

TECNOLOGIE I4.0 E PROFILI DI INNOVAZIONE
DELLE IMPRESE ITALIANE*

di Valeria Cirillo, Lucrezia Fanti, Matteo Tubiana

*I4.0 Techs and Innovation Profiles
of Italian Businesses*

L'articolo analizza la diffusione degli investimenti in tecnologie afferenti a Industria 4.0 (I4.0) da parte delle imprese italiane. A tal fine, gli autori utilizzano le informazioni contenute nella V Rilevazione imprese e lavoro (RIL) dell'INAPP. L'analisi descrittiva mette in luce una diffusione eterogenea degli investimenti I4.0 nel periodo 2015-2017. Inoltre, l'implementazione di un'analisi a corrispondenze multiple (MCA) e di una *cluster analysis* (CA) consente di identificare tre gruppi (cluster) di imprese, di numerosità diverse e con un differente grado di digitalizzazione. Tra questi, il gruppo più numeroso è quello delle imprese "non digitali", prevalentemente di piccole dimensioni e il cui unico investimento I4.0 è quello in sicurezza informatica. Il gruppo delle "digitalizzate" è costituito, invece, da imprese mediamente più grandi, che investono contemporaneamente in più tecnologie I4.0 adottando, dunque, una strategia "multi-technology".

Parole chiave: digitalizzazione, Industria 4.0, imprese, innovazione, *cluster analysis*.

The article investigates the spread of Industry 4.0 (I4.0) technologies among Italian businesses, relying on the V Survey on Businesses and Employment (RIL) carried out by the National Institute for Public Policy Analysis (INAPP). The descriptive analysis shows an uneven distribution of I4.0 technologies over the years 2015-2017. The application of multiple correspondence analysis (MCA) and cluster analysis (CA) techniques reveals the existence of three main clusters of Italian firms, characterised by different degrees of digitalisation: "non-digital firms", "digitising firms", and "digital firms". The first cluster is the largest one, consisting of small firms, which invest only in cybersecurity technologies, whereas the third cluster is the smallest one, consisting of averagely larger firms simultaneously investing in more than one I4.0 tech, thus adopting a "multi-technology" approach.

Keywords: digitisation, Industry 4.0, firm-level studies, innovation, cluster analysis.

Valeria Cirillo, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro", Dipartimento di Scienze politiche, Piazza Cesare Battisti 1, 70121 Bari, valeria.cirillo@uniba.it.

Lucrezia Fanti, Istituto nazionale per l'analisi delle politiche pubbliche (INAPP), Corso d'Italia 33, 00198 Roma, l.fanti.ext@inapp.org.

Matteo Tubiana, Università degli Studi di Bergamo, Dipartimento di Scienze aziendali, economiche e metodi quantitativi, Via dei Caniana 2, 24127 Bergamo, matteo.tubiana@unibg.it.

* Il presente lavoro è il risultato delle attività di ricerca svolte nel 2019 e nel 2020 quando Valeria Cirillo e Matteo Tubiana erano, rispettivamente, ricercatrice ed assegnista di ricerca presso l'Istituto nazionale per l'analisi delle politiche pubbliche (INAPP). Il contributo riprende l'analisi proposta dagli autori nel documento *Tecnologie I4.0 e incentivi: Profili di innovazione delle imprese italiane*.

Codici JEL / JEL codes: L2, O33, O14.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si è imposto nel dibattito giornalistico, politico e successivamente accademico il concetto di “Industria 4.0” (I4.0) (poi “Impresa 4.0”, includendo i servizi ad alto potenziale di digitalizzazione) al fine di identificare la complessa trasformazione dei processi produttivi, all’interno delle imprese, in relazione alla diffusione di fenomeni quali digitalizzazione, automazione e interconnessione.

I4.0 rappresenta, dunque, un insieme di politiche volte a incentivare l’adozione di nuove tecnologie in grado di favorire l’automazione e la digitalizzazione dei processi produttivi all’interno di quella che viene definita “fabbrica intelligente” (cosiddetta “smart factory”). Quest’ultima rappresenta l’impresa del futuro iper-connessa e caratterizzata dall’interazione tra nuove tecnologie di produzione (*produzioni intelligenti*) e infrastrutture informatiche e di rete (*servizi intelligenti*). In particolare, rientrano nella definizione I4.0 le seguenti tecnologie: internet delle cose (*Internet of Things*, IoT), *big data/industrial analytics*, *cloud manufacturing*, robotica, intelligenza artificiale (IA) e manifattura additiva (*additive manufacturing*). Si parla dunque di “tecnologie abilitanti” (*enabling technologies*) (Teece, 2018) – concetto che allude a un insieme di tecnologie considerate rilevanti da un punto di vista di politica economica, tali cioè da consentire un avanzamento del posizionamento competitivo di un Paese sui mercati internazionali¹.

Digitalizzazione, automazione e interconnessione definiscono i cosiddetti “confini di I4.0” (fra gli altri, Brynjolfsson, McAfee, 2014; Ford, 2015). Quest’ultima, lungi dal rappresentare un insieme monolitico di tecnologie, fa riferimento a una molteplicità di dispositivi tecnologici le cui funzionalità relative a digitalizzazione, automazione e interconnessione oscillano lungo un *continuum* di possibilità definite da una molteplicità di fattori: caratteristiche infrastrutturali degli impianti, modalità di organizzazione del business di impresa (livello di integrazione delle catene globali del valore), e organizzazione del lavoro (modello della cosiddetta “lean production” o “produzione snella”).

In generale, l’adozione di una specifica tecnologia all’interno delle imprese dipende dalla complessa interazione tra conoscenza e capacità dinamiche (Zollo, Winter, 2002) e dalla distribuzione del potere tra capitale e lavoro (Braverman, 1974).

In tal senso, I4.0 costituisce un insieme di tecnologie differenti e difficilmente ascrivibili a una matrice comune, se non nella funzionalità dell’applicazione all’interno dell’impresa. Da qui, dunque, la descrizione di I4.0 come insieme di *tecnologie abilitanti* che difficilmente, secondo alcuni autori (fra gli altri, Soete, 2018), definiscono di per sé la transizione verso un nuovo paradigma tecnologico – come invece sostenuto da una parte della letteratura (fra gli altri, Schwab, 2017). Quanto la trasformazione digitale possa essere assimilata a una cosiddetta “Quarta rivoluzione industriale” è infatti tuttora oggetto di dibattito. D’altra parte, gli aspetti di discontinuità dell’attuale fase di trasformazione digitale riguardano principalmente la nascita di un nuovo modello di business basato sulla concentrazione del potere di mercato. La diminuzione dei costi marginali di produzione di beni e servizi, da un lato, e la crescente rilevanza della componente immateriale del capitale (Haskel, Westlake, 2017), dall’altro, facilitano la concentrazione dei mercati favorendo la diffusione di un modello di tipo *winner-take-all*, ovvero di monopolio (Guellec, Paunov, 2017).

¹ Si ricorda in tal senso che il progetto di I4.0 viene implementato in analogia con “Industrie 4.0 platform”, “Advance Manufacturing Platform” e “Made In Cina 2025” al fine di rilanciare l’automazione ad alta tecnologia nella manifattura rispettivamente della Germania, degli Stati Uniti e della Cina (si veda in proposito Pardi, 2019).

Lungi dal voler definire se, e in che misura, I4.0 rappresenti una “Quarta rivoluzione industriale” o, piuttosto, la lunga coda del paradigma segnato dall’avvento delle tecnologie dell’informazione e delle comunicazioni (ICT) – in proposito si segnalano gli articoli a firma di Cetrulo e Nuvolari (2019), Marengo (2019) e Pardi (2019) –, in questo contributo ci proponiamo di analizzare il livello di diffusione di I4.0 con riferimento alle imprese italiane. A tal proposito, il numero di lavori riguardanti l’adozione di tecnologie I4.0 risulta ancora esiguo a causa della mancanza di dati. Altri lavori si sono invece concentrati sullo studio della *base di conoscenza* – cosiddetta “knowledge base” – di I4.0, grazie alla disponibilità di dati sui brevetti (Martinelli *et al.*, 2019; Montobbio *et al.*, 2020).

In particolare, l’analisi che proponiamo è stata elaborata a partire dai dati della V Rilevazione imprese e lavoro (RIL) INAPP del 2018, che forniscono informazioni specifiche riguardo agli investimenti in I4.0 da parte delle imprese italiane. La ricchezza dell’indagine RIL consente di incrociare l’informazione relativa agli investimenti in I4.0 con una molteplicità di caratteristiche delle imprese di tipo strutturale (dimensione di impresa, regione e settore), della forza lavoro e del management, delle relazioni sindacali, della performance di impresa e della strategia aziendale (innovazione e internazionalizzazione delle imprese). Il resto del contributo è organizzato come segue. Nel par. 2 viene descritto brevemente il dibattito su I4.0 e le caratteristiche di diffusione del fenomeno tra le imprese, nel par. 3 troviamo la presentazione dei dati e alcune statistiche descrittive, il par. 4 mostra un’analisi esplorativa in relazione ai profili di digitalizzazione che emergono tra le imprese del tessuto produttivo italiano, e, infine, il par. 5 conclude la discussione proposta.

2. TECNOLOGIE I4.0 E DIFFUSIONE DEL FENOMENO

Il processo di rapida trasformazione digitale e l’accelerazione nella diffusione di tecnologie legate all’automazione dei processi produttivi hanno evidenziato la necessità di delineare un perimetro di analisi specifico per le nuove tecnologie connesse alla cosiddetta “Quarta rivoluzione industriale”, considerato il loro potenziale sul futuro della produzione e del lavoro (Ford, 2017; Frey, Osborne, 2017; Acemoglu, Restrepo, 2020).

