddep\_deving"), contrariamente a quanto accade per l'investimento in capitale fisico (variabile indicata con il nome "l.1 dgfcf"). Tuttavia, tali effetti, risultano non essere significativi.

## CAPITOLO 4

### CONSIDERAZIONI FINALI E IMPLICAZIONI DI POLICY

#### *4.1 Risultati empirici dell'analisi svolta*

Alla luce dell'analisi effettuata si può affermare che le imprese manifatturiere dei paesi sviluppati e in via di sviluppo dell'Unione Europea, abbracciando i modelli produttivi e le tecnologie alla base della quarta rivoluzione industriale, attraverso investimenti mirati in capitale fisico e capitale umano specializzato, possono veder aumentare le loro *performance* e, di conseguenza, i salari da loro corrisposti.

È questo quanto è emerso dall'analisi svolta, iniziata con la costruzione di modelli di regressione, che hanno portato alla luce la presenza di relazioni negative tra i salari corrisposti dalle imprese e le risorse umane poco qualificate impiegate nell'attività di ricerca e sviluppo e le relazioni positive tra i salari e l'attività di *e-commerce* svolta dalle imprese, e conclusasi con lo studio di serie storiche.

In particolare, in quest'ultima fase di studio, mediante la costruzione dei modelli autoregressivi si è notata la presenza di *endogeneity issues*, dovuti all'omissione di ulteriori variabili nel modello e ad effetti non direttamente osservabili dal modello che si stava analizzando.

Approfondendo lo studio di tali questioni di edogeneità mediante la costruzione dei modelli *Autoregressive Distributed Lag*, si è reso manifesto che, a seguito dell'entrata delle imprese manifatturiere nella *digital economy*, le variazioni degli investimenti da loro effettuati in capitale umano e capitale fisico hanno avuto un impatto significativo sui salari e sugli stipendi erogati, presi in questa analisi come variabile dipendente rappresentativa delle *performance* delle stesse.

Pertanto, come sopra evidenziato, le imprese manifatturiere, per poter godere degli effetti della quarta rivoluzione industriale, devono allocare le loro risorse in capitale fisico e, solo se qualificato, anche in capitale umano.

#### ***4.2 Un business model all'insegna della sostenibilità***

Secondo quanto è emerso dallo studio effettuato, è dall'allocazione delle loro risorse in capitale fisico e umano specializzato che le imprese manifatturiere possono considerarsi sostenibili.

Adottando, infatti, il modello di *business* tipico della nuova *smart factory*, le imprese possono beneficiare di un sistema aziendale economicamente, socialmente e ambientalmente sostenibile.

Da un punto di vista economico, infatti, i principi di progettazione dell'industria 4.0 garantiscono numerosi vantaggi, quali la massimizzazione dell'efficienza nella gestione dei materiali, nell'utilizzo degli spazi e delle infrastrutture di produzione; la minimizzazione dei tempi di commercializzazione dei prodotti, dei rifiuti, degli sprechi e dei costi legati all'inventario; l'incremento dell'affidabilità nella produzione e nelle capacità di adattarsi alle strategie aziendali.

L'impresa, diventando in tal modo più flessibile, può far fronte ai cambiamenti e alle incertezze, anche ambientali, trasformando agilmente i propri modelli di *business*.

Tale agilità di adattamento è resa possibile da una maggiore digitalizzazione e integrazione della catena di fornitura e dalla possibilità che ha l'impresa di personalizzare il prodotto affidandosi a una *computer-aided manufacturing (CAM)* e un *computer-aided design (CAD)*.

Questo nuovo tipo di impresa impatta positivamente anche sul sociale, permettendo l'aumento dei posti di lavoro (soprattutto nei settori dell'informatica, della mecatronica e dell'ingegneria di processo) accompagnato da maggiori garanzie di sicurezza. Infatti, l'industria 4.0, grazie all'utilizzazione di sensori intelligenti, permette di prevenire potenziali pericoli evitando che gli stessi si trasformino in rischi reali per la sicurezza. In tale nuovo contesto lavorativo, gli strumenti di intelligenza artificiale consentono ai *manager* di proporre percorsi di carriera personalizzati, basati sulle capacità, sulle attitudini e sulla personalità di ogni dipendente.

Inoltre, incidendo sui salari erogati dalle imprese, come dimostrato in precedenza, il nuovo paradigma produttivo permette, oltre all'aumento dei posti di lavoro, anche l'incremento dei salari minimi, con conseguente crescita del benessere economico e sociale.