Sebbene le tecnologie afferenti a I4.0 rappresentino una componente di notevole rilevanza nell’ambito della Quarta rivoluzione industriale, all’interno del *paradigma tecno-economico* caratterizzato dall’introduzione e diffusione delle ICT a partire dagli anni Ottanta, alcuni studi hanno sottolineato la non completa sovrapposizione dei due fenomeni, sia in termini di obiettivi che di dimensione.

A tal proposito, Martinelli *et al.* (2019) sottolineano che tali tecnologie, configurandosi come tecnologie abilitanti (*enabling technologies*), piuttosto che come *general purpose technologies* (GPT), rappresentino un gruppo di tecnologie strategiche dal punto di vista di politica industriale a oggi non sovrapponibili ai cambiamenti descritti dai *paradigmi tecno-economici* (Freeman, Perez, 1988) o dalle GPT (Bresnahan, Trajtenberg, 1995; Helpman, 1998; Teece, 2018). In particolare, Martinelli *et al.* (2019) sottolineano come le tecnologie legate a I4.0 rappresentino tecnologie abilitanti dotate di un potenziale trasformativo così elevato, legato all’automazione e digitalizzazione dei processi e alla ricombinazione di nuove tecnologie della *produzione intelligente*, da potersi potenzialmente configurare in futuro come GPT in grado, a loro volta, di innescare la transizione verso un nuovo paradigma tecno-economico in grado di condurre le economie avanzate su nuovi sentieri di crescita e competitività. In definitiva, vi può essere un elevato potenziale trasformativo che tuttavia, a oggi, sembra non

essersi del tutto manifestato. La capacità delle imprese di sfruttare a pieno il potenziale di crescita fornito dall'adozione e diffusione delle ICT e dal processo di trasformazione digitale può quindi rappresentare una delle sfide fondamentali del prossimo futuro.

A tale riguardo, la letteratura di riferimento ha analizzato alcuni dei principali fattori che guidano l'adozione e la diffusione delle nuove tecnologie, sia a livello di impresa che di settore (Malerba, Orsenigo, 1996, 1997; Hall, Khan, 2003). Tra questi, possiamo distinguere tra: *a*) fattori legati alla domanda di nuove tecnologie, quali la complementarità tra nuove tecnologie, competenze dei lavoratori e stock di capitale fisico presente nelle imprese (Rosenberg, 1972) o la composizione della base di conoscenza interna delle imprese (*internal knowledge base*), frutto dell'interazione tra capacità di apprendimento idiosincratico, evoluzione delle competenze/conoscenze della forza lavoro, capacità organizzative interne (*organisational capabilities*) e ambiente economico in cui operano (Nelson, Winter, 1982; Dosi *et al.*, 2003; Dosi, Marengo, 2015); *b*) fattori legati all'offerta, tra cui l'introduzione di miglioramenti delle tecnologie esistenti o di tecnologie complementari e il miglioramento dello spettro di utilizzo (Gruber, Verboven, 2001); *c*) fattori interni alle imprese, tra cui la dimensione, i vincoli nel reperimento di risorse esterne (*credit constraints*) e l'interazione virtuosa tra adozione delle ICT e nuove pratiche organizzative e manageriali (Bloom *et al.*, 2012); *d*) fattori esterni legati alla struttura del mercato, alla struttura produttiva e alla dinamica della domanda nel settore o Paese in cui le imprese operano (Mowery, Rosenberg, 1979) e/o al contesto istituzionale di riferimento (Dosi, 1991); ed *e*) fattori legati al posizionamento delle imprese nelle catene internazionali del valore e nei network di produzione e di fornitura (Brettel *et al.*, 2014; Strange, Zucchella, 2017; Freddi *et al.*, 2018).

I4.0 offre importanti opportunità per la riconfigurazione dei processi produttivi su scala globale. Come sottolineato da Gaddi e Garbellini (2017), la struttura industriale europea è frammentata e geograficamente dispersa, ma anche caratterizzata da una produzione *just-in-time*, intesa a evitare la sovrapproduzione, l'attesa e gli investimenti in eccesso. I4.0 fornisce tecnologie che permettono di affrontare la sfida di coordinare e sincronizzare gli attori delle catene di produzione frammentate e geograficamente disperse con conseguenze importanti sul lavoro. I confini tra le diverse aziende si confondono, ed emergono nuovi modelli di governance aziendale. La digitalizzazione della catena del valore risponde a una logica di integrazione e controllo operativo dei "produttori di apparecchiature originali" (OEMs). La rete di fornitura è integrata direttamente nella gestione della produzione a due livelli: integrazione operativa principalmente attraverso l'adozione degli standard della capogruppo da parte dei fornitori; integrazione "strategica" fra imprese nello sviluppo di vere e proprie relazioni di co-design dei prodotti (per un'analisi dettagliata delle conseguenze di I4.0 sulla struttura industriale, si rimanda a Garibaldo, 2017, Freddi *et al.*, 2018, Gaddi *et al.*, 2020).

Con riferimento specifico alle ICT, la letteratura economica individua due canali principali attraverso cui questo tipo di tecnologie influisce sulla struttura e sul funzionamento dei sistemi produttivi a livello aggregato: *a*) un canale diretto di impatto sulla creazione di valore aggiunto e di occupazione nell'indotto di riferimento; e *b*) un canale indiretto legato alla diffusione di tali tecnologie in segmenti produttivi di beni e servizi prodotti dal comparto dell'ICT.

Concentrandosi sul caso dell'economia italiana, un recente rapporto dell'Istituto nazionale di statistica (Istat) (2018) sottolinea la difficoltà registrata dalle imprese italiane nel collocarsi sulla frontiera tecnologica e sfruttare a pieno le potenzialità della trasformazione digitale in corso attraverso investimenti in ICT e nuove tecnologie in grado di ridare slancio alla dinamica della produttività (Brynjolfsson, Hitt, 1996; Biagi, 2013).

Tra gli elementi evidenziati come cause principali di tale difficoltà troviamo fattori strutturali legati al tessuto produttivo del Paese, la dinamica stagnante della crescita, un forte e clamoroso dualismo territoriale, il peso preminente delle imprese di piccole e medie dimensioni sulla produzione nazionale, e la minore propensione all'innovazione delle imprese italiane, con conseguenti risvolti negativi sia per la dinamica della produttività che per l'occupazione (Codogno, 2009; Calligaris *et al.*, 2016; Istat, 2017).

Analizzando i dati forniti dalla rilevazione sull'utilizzo delle ICT nelle imprese italiane per il 2018, il rapporto Istat fornisce alcune informazioni rilevanti riguardo lo stato del processo di digitalizzazione con particolare riferimento a quelle tecnologie afferenti ad aree tecnologiche assimilabili a I4.0, sottolineando la rilevanza degli incentivi fiscali e delle agevolazioni previste dal Piano nazionale Impresa 4.0 sull'accelerazione del processo di digitalizzazione e di adozione di tecnologie abilitanti. A tal proposito, il rapporto registra un aumento consistente delle unità produttive che hanno introdotto l'utilizzo di tecnologie abilitanti a supporto della condivisione di dati di business (ERP) in diversi settori (circa il 36,5% nel 2017, contro 21,5% nel 2012), con particolare rilievo per i settori automobilistico e delle telecomunicazioni. Per quanto riguarda l'investimento in altri tipi di tecnologie abilitanti connesse a I4.0, Istat registra un miglioramento del coinvolgimento delle imprese italiane con almeno 10 addetti relativamente all'IoT, mentre nel periodo tra il 2014 e il 2016, circa il 44,9% delle imprese italiane ha investito in tecnologie abilitanti connesse alla sicurezza informatica, il 27,9% in beni e servizi legati al web, il 18,4% in social media e il 16,1% in *cloud computing*. La diffusione di queste tecnologie e il loro impatto sulla competitività e lo sviluppo delle imprese italiane sono eterogenei. Le più diffuse, nel periodo di riferimento, risultano essere quelle relative alla sicurezza informatica e alle applicazioni web, mentre IoT e *big data analytics* riguardano le imprese di grandi dimensioni.

Tali risultati sono confermati da uno studio presentato dal Ministero dello sviluppo economico (MISE, 2018) sulla diffusione delle imprese 4.0 condotto attraverso l'analisi dei dati forniti dall'Indagine MET². Quest'ultima evidenzia una diffusione maggiore di tecnologie I4.0 fra le imprese di grandi dimensioni, localizzate al Centro-Nord. L'indagine mostra inoltre un'incidenza degli investimenti significativamente maggiore verso "tecnologie dati", ovvero rappresentative dello sfruttamento intensivo di informazioni (integrazione orizzontale o verticale delle informazioni, *cloud*, *big data analytics* ecc.) rispetto a quelle più strettamente connesse alla produzione (robot interconnessi, manifattura additiva, simulazioni, realtà aumentata e materiali intelligenti).

3. CHI HA INVESTITO IN TECNOLOGIE I4.0 IN ITALIA? DATI E STATISTICHE DESCRITTIVE

L'analisi empirica presentata in questo paragrafo e nei successivi si sviluppa sui dati della V RIL condotta dall'INAPP nel 2018 su un campione rappresentativo di imprese italiane operanti nel settore privato extra-agricolo³. I dati RIL contengono una ricca serie di infor-

² Ossia una rilevazione campionaria CAWI-CATI relativa a un campione di circa 23.700 imprese rappresentativo della popolazione dell'industria e dei servizi alla produzione, di tutte le classi dimensionali (incluse quelle con meno di 10 addetti) e di tutte le regioni italiane.

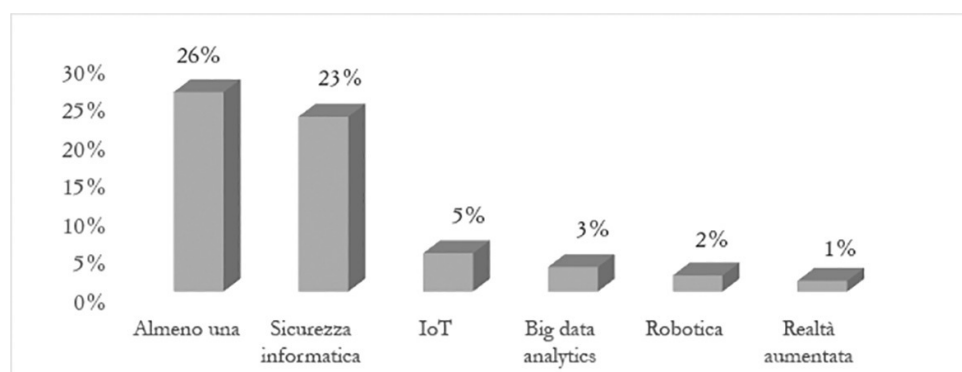
³ Il campione di società di persone e società di capitali presenti in ogni Indagine RIL è stratificato per dimensione, settore di attività, area geografica e forma giuridica delle aziende. Il disegno campionario di RIL prevede l'utilizzo di probabilità di inclusione variabili, dove la variabile di ampiezza è rappresentata dalla dimensione aziendale, misurata in termini di addetti. Tale scelta ha richiesto la costruzione di uno stimatore diretto, in grado di tener conto della differente probabilità di inclusione tra le aziende appartenenti a uno specifico strato. Lo stimatore diretto, che misura

mazioni sulla composizione della forza lavoro (tipologia contrattuale, inquadramento professionale, genere, formazione ecc.), sull'assetto delle relazioni industriali (rappresentanze sindacali, accordi integrativi del contratto collettivo nazionale di lavoro, CCNL ecc.) e sulle caratteristiche produttive e competitive delle imprese. Nel 2018, all'interno della sezione "Innovazione, internazionalizzazione, estensione dei mercati" è stata inserita una domanda specifica relativa alla realizzazione di investimenti in nuove tecnologie nel periodo 2015-2017, ovvero: "Nel periodo 2015-2017 l'impresa ha effettuato investimenti in nuove tecnologie?" e fra le tecnologie elencate vi sono: soluzioni di IoT, robotica, *big data analytics*, realtà aumentata e realtà virtuale, e sicurezza informatica. Nelle pagine che seguono, presentiamo alcune evidenze di carattere descrittivo sulla base della RIL al fine di rispondere alla seguente domanda: quali sono le caratteristiche delle imprese che hanno investito in I4.0 in Italia?

3.1. Investimenti in I4.0 per classe dimensionale, settore e macroregione⁴

Le analisi condotte sui dati della V RIL 2018 indicano che circa il 26% delle imprese italiane con almeno un dipendente dichiara di aver effettuato investimenti nelle nuove tecnologie afferenti al paradigma di I4.0 nel periodo 2015-2017. Si riscontra, d'altra parte, un elevato grado di eterogeneità degli investimenti tra le diverse categorie di tecnologie I4.0. I dati indicano in particolare che circa il 22,8% delle aziende investe in sicurezza informatica, percentuale che si riduce a circa il 5% per chi finanzia la voce "soluzioni di IoT", al 3,2% in *big data analytics* e al 2,1% in robotica, fino ad attestarsi all'1,4% con riferimento alla realtà aumentata.

Figura 1. Quota di imprese con almeno un dipendente che ha investito nel 2015-2017 in I4.0 per tipo di tecnologia



Fonte: RIL INAPP (2018).

l'inverso della probabilità di inclusione, è stato modificato con opportune tecniche di calibrazione, che permettono di riprodurre il totale delle imprese attive e il numero totale di addetti (in ogni strato). Per una discussione più approfondita, si rimanda alla nota metodologica relativa all'Indagine RIL INAPP (2015). A breve disponibile anche quella relativa all'Indagine RIL INAPP (2018).

⁴ L'analisi descrittiva riprende l'evidenza presentata nel capitolo *Tecnologie I4.0 e incentivi: Profili di innovazione delle imprese italiane*, in A. Ricci (a cura di), *Imprese, lavoro e politiche pubbliche: analisi ed evidenze empiriche*, INAPP Report 2020 (forthcoming).

Le tabelle 1 e 2 presentano i dati relativi all'incidenza delle imprese che dichiarano di aver investito in tecnologie abilitanti connesse a I4.0, rispettivamente, per dimensione in termini di numero di addetti e per macroregione (tab. 1) e per settore produttivo (tab. 2), evidenziando come il fenomeno sia fortemente condizionato dalle eterogeneità della struttura produttiva italiana. In particolare, viene fatta una distinzione tra imprese che hanno investito in "almeno una" di queste tecnologie, e imprese che hanno introdotto una specifica tipologia tra quelle indicate, ovvero relative a IoT, robotica, *big data*, realtà aumentata e sicurezza informatica.

La tabella 1 mostra, nella parte superiore, come la diffusione di tecnologie abilitanti connesse a I4.0 sia fortemente influenzata dalla dimensione delle imprese. L'incidenza dell'adozione di almeno una di queste tecnologie riguarda circa il 77,3% delle imprese con più di 250 addetti, contro il 22,7% relativo alle imprese con meno di 10 addetti, e un ruolo preminente dell'investimento in sicurezza informatica, di nuovo, con una maggiore incidenza per quanto riguarda le imprese di grandi dimensioni (51,4% per le imprese con un numero di addetti tra i 50 e i 249, e 65,9% per le imprese con più di 250 addetti).

Tabella 1. Incidenza imprese che dichiarano di aver investito in I4.0 per dimensione e macroregione (%)

Dimensione/ Macroregione	Almeno una	IoT	Robotica	<i>Big data</i>	Realtà aumentata	Sicurezza informatica
0-9	22,7	4,2	1,2	2,2	1,1	20,1
10-49	35,5	7,0	4,4	5,9	2,3	30,6
50-249	60,0	14,7	13,3	14,1	4,8	51,4
> 250	74,3	28,0	20,7	28,1	9,3	65,9
Nord-Ovest	28,9	6,0	2,4	3,0	1,8	25,4
Nord-Est	29,6	6,0	3,3	4,4	1,9	26,0
Centro	27,8	4,4	2,1	3,3	1,4	24,5
Sud e Isole	18,8	3,6	1,0	2,6	0,6	16,3
Totale	26,0	5,0	2,1	3,2	1,4	22,8

Fonte: RIL INAPP (2018).

Nella parte inferiore della tabella 1, i dati riportati mostrano una notevole eterogeneità delle imprese italiane a livello territoriale. Il 18,8% delle imprese localizzate al Sud e nelle Isole introduce almeno una tecnologia relativa a I4.0; un dato inferiore rispetto a quanto registrato nelle altre macroregioni, ossia il 27,8% delle imprese localizzate al Centro e il 28,9% e il 29,6% localizzate, rispettivamente, al Nord-Ovest e al Nord-Est.

La tabella 2 fornisce alcune importanti informazioni riguardanti la specializzazione produttiva delle imprese italiane, sempre con riferimento all'incidenza delle imprese che dichiarano di aver investito in tecnologie I4.0 e guardando ai settori in cui operano.

Tabella 2. Incidenza imprese che dichiarano di aver investito in I4.0 per settore (%)

Settore	Almeno una	IoT	Robotica	Big data	Realtà aumentata	Sicurezza informatica
Alberghi e ristorazione	11,3	3,5	0,9	1,4	0,2	9,0
Costruzioni	19,2	2,0	0,5	1,9	0,6	16,9
Alimentare	20,0	3,6	4,2	2,3	0,7	16,8
Commercio	23,1	5,0	0,9	2,6	0,9	21,2
Tessile	28,3	7,3	6,5	1,7	1,8	23,8
Trasporti	28,7	4,2	2,8	5,3	0,9	25,0
Altra manifattura	29,7	5,2	5,3	3,7	2,3	24,2
Altri servizi	30,7	4,0	1,2	3,7	1,6	28,0
Istruzione e sanità	32,1	6,3	0,7	2,3	2,1	28,0
Attività estrattive	34,1	5,4	1,4	3,9	2,0	30,3
Chimica	36,0	7,6	9,0	5,3	2,1	29,8
Servizi finanziari	39,0	6,3	0,3	4,9	1,5	36,9
ICT	41,7	10,3	1,9	11,3	6,1	35,7
Meccanica	42,6	9,6	9,5	5,7	2,8	35,0
Totale	26,0	5,0	2,1	3,2	1,4	22,8

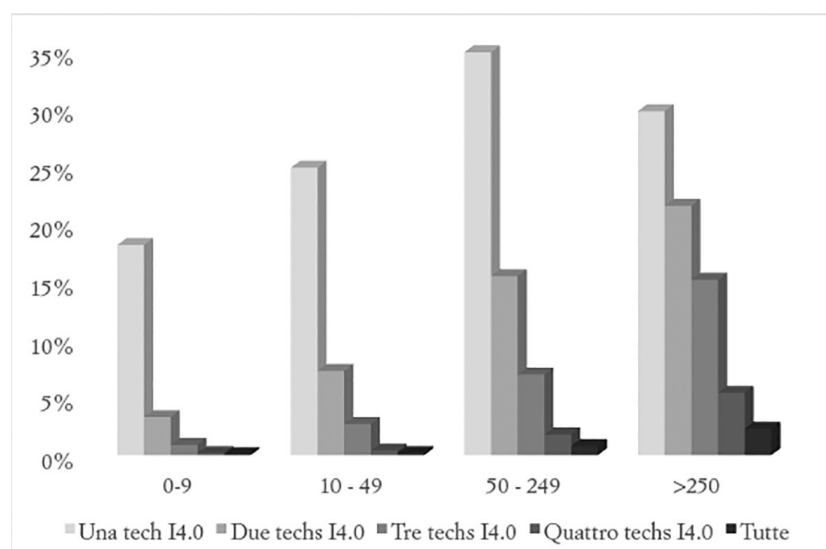
Fonte: RIL INAPP (2018).