Infine, la sostenibilità ambientale deriva dalla possibilità di riduzione delle emissioni industriali di carbonio e di gas nocivi, che costituiscono il 40% delle emissioni di gas serra mondiali. Grazie ai sistemi di *IoT* e di *CAM* e *CAD*, le imprese, divenute più flessibili, sono in grado di ridurre gli sprechi, minimizzando, così, gli indici di emissione per prodotto.<sup>37</sup>

#### **4.3 Combattere la resistenza al cambiamento per raggiungere i benefici auspicati**

Il nuovo modello di *business* connesso alla *smart factory*, con i conseguenti benefici in tema di sostenibilità economica, sociale e ambientale sopra descritti, non sempre risulta di facile attuazione.

La strada verso una maggiore digitalizzazione non è, infatti, priva di ostacoli. Invero, per poter beneficiare di una maggiore flessibilità, produttività, redditività e sostenibilità, le imprese devono combattere e superare la resistenza al cambiamento da parte degli impiegati che, intimoriti dalla portata delle innovazioni, possono essere restii ad abbandonare la tradizione in favore di tecniche produttive così nuove e dirompenti.

Se da un lato, infatti, la *smart factory* garantisce l'automazione della produzione e l'accesso alle informazioni in tempo reale, allo stesso tempo, può provocare nei dipendenti sensazioni di controllo e inadeguatezza, timore di poter perdere il proprio potere o, addirittura, il loro impiego e un possibile aumento del carico di lavoro.

In particolare, la sensazione di controllo può derivare dalla possibilità che le imprese hanno di controllare non solo le macchine e il loro lavoro, ma anche e soprattutto le prestazioni dei lavoratori, le modalità e i tempi di svolgimento delle stesse (pause, ritardi, errori effettuati) e i loro dati sensibili e non.

L'inadeguatezza, invece, sorge nei dipendenti quando questi temono di non possedere le conoscenze tecniche e trasversali (abilità di *problem solving*, adattamento e collaborazione) e le competenze legate all'analisi e modellazione dei *big data* e alla conoscenza dei sistemi cyber-fisici, dell'*Internet of Things* e della progettazione e produzione assistita da computer, necessarie per adattarsi al nuovo contesto lavorativo. Tale sensazione tende a sorgere quando il valore generato dall'utilizzo delle nuove tecnologie è poco chiaro per i dipendenti. Questi

---

<sup>37</sup> Ghobakhloo, G., (2020). *Industry 4.0, digitalization, and opportunities for sustainability*. Journal of Cleaner Production, Vol (252), Elsevier

ultimi, infatti, se non correttamente informati sulle ragioni che hanno portato all'implementazione di nuove tecnologie e sul valore da loro apportato, potrebbero perdere la motivazione e ridurre la loro produttività, perché costretti ad acquisire nuove conoscenze in tempi brevi. Sentendosi sovraccaricati dal lavoro, i dipendenti, sopraffatti e costretti a dare priorità solo ad alcuni dei loro compiti, potrebbero sminuire le tecnologie messe a loro disposizione.

I lavoratori potrebbero, infine, essere portati a credere che verranno sostituiti nel loro lavoro dalle macchine o da *robot*, che, in realtà, sono introdotti nelle imprese per liberarli da attività alienanti, altamente ripetitive e faticose da un punto di vista fisico. In tal senso, l'operatore, seppur rimanendo al centro del compito, potrebbe anche temere di veder ridotto il proprio potere decisionale.

Per evitare di incorrere in tali fenomeni di resistenza, le imprese devono far leva sulla comunicazione e sulla formazione.

Si rende, così, manifesta l'importanza di informare i dipendenti circa le strategie che hanno spinto all'introduzione di nuove tecnologie nelle imprese e di comunicare con loro, incoraggiandoli e rispondendo a tutti i loro dubbi e perplessità. Spesso, infatti, l'impatto operativo di tali tecnologie, non apportando valore diretto ai compiti da svolgere, potrebbe non essere facilmente colto dai lavoratori, che si dimostrano favorevoli alle innovazioni quando possono percepirne i risultati concreti.

È necessario, infine, formare il personale affinché acquisisca le competenze tecniche necessarie per evitare il diffondersi di un clima di insicurezza e frustrazione, dovuto all'incapacità di applicare le innovazioni introdotte nell'ambiente di lavoro.

A tal fine, però, non sono sufficienti i corsi di aggiornamento e apprendimento che le imprese forniscono ai loro dipendenti.