Come prevedibile, i settori che presentano una maggiore incidenza delle imprese che hanno investito in almeno una tecnologia abilitante sono quelli relativi alla chimica (36%), ai servizi finanziari (39%), all'informazione e comunicazione (41,7%) e alla meccanica (42,6%). Inoltre, il settore dell'ICT presenta un'elevata quota di imprese – rispetto alla media – che dichiara di aver investito in IoT (10,3%), *big data* (11,3%) e sicurezza informatica (35,7%).

Nel complesso, le statistiche presentate evidenziano come la diffusione del fenomeno I4.0 in Italia sia trainata dall'investimento in sicurezza informatica piuttosto che in tecnologie legate alla produzione *tout court*, maggiormente riferibili a una trasformazione digitale matura. Gli investimenti in nuove tecnologie sono orientati e condizionati dalle persistenti eterogeneità che caratterizzano il sistema produttivo italiano.

Da questo punto di vista, è interessante sottolineare che la maggior parte delle imprese predilige un modello *single-technology* piuttosto che *multi-technology*, ovvero la scelta di investimento in I4.0 riguarda una sola tecnologia piuttosto che un set completo di artefatti digitali, potenzialmente complementari tra loro. La figura 2 sottolinea l'incidenza degli investimenti in I4.0 al crescere della dimensione di impresa: fra le imprese con oltre 250 addetti, l'investimento in una sola tecnologia del Piano nazionale Impresa 4.0 risulta più ridotto a fronte di una scelta di investimento "integrata" più consistente, basata su due o più tecnologie e che, probabilmente, si avvicina all'idea di *fabbrica intelligente* del Piano nazionale Impresa 4.0.

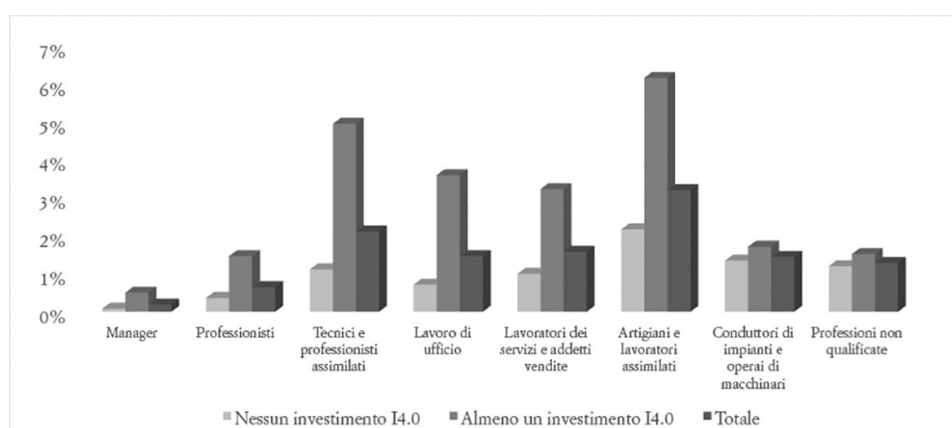
Figura 2. Complementarietà degli investimenti in I4.0



Fonte: RIL INAPP (2018).

La figura 3 sottolinea come le imprese che hanno investito in tecnologie I4.0 abbiano dichiarato di avere necessità prevalentemente di figure professionali relative a tecnici e professionisti assimilati, agli addetti al commercio e ai servizi di vendita.

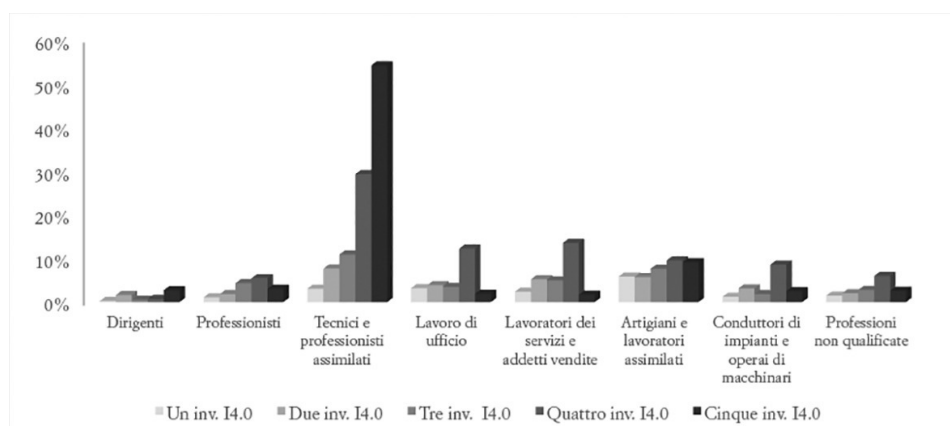
Figura 3. Domanda di profili professionali e investimenti in I4.0



Fonte: RIL INAPP (2018).

Per completare la panoramica sulla necessità di figure professionali dichiarata dalle imprese in relazione alla strategia di adozione di tecnologie I4.0, la figura 4 sottolinea che le imprese che hanno adottato una strategia *multi-technology* dichiarano di necessitare preminentemente di figure professionali relative a tecnici e addetti alle attività di supporto. La figura conferma l'evidenza rilevata anche dall'Indagine campionaria sulle professioni (ICP) INAPP relativa all'utilizzo di tecnologie digitali e alle mansioni a esse connesse, secondo cui le professioni scientifiche e altamente specializzate e quelle dei tecnici e professionisti assimilati sono caratterizzate da mansioni connesse all'utilizzo di tecnologie digitali (Cirillo *et al.*, 2020a). Un recente studio sulla componente panel dei dati RIL 2018 ha messo in evidenza che le imprese con una manodopera più istruita e formata hanno una probabilità maggiore non solo di investire in tecnologie digitali, ma anche di investire in un numero più elevato di tecnologie I4.0 (Cirillo *et al.*, 2020b).

Figura 4. Domanda di profili professionali e complementarietà degli investimenti in I4.0



Fonte: RIL INAPP (2018).

4. PROFILI DI INVESTIMENTO IN I4.0: UN'ANALISI ESPLORATIVA

In questo paragrafo presentiamo un'analisi esplorativa relativa alle caratteristiche delle imprese che hanno dichiarato di aver investito in I4.0. In particolare, suddividiamo le imprese in diversi cluster (gruppi) sulla base degli investimenti in I4.0 definendo dei profili di digitalizzazione, e ne esploriamo le caratteristiche.

4.1. Analisi a corrispondenze multiple e cluster analysis

L'analisi dei profili di investimento da parte delle imprese si svolge in due fasi.

Nella prima, le diverse scelte di investimento in I4.0 (ovvero soluzioni di IoT, robotica, *big data*, realtà aumentata e realtà virtuale, e sicurezza informatica) sono analizzate e sinte-

tizzate in un indicatore tramite la MCA⁵, ovvero una tecnica di estrazione delle componenti principali applicabile ai dati di tipo categorico (anziché continuo). Ricordiamo, infatti, che ogni scelta di investimento è registrata all'interno della RIL 2018 come una variabile dicotomica (sì/no). La Tabella A1 in Appendice presenta le statistiche descrittive relative alle variabili utilizzate per la MCA. L'output della MCA consiste in una serie di indici o dimensioni (in numero eguale alle variabili di input), ognuno dei quali costituisce una diversa combinazione lineare di tutte le variabili di input con differenti pesi. Ciascun indice è in grado di spiegare parte della varianza totale dei dati. Non esiste un criterio univoco per decidere quanti indici estrarre dalla MCA, tuttavia esistono alcune proposte empiriche⁶. Basandoci su tali criteri, decidiamo di estrarre solo il primo indice, che mostra una correlazione positiva con tutte le variabili di investimento nelle tecnologie I4.0. In particolare modo, gli investimenti in *big data* e IoT contribuiscono alla definizione della dimensione⁷. Il primo indice, da solo, spiega il 37,5% della varianza dei dati.

Nella seconda fase, utilizziamo una CA sull'indice estratto dalla MCA, al fine di raggruppare le imprese in gruppi omogenei. Occorre sottolineare, infatti, come a prescindere dall'algoritmo utilizzato per raggruppare le osservazioni in cluster, l'obiettivo sia quello di creare insiemi composti da elementi il più possibile simili tra loro all'interno e diversi dagli elementi esterni. Nel nostro caso, i gruppi sono creati tramite un algoritmo iterativo chiamato "K-means". Nuovamente, non esiste una regola univoca per decidere quale sia il numero corretto di cluster da osservare. È compito del ricercatore trovare la soluzione che meglio conduce a risultati interpretabili. Attraverso l'analisi del WSS *plot* (*within sum of squares*, un indicatore della variazione interna a ogni cluster), sembrerebbe che la configurazione preferibile sia compresa tra due e quattro cluster (i punti dove maggiore è il cambio di pendenza del grafico, ossia dove aggiungere un ulteriore cluster alla configurazione non porterebbe a un aumento significativo del WSS).

Analizzando i risultati per ognuna delle tre configurazioni, la nostra scelta ricade su quella a tre cluster poiché è la più parsimoniosa, racchiudendo al contempo il maggior numero di informazioni. Il risultato della CA sull'indice composito estratto dalla MCA è l'assegnazione a un cluster di ogni osservazione presente nel dataset (impresa)⁸. È così possibile caratterizzare ogni cluster attraverso le variabili utilizzate per costruire l'indice composito – le variabili di adozione delle tecnologie I4.0. Ogni cluster illustra quindi un profilo tipico, i.e. medio, di impresa che lo popola.

⁵ La MCA consiste nell'analisi delle relazioni esistenti tra un insieme di variabili categoriche osservate su più unità statistiche. Ciò avviene identificando uno spazio "ottimale", di dimensione ridotta, che sintetizzi l'informazione strutturale contenuta nel dato originario. La MCA costruisce una serie di indici o dimensioni, combinazioni delle variabili originali, che veicolano un'informazione non direttamente osservabile nella realtà ma frutto delle variabili di input.

⁶ I due criteri adottati in questo lavoro sono l'*elbow method* attraverso l'analisi dello *scree plot* (riportato in *Appendice*) e che l'autovalore dell'indice (funzione della varianza spiegata) sia maggiore del reciproco del maggiore tra il numero di colonne del dataset meno uno, e il numero di righe del dataset meno uno (Lorenzo-Seva, 2011; Bendixen, 1995).

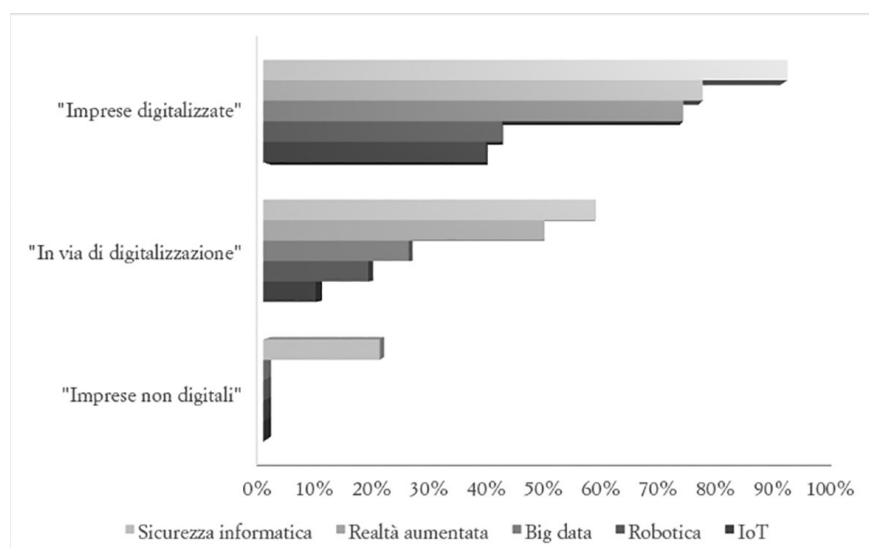
⁷ Si veda in *Appendice* la figura A2. Il panel di destra riporta il contributo percentuale a definire l'indice di ogni variabile impiegata nella MCA. I suffissi "_1" o "_0" ai nomi delle variabili indicano i valori affermativi (investimento effettuato) o di diniego (investimento non effettuato).

⁸ Un'assegnazione molto simile, qualitativamente identica, si ottiene utilizzando un algoritmo alternativo, chiamato "K-modes", creato per clusterizzare osservazioni caratterizzate da variabili categoriche. Tale metodo utilizza la moda anziché la media per calcolare una funzione di costo da minimizzare e per assegnare una data osservazione a un cluster. Siccome l'algoritmo K-modes è fortemente dipendente dalle condizioni di partenza, lo abbiamo inizializzato con le mode delle variabili relative all'adozione delle tecnologie I4.0 calcolate sui tre cluster ottenuti tramite l'algoritmo K-means. In questo modo otteniamo conferma della robustezza circa la nostra assegnazione delle osservazioni a un determinato cluster.

4.2. Profili di digitalizzazione delle imprese italiane

La CA mette in evidenza l'esistenza di tre cluster di imprese in relazione agli investimenti in I4.0. In particolare, definiamo la presenza di un primo cluster di imprese – il più numeroso – composto da imprese che non hanno realizzato alcun tipo di investimento in I4.0 e che definiremo pertanto come “imprese non digitali”. È interessante sottolineare che queste imprese hanno comunque effettuato, sebbene per una quota modesta, qualche forma di investimento nelle tecnologie oggetto d'analisi, in particolare in sicurezza informatica. Il secondo gruppo è invece composto da imprese che hanno effettuato investimenti in I4.0 in tutte le tecnologie analizzate, tuttavia in misura inferiore rispetto al terzo gruppo in cui l'investimento in I4.0 è in media più alto in tutte le tecnologie. È interessante sottolineare che nel secondo gruppo di imprese “in via di digitalizzazione”, oltre alla sicurezza informatica, l'investimento in I4.0 ha riguardato la realtà aumentata e, solo in misura minore, le componenti di analitica dei dati e le interfacce uomo-macchina (IoT). Nel terzo gruppo la componente relativa all'analitica *big data* risulta importante al pari della realtà aumentata, crescono poi in modo sostanziale anche robotica e IoT. Questo terzo gruppo – il meno popolato – definisce un profilo di imprese che potremmo descrivere come “digitalizzate”⁹.

Figura 5. Quota media di imprese che investono in I4.0 per cluster (almeno un dipendente)



Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

⁹ Il cluster delle “Imprese non digitali” è composto da 1.483.659 imprese ed è quello di gran lunga più numeroso; 76.718 e 19.380 popolano rispettivamente il cluster delle imprese “in via di digitalizzazione” e delle imprese “digitalizzate”.

4.3. Caratteristiche dei profili di digitalizzazione

Dopo aver distinto le imprese in tre gruppi attraverso la CA, risulta interessante analizzare quali sono le caratteristiche delle imprese che popolano i profili individuati, ossia imprese “non digitali”, “in via di digitalizzazione” e “digitalizzate”.

4.3.1. Caratteristiche strutturali e comportamentali

Analizziamo se e in che misura le imprese che popolano i tre cluster si distinguono, da un lato, in base a caratteristiche strutturali e, dall'altro, in base alle strategie innovative e di internazionalizzazione. La tabella 3 mostra come, in media, le imprese con un maggiore grado di digitalizzazione siano quelle che impiegano un maggior numero di lavoratori (88,66) rispetto a quelle non digitalizzate (8,81) e in via di digitalizzazione (26,67), con una dispersione all'interno del cluster delle imprese digitalizzate, misurata dal coefficiente di variazione (CV), notevolmente più elevata rispetto a quanto registrato negli altri due gruppi. Le imprese digitalizzate sono in media imprese di grandi dimensioni, tuttavia all'interno di questo gruppo vi è un elevato grado di variabilità. Al contrario le “non digitali” sono imprese mediamente piccole.

Con riferimento alle strategie innovative, come prevedibile, le imprese appartenenti al cluster con il maggior grado di digitalizzazione registrano, in media, percentuali più elevate in termini di innovazioni di prodotto (77%) e processo (67%) così come di brevetti depositati o acquistati (17%), rispetto a quelle che ricadono nei cluster di imprese “non digitali” e “in via di digitalizzazione”. L'investimento in I4.0 si inserisce in un pattern di continuità rispetto alla storia dell'impresa: le imprese che introducono innovazioni di prodotto e di processo hanno una probabilità maggiore di investire in I4.0 rispetto a quelle che non innovano.

Tabella 3. Caratteristiche strutturali e comportamentali dei profili di digitalizzazione (almeno un dipendente)

	Non digitali		In via di digitalizzazione		Digitalizzate	
	Media	CV	Media	CV	Media	CV
<i>Caratteristiche strutturali</i>						
Numero di occupati	8,81	7,65	26,67	6,27	83,66	8,26
<i>Strategie di innovazione</i>						
Innovazione di prodotto	0,21	1,97	0,60	0,82	0,77	0,55
Innovazione di processo	0,16	2,27	0,50	1,00	0,67	0,70
Brevetti	0,02	7,12	0,07	3,65	0,17	2,24
<i>Strategie di internazionalizzazione</i>						
Export	0,13	2,60	0,28	1,61	0,38	1,27
Quota export su fatturato	32,53	6,06	31,90	0,90	42,20	1,22
Investimenti diretti esteri	0,01	9,53	0,02	6,99	0,04	4,66
Accordi internazionali	0,07	3,52	0,16	2,29	0,26	1,70
Public procurement	0,21	1,93	0,30	1,54	0,29	1,56

Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

Per quanto riguarda le variabili relative alle strategie di internazionalizzazione, abbiamo una preminenza delle imprese digitalizzate con riferimento ad attività di esportazione (in media, il 38% delle imprese), quota di esportazioni sul fatturato (42,2%), investimenti diretti esteri (4%) e partecipazione ad accordi internazionali (26%). Sembrerebbe dunque emergere una correlazione positiva fra digitalizzazione e partecipazione delle imprese in catene globali del valore o in filiere internazionali della produzione.