Le imprese, infatti, per ottimizzare il processo di formazione, dovrebbero collaborare con le università e le società *provider* delle tecnologie da introdurre in azienda per sviluppare programmi educativi *ad hoc* e (dovrebbero) aumentare il livello di partecipazione dei dipendenti

all'attività di sviluppo e implementazione della tecnologia, così che si adattino meglio alle loro esigenze.<sup>38</sup>

Quanto detto dimostra che l'aumento delle *performance* quale conseguenza della digitalizzazione non rappresenta un risultato automatico frutto di investimenti ben effettuati, ma si deve accompagnare anche ad una buona gestione delle risorse umane, garantita da una sempre migliore comunicazione e formazione del personale.

---

<sup>38</sup> Ito, A., Ylipaa, T., Gullander P., Boktrantz, J., Centerholt, V., Skoogh, A., (2021). *Dealing with resistance to the use of Industry 4.0 technologies in production disturbance management*. Journal of Manufacturing Technology Management, Vol (32), Issue 9, Emerald



## **RINGRAZIAMENTI**

Ringrazio, *in primis*, il mio relatore Prof. Antonio Pacifico, che mi ha trasmesso l'amore per la sua materia e mi ha seguito con pazienza e dedizione nella stesura di questa tesi.

Ringrazio la mia famiglia che mi ha supportato psicologicamente in questi tre anni di studio, spronandomi ad andare avanti, senza mai arrendermi.

Ringrazio, infine, i miei amici con cui ho condiviso il mio percorso e, in particolare, la mia amica Isabella, che mi ha guidato ed incoraggiato sempre.

## Bibliografia

Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Ginevra, Svizzera, 2016.

Mark Skilton & Felix Hovsepian, *The 4th industrial revolution responding to the impact artificial intelligent on business*, Springer International Publishing AG, 2018.

Ennio De Simone, *Storia economica. Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*, Franco Angeli, 2016.

Joel Mokyr, (1990), *The level of Riches*, Oxford University Press.

Joel Mokyr, (1998), *The Second Industrial Revolution, 1870-1914*, Northwestern University Press.

Giuseppe Di Taranto, *La globalizzazione diacronica*, G. Giappichelli Editore, Torino, 2013.

Lee, M., Yun, J.J., Pyka, A., Won, D., Kodama, F., Schiuma, G., Park, H., Jeon, J., Park, K., Jung, K., Yan, M.M., Lee, S., Zhao, X., *How to respond to the fourth industrial revolution, or the second information technology revolution? Dynamic New combinations between technology, market, and society through open innovation*. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and complexity, Vol (4), issue 3, Elsevier.

Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G. e Sartor M. (2020), *Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions*. International Journal of Production Economics, Vol (226), Elsevier

Santos, C., Mehraei, A., Barros, A.C., Araújo, M., Ares E. (2017), *Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps*. Procedia Manufacturing, Vol (13), pp 972-979, Elsevier.

Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S.T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. Engineering, Vol (3), Issue 5, pp 616-630, Elsevier.

Tschofening, H., et al., Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015.

Datastream; Illustration: Allianz Global Investors Capital Market Analysis.

Rose, K., Eldridge, S. e Chapin, L. (2015). *The internet of things: An overview*. The internet society.

Network Digital 360, *Cyber physical systems (CPS), cosa sono, come stanno rivoluzionando il mondo industriale*, (2020).

Lamparelli, A., (2021). *Sistemi cyber-fisici: la trasformazione guidata dalla quarta rivoluzione industriale*. Leyton.

Richard L. Daft, *Organizzazione aziendale*, Maggioli Editori, 2021,

Wang S, Wan J, Li D, Zhang C. *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2016;12(1).

Stock, T. e Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, *Procedia CIRP*, Vol (40), pp 536-541, Elsevier.

Gabriel, M. e Pessl, E., (2016). *Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences*. Annals of faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XIV, Fascicule 2.

Chang, K.C, Jackson, J, Grover, V, *E-commerce and corporate strategy: an executive perspective*, *Information & Management*, Vol (40), Issue 7, August 2003, ppg. 663-675, Elsevier

I libri del fondo sociale europeo n. 153, *Istruzione, Formazione e Mercato del lavoro: I rendimenti del capitale umano in Italia*, 2010, I, pp. 20-23

Ghobakhloo, G., (2020). *Industry 4.0, digitalization, and opportunities for sustainability*. *Journal of Cleaner Production*, Vol (252), Elsevier

Ito, A., Ylipaa, T, Gullander P., Boktrantz, J., Centerholt, V., Skoogh, A., (2021). *Dealing with resistance to the use of Industry 4.0 technologies in production disturbance management*. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol (32), Issue 9, Emerald