Inoltre, i cluster delle imprese “in via di digitalizzazione” e di quelle “digitalizzate” sono popolati da imprese che, in media, risultano impegnate in misura maggiore in attività legate ad appalti pubblici, i.e. public procurement (rispettivamente, il 30% e il 29% delle imprese appartenenti ai cluster), rispetto alle imprese non digitalizzate (21%). Infine, le imprese non digitalizzate mostrano, all’interno del cluster di appartenenza, una maggiore variabilità relativa alla quota di esportazioni sul fatturato rispetto agli altri due cluster, all’interno dei quali abbiamo imprese caratterizzate da strategie competitive maggiormente consolidate. Per queste imprese esportatrici, l’investimento in I4.0 potrebbe costituire un elemento strategico per la gestione dei rapporti con la rete dei clienti.

4.3.2. *Caratteristiche del management e della forza lavoro*

La tabella 4 fornisce una descrizione delle imprese appartenenti ai tre cluster con riferimento alle caratteristiche del management e della forza lavoro. Coerentemente con quanto atteso, il 3% delle imprese appartenenti al cluster delle imprese digitalizzate si caratterizza per la gestione da parte di un gruppo estero, contro lo 0,7% delle imprese non digitalizzate, e meno del 2% delle imprese in via di digitalizzazione. Il dato relativo alla gestione da parte di chi detiene la proprietà dell’impresa (management familiare) sembra mostrare una certa omogeneità tra i tre gruppi, seppure con valori leggermente più esigui per quanto riguarda le imprese digitalizzate, ossia l’81% contro il 93% delle imprese non digitalizzate, e l’89% delle imprese in via di digitalizzazione. Il management familiare rappresenta una caratteristica di governance delle imprese italiane.

Le imprese digitalizzate presentano una quota più elevata di manager laureati (circa il 40%), rispetto alle imprese che popolano gli altri due cluster (23% per le imprese “non digitali” e “in via di digitalizzazione”), dove, invece, è più alta la quota di manager in possesso del solo diploma di istruzione superiore (54% per le imprese “non digitali” e 59% per le imprese “in via di digitalizzazione” contro il 48% per le imprese “digitalizzate”).

Per quanto riguarda le caratteristiche della forza lavoro, le imprese “in via di digitalizzazione” e quelle “digitalizzate” presentano una quota più ampia di dirigenti (pari, rispettivamente, al 9% e all’8%) rispetto alle imprese “non digitali” (4%). Le imprese “digitalizzate” presentano una quota più elevata di impiegati (48%) e di lavoratori laureati (21%) rispetto alle imprese “non digitali” (43% per la quota di impiegati e 8% di lavoratori laureati) e “in via di digitalizzazione” (43% per la quota di impiegati e 12% di lavoratori in possesso di laurea). Al contrario, le imprese “non digitali” e quelle “in via di digitalizzazione” mostrano una quota più elevata di operai, rispettivamente pari al 53% e al 48%, e una quota più ampia di lavoratori diplomati all’interno del cluster relativo alle imprese “non digitali” (57%), per le quali riscontriamo anche una quota maggiore di occupati con contratto a tempo determinato (17%) e di lavoratori part time (36%). Questi dati possono essere interpretati come approssimazione della maggiore o minore intensità di lavoro o della composizione della forza lavoro in termini di qualifiche e competenze richieste con riferimento ai processi produttivi caratteristici del settore di appartenenza. Sulla relazione fra istruzione e formazione della forza lavoro, organizzazione del lavoro e tecnologie digitali si rimanda a Cirillo *et al.* (2020b).

Tabella 4. Caratteristiche del management e della forza lavoro dei profili di digitalizzazione (almeno un dipendente)

	Non digitali		In via di digitalizzazione		Digitalizzate	
	Media	CV	Media	CV	Media	CV
<i>Caratteristiche del management</i>						
Gruppo estero	0,01	12,10	0,02	7,16	0,03	5,46
Gestione da parte della proprietà	0,92	0,29	0,89	0,35	0,81	0,49
Management con laurea	0,23	1,81	0,23	1,81	0,39	1,24
Management con diploma	0,54	0,93	0,59	0,83	0,48	1,05
<i>Caratteristiche della forza lavoro</i>						
Quota dirigenti	0,04	3,84	0,09	2,44	0,08	2,07
Quota impiegati	0,43	0,97	0,43	0,88	0,48	0,78
Quota operai	0,53	0,79	0,48	0,82	0,44	0,89
Quota occupati con laurea	0,08	2,58	0,12	1,87	0,21	1,38
Quota occupati con diploma	0,57	0,69	0,52	0,64	0,51	0,67
Quota occupati a tempo determinato	0,17	1,74	0,15	1,55	0,15	1,56
Quota lavoratori part time	0,36	1,13	0,24	1,41	0,22	1,49

Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

4.3.3. Relazioni industriali e politiche del personale

Infine, la tabella 5 ci fornisce una panoramica relativa alla politica del personale, ovvero quella della formazione dei lavoratori, e sulle relazioni industriali, in termini di tipologia di contrattazione e di presenza dei sindacati e di piani di welfare aziendale all'interno dei tre cluster.

Le iniziative di formazione risultano, in media, più consistenti all'interno del cluster relativo alle imprese “digitalizzate” (68%) rispetto a quanto registrato nel cluster delle imprese “non digitali” (38%) e “in via di digitalizzazione” (61%), con una quota più elevata di lavoratori formati (48%) rispetto a quella relativa alle imprese “non digitali” (31%) e “in via di digitalizzazione” (46%).

I costi di formazione per occupato risultano, in media, più elevati per le imprese “in via di digitalizzazione”, le quali si trovano probabilmente a dover adottare differenti strategie per assecondare il processo di trasformazione tecnologica in corso rispetto al cluster delle imprese “digitalizzate”, dove verosimilmente si riscontra un pattern ormai consolidato e per lo più omogeneo in termini di trasformazione e aggiornamento delle competenze.

Le imprese che investono in I4.0 sono imprese che, oltre alla formazione obbligatoria – ad esempio, quella relativa alla sicurezza sul lavoro –, investono in formazione tecnica e specifica, a sottolineare un pattern di complementarietà fra investimenti in nuove tecnologie e formazione della forza lavoro.

Tabella 5. Relazioni industriali e politiche del personale dei profili di digitalizzazione (almeno un dipendente)

	Non digitali		In via di digitalizzazione		Digitalizzate	
	Media	CV	Media	CV	Media	CV
<i>Formazione</i>						
Iniziative di formazione	0,38	1,27	0,61	0,81	0,68	0,69
Quota formati	0,31	1,40	0,46	0,97	0,48	0,88
Costi di formazione per occupato	333,79	130,70	2.942,31	12,24	1.017,91	9,18
<i>Relazioni industriali</i>						
Presenza contrattazione di II livello	0,03	5,56	0,07	3,53	0,11	2,78
Presenza sindacato	0,04	4,91	0,12	2,73	0,15	2,42
Welfare aziendale	0,01	9,47	0,03	5,78	0,06	3,81

Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

Fra i maggiori driver dell'investimento in tecnologia, risulta fondamentale la presenza di un ambiente lavorativo che consenta relazioni stabili di lunga durata tali da favorire l'accumulazione di conoscenza da parte dei lavoratori – cosiddetto “tacit knowledge” – ovvero un sapere non codificato, e che quest'ultimo possa essere veicolato fra lavoratori attraverso attività di affiancamento, *job rotation* ecc. (Cetrulo *et al.*, 2019a; Cirillo *et al.*, 2020c). Se questo è vero, il ruolo del sindacato all'interno dell'impresa può essere strategico nel processo di implementazione delle nuove tecnologie e nella definizione di idonee pratiche organizzative (Russo *et al.*, 2019). Il cluster popolato dalle imprese digitalizzate risulta essere quello dove si riscontra una maggior presenza della contrattazione di II livello (11%) e del sindacato (15%) nonché di piani di welfare aziendale (6%). Emerge dunque nelle imprese coinvolte in processi di digitalizzazione e automazione la presenza di una strategia di maggior accomodamento delle relazioni industriali tra imprese e lavoratori (sindacati) rispetto a quanto registrato per le imprese “non digitali” e “in via di digitalizzazione” (per un'analisi più puntuale su organizzazione del lavoro, qualifiche dei lavoratori e adozioni di tecnologie, si rimanda a Cirillo *et al.*, 2020c).

5. CONCLUSIONI

Negli ultimi anni il dibattito accademico si è soffermato a lungo sul potenziale trasformativo delle nuove tecnologie e in particolare di quelle che consentono la digitalizzazione, automazione e interconnessione dei processi produttivi, che, da un lato, definiscono il superamento della demarcazione fra manifattura e servizi, e, dall'altro, portano a una riconfigurazione dei processi di produzione a livello globale – in riferimento al settore automobilistico, si veda il contributo di Tubaro e Casilli (2019). Si parla dunque sia di “opportunità emergenti” per le aziende ma anche di rischi connessi a una digitalizzazione pervasiva, fra i quali la sorveglianza del lavoro e l'implementazione di forme di controllo

(Moro *et al.*, 2019). Diversi contributi hanno infatti analizzato la trasformazione dei processi produttivi in relazione all'applicazione di tecnologie I4.0 avvalendosi di metodologie qualitative e basate su lavori di campo con interviste semi-strutturate sia al management che ai lavoratori – si vedano fra gli altri Freddi *et al.* (2018) e Cirillo *et al.* (2020c). Pochi lavori hanno invece fornito evidenze quantitative sulla diffusione degli investimenti in I4.0 in Italia a causa della scarsità di dati rappresentativi su base nazionale¹⁰.

In questo articolo, a partire dai dati della V RIL dell'INAPP, presentiamo alcune evidenze relative alla diffusione di investimenti in tecnologie I4.0 e proponiamo un *mapping* delle imprese a partire dal grado di complementarità degli investimenti in nuove tecnologie. L'analisi descrittiva mette in luce una diffusione eterogenea e frammentaria fra le imprese italiane dell'investimento in I4.0. In particolare, quest'ultimo sembrerebbe essere trainato dalla sicurezza informatica (*cybersecurity*) piuttosto che dalla robotica o dalla manifattura aumentata. Le imprese che hanno investito nel biennio 2015-2017 in tecnologie abilitanti sono localizzate per lo più al Nord Italia, sono di grandi dimensioni e operano in alcuni settori specifici quali la chimica, la meccanica e l'ICT. Le imprese italiane privilegiano un approccio *single-technology* piuttosto che un approccio sistemico *multi-technology*, e, nel complesso, sembrano quindi ancora distanti dal modello di *smart factory* delineato dal Piano nazionale Impresa 4.0.

Tre cluster di imprese di numerosità molto diverse sembrano popolare la struttura produttiva italiana. Il cluster più numeroso è quello delle imprese “non digitali” ovvero imprese di piccole dimensioni in cui l'unico investimento rilevato in I4.0 riguarda la sicurezza informatica. Vi è poi un secondo gruppo di imprese di dimensioni medie e medio-piccole che dichiara di aver investito in I4.0, e soprattutto in sicurezza informatica e realtà aumentata. Il terzo profilo di imprese è invece definito da un gruppo di imprese, esiguo numericamente, che investe contemporaneamente in più tecnologie I4.0 – non solo sicurezza informatica. Queste imprese sono mediamente più grandi, hanno una forza lavoro più istruita e anche il management ha un titolo di studio terziario. Sono imprese che innovano e che operano su mercati internazionali. Queste imprese spendono in formazione per occupato più del doppio delle imprese non digitalizzate, impartiscono una formazione tecnica specialistica e sono mediamente sindacalizzate.

Attualmente in Italia l'investimento in I4.0 sembra trainato da una sola tipologia di tecnologie, ossia quelle relative alla sicurezza informatica; esiste però un gruppo esiguo di imprese il cui interesse verso I4.0 è sistemico e riguarda tutte le tecnologie digitali cosiddette “abilitanti”. È possibile che per questo gruppo di imprese la scelta di investimento in I4.0 non sia influenzata da misure di incentivazione fiscale, ma che piuttosto dipenda da fattori organizzativi e strutturali di lunga durata. Come sottolineato da Gaddi *et al.* (2020), le aziende meglio preparate ad accettare le tecnologie I4.0 sembrano essere quelle che avevano già implementato innovazioni organizzative in direzione della *lean production*. Si tratta di aziende di proprietà di multinazionali, concentrate principalmente nel Nord Italia, o con stretti legami con l'industria tedesca (anche in questo caso localizzate nel Nord Italia). Da questo punto di vista, I4.0 potrebbe rafforzare dualismi e asimmetrie territoriali già esistenti in Italia attraverso una riconfigurazione delle reti di fornitura a scala globale e un inasprimento della marginalità di alcune aree del Paese escluse dal processo di trasformazione tecnologica.

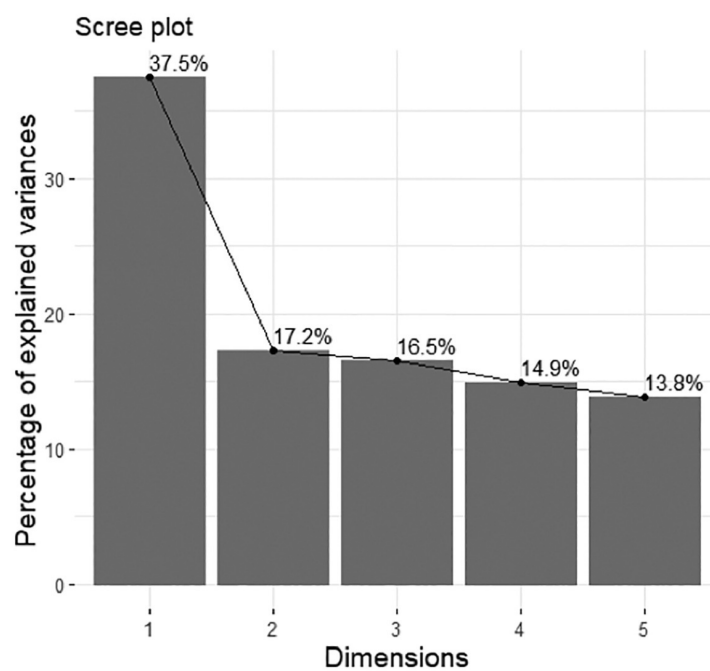
¹⁰ Per un'analisi esaustiva dei dati RIL INAPP (2018) relativi alla digitalizzazione delle imprese italiane in termini di investimenti in I4.0, si rimanda a A. Ricci (a cura di), *Imprese, lavoro e politiche pubbliche: analisi ed evidenze empiriche*, INAPP Report 2020 (forthcoming) e a Cirillo *et al.* (2020b).

APPENDICE

Tabella A1. Variabili incluse nella MCA (almeno un dipendente)

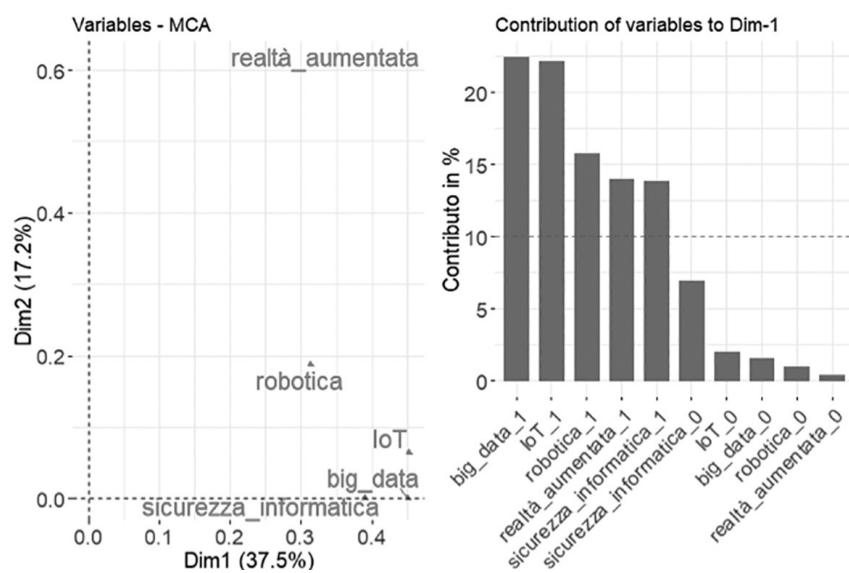
	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo
IoT	0,09	0,29	0	1
Robotica	0,06	0,24	0	1
<i>Big data analytics</i>	0,07	0,26	0	1
Realtà aumentata	0,03	0,17	0	1
Sicurezza informatica	0,36	0,48	0	1

Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

Figura A1. *Scree plot* della MCA

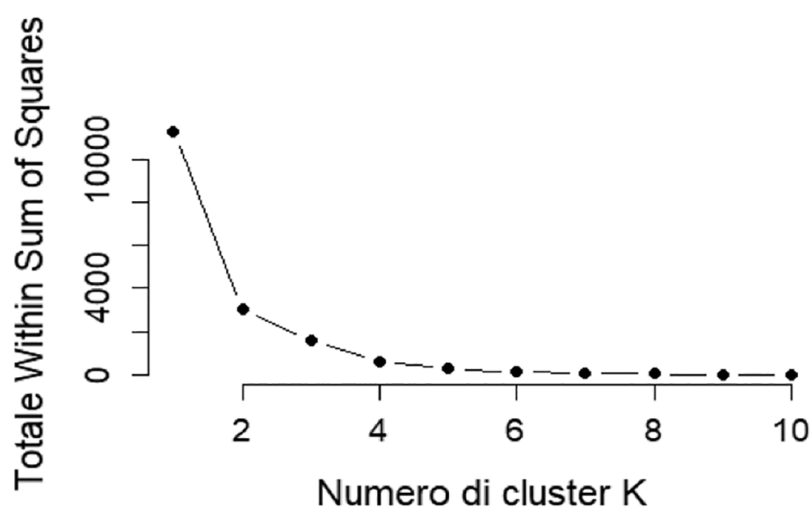
Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

Figura A2. Fattori della MCA



Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

Figura A3. Grafico del WSS per numero di cluster



Fonte: elaborazione propria su dati RIL INAPP (2018).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ACEMOGLU D., RESTREPO P. (2020), *Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets*, "Journal of Political Economy", 128, 6, pp. 2188-244.
- BENDIXEN M. (1995), *Compositional Perceptual Mapping using Chi-Squared Tree Analysis and Correspondence Analysis*, "Journal of Marketing Management", 11, pp. 571-81.
- BIAGI F. (2013), *ICT and Productivity: a Review of the Literature*, JRC Working Papers on Digital Economy N. 9, Joint Research Centre, Seville.
- BLOOM N., SADUN R., VAN REENEN J. (2012), *Americans Do IT Better: US Multinationals and the Productivity Miracle*, "American Economic Review", 102, 1, pp. 167-201.
- BRAVERMAN H. (1974), *Labour and Monopoly Capital*, Monthly Review, New York.
- BRESNAHAN T. F., TRAJTENBERG M. (1995), *General Purpose Technologies 'Engine of Growth'?*, "Journal of Econometrics", 65, 1, pp. 83-108.
- BRETEL M., FRIEDERICHSEN N., KELLER M., ROSENBERG M. (2014), *How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective*, "International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering", 8, 1.
- BRYNJOLFSSON E., HITT L. M. (1996), *Paradox Lost? Firm-Level Evidence on the Return to Information Systems Spending*, "Management Science", 42, 4, pp. 541-58.
- BRYNJOLFSSON E., MCAFEE A. (2014), *The Second Machine Age*, W.W. Norton, New York.
- CALLIGARIS S., DEL GATTO M., HASSAN F., OTTAVIANO G. I. P., SCHIVARDI F. (2016), *Italy's Productivity Conundrum. A Study on Resource Misallocation in Italy*, European Economy Discussion Paper 2015-030, General Directorate Economic and Financial Affairs (DG ECFIN), European Commission.
- CETRULO A., CIRILLO V., GUARASCIO D. (2019), *Weaker Jobs, Weaker Innovation. Exploring the Effects of Temporary Employment on New Products*, "Applied Economics", 51, 59, pp. 6350-75.
- CETRULO A., NUVOLARI A. (2019), *Industry 4.0: Revolution or Hype? Reassessing Recent Technological Trends and their Impact on Labour*, "Journal of Industrial and Business Economics", 46, 3, pp. 391-402.
- CIRILLO V., EVANGELISTA R., GUARASCIO D., SOSTERO M. (2020a), *Digitalization, Routineness and Employment: an Exploration on Italian Task-Based Data*, "Research Policy", 104079.
- CIRILLO V., FANTI L., MINA A., RICCI A. (2020b), *Digitizing Firms: Skills, Work Organization and the Adoption of New Enabling Technologies*, INAPP WP n. 53, National Institute of Public Policy Analysis (INAPP), Rome.
- CIRILLO V., RAITANO M., RICCI A. (2019), *Innovazione e distribuzione del lavoro nelle imprese: evidenze su dati amministrativi*, "SINAPPSI", IX, 1-2, pp. 53-69.
- CIRILLO V., RINALDINI M., STACCIOLI J., VIRGILLITO M. E. (2020c), *Technology vs. Workers: the Case of Italy's Industry 4.0 Factories*, "Structural Change and Economic Dynamics" (<https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.09.007>).
- CIRILLO V., ZAYAS J. M. (2019), *Digitalizing Industry? Labor, Technology and Work Organization: An Introduction to the Forum*, "Journal of Industrial and Business Economics", 46, p. 313.
- CODOGNO L. (2009), *Two Italian Puzzles: Are Productivity Growth and Competitiveness Really so Depressed?*, Government of the Italian Republic (Italy), Ministry of Economy and Finance, Department of the Treasury Working Paper Collection.
- DOSI G. (1991), *The Research on Innovation Diffusion: an Assessment*, in N. Nakicernovic, A. Grübler (eds.), *Diffusion of Technologies and Social Behavior*, Springer, Berlin-Heidelberg.
- DOSI G., MARENGO L. (2015), *The Dynamics of Organizational Structures and Performances under Diverging Distributions of Knowledge and Different Power Structures*, "Journal of Institutional Economics", 11, 3, pp. 535-59.
- DOSI G., NELSON R., WINTER S. G. (2003), *The Nature and Dynamics of Organizational Capabilities*, Oxford University Press, Oxford.
- FORD M. (2015), *Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future*, Basic Books, New York.
- FORD M. (2017), *Il futuro senza lavoro. Accelerazione tecnologica e macchine intelligenti. Come prepararsi alla rivoluzione economica in arrivo*, il Saggiatore, Milano.
- FREDDI D., GARIBALDO F., GARBELLINI N., GADDI M., CIRILLO V., RINALDINI M., STACCIOLI J., VIRGILLITO M. E. (2018), *Industry 4.0 and its Consequences for Work and Labour*, Fondazione Sabattini (http://www.ireser.it/administrator/components/com_jresearch/files/publications/Rapporto%20finale_sabattini.pdf).
- FREEMAN C., PEREZ C. (1988), *Structural Crisis of Adjustment: Business Cycles and Investment Behaviour*, in G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, L. Soete (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publisher, London-New York.

- FREY C. B., OSBORNE M. A. (2017), *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?*, "Technological Forecasting and Social Change", 114, pp. 254-80.
- GADDI M., GARBELLINI N. (2017), *Industry 4.0 and International Production Chains: Impacts on Labour*, "Slovenian Review Borec".
- GADDI M., GARIBALDO F., GARBELLINI N. (2020), *The Italian Experience in Implementing Industry 4.0*, "UCJC Business and Society Review", 17, 2, pp. 52-69.
- GARIBALDO F. (2017), *On Industry 4.0*, doi: 10.13140/rg.2.2.16617.70242.
- GRUBER H., VERBOVEN F. (2001), *The Diffusion of Mobile Telecommunication Services in the European Union*, "European Economic Review", 45, pp. 577-88.
- GUELLEC D., PAUNOV C. (2017), *Digital Innovation and the Distribution of Income*, NBER Working Paper No. 23987.
- HALL B. H., KHAN B. (2003), *Adoption of New Technology*, in D. C. Jones (ed.), *New Economy Handbook*, Academic Press, New York.
- HASKEL J., WESTLAKE S. (2017), *Capitalism without Capital. The Rise of the Intangible Economy*, Princeton University Press, Princeton.
- HELPMAN E. (1998), *General Purpose Technologies and Economic Growth*. The MIT Press, Cambridge.
- INAPP (2015), *RIL Nota Metodologica* (<https://inapp.org/sites/default/files/RIL%202015%20Nota%20Metodologica.pdf>).
- ISTAT (2017), *Rapporto sulla competitività dei settori produttivi. Capitolo 3 "Innovazione, nuove tecnologie e occupazione"*.
- ISTAT (2018), *Rapporto sulla competitività dei settori produttivi. Capitolo 3 "Innovazione, nuove tecnologie e occupazione"*.
- LORENZO-SEVA U. (2011), *Horn's Parallel Analysis for Selecting the Number of Dimensions in Correspondence Analysis*, "Methodology", 7, pp. 96-102.
- MALERBA F., ORSENIGO L. (1996), *The Dynamics and Evolution of Industries*, "Industrial and Corporate Change", 5, 1, pp. 51-87.
- MALERBA F., ORSENIGO L. (1997), *Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities*, "Industrial and Corporate Change", 6, 1, pp. 83-118.
- MARENGO L. (2019), *Is This Time Different? A Note on Automation and Labour in the Fourth Industrial Revolution*, "Journal of Industrial and Business Economics", 46, p. 323.
- MARTINELLI A., MINA A., MOGGI M. (2019), *The Enabling Technologies of Industry 4.0: Examining the Seeds of the Fourth Industrial Revolution*, Laboratory of Economics and Management (LEM) Working Paper No. 9, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa.
- MONTOBBIO F., STACCIOLI J., VIRGILLITO M., VIVARELLI M. (2020), *Robots and the Origin of their Labour-Saving Impact*, IZA Discussion Paper No. 12967 (<https://ssrn.com/abstract=3542636>).
- MORO A., RINALDINI M., STACCIOLI J., VIRGILLITO M. E. (2019), *Control in the Era of Surveillance Capitalism: An Empirical Investigation of Italian Industry 4.0 Factories*, "Journal of Industrial and Business Economics", 46, p. 347.
- MOWERY D., ROSENBERG N. (1979), *The Influence of Market Demand upon Innovation: A Critical Review of some Recent Empirical Studies*, "Research Policy", 8, pp. 102-53.
- MISE (2018), *The Diffusion of Industry 4.0 Companies and Policies: 2017 Evidence*, Ministero dello Sviluppo Economico (MISE), Italy (<https://d2uo11xaedulq.cloudfront.net/wpcontent/uploads/2018/07/08232244/Rapporto-MiSE-MetI40.pdf>).
- NELSON R., WINTER S. G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge.
- PARDI T. (2019), *Fourth Industrial Revolution Concepts in the Automotive Sector: Performativity, Work and Employment*, "Journal of Industrial and Business Economics", 46, p. 379.
- ROSENBERG N. (1972), *Factors Affecting the Diffusion of Technology*, "Explanations in Economic History", 10, 1, pp. 3-33.
- RUSSO M., PAVONE P., CETRULO A. (2019), *Conflict and Participation in Bargaining at Company Level: The Lamborghini Case*, "Economia & lavoro", 53, 1, pp. 53-74.
- SCHWAB K. (2017), *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Crown Publishing Group New York.
- SOETE L. (2018), *Destructive Creation. Explaining the Productivity Paradox in the Digital Era*, in M. Neufeind, J. O'Reilly, F. Ranft (eds.), *Work in the Digital Age: Challenges of the Fourth Industrial Revolution*, Rowman & Littlefield, London.
- STRANGE R., ZUCHELLA A. (2017), *Industry 4.0, Global Value Chains and International Business*, "Multinational Business Review", 25, 3, pp. 174-84.

- TEECE D. (2018), *Profiting from Innovation in the Digital Economy: Enabling Technologies, Standards, and Licensing Models in the Wireless World*, "Research Policy", 47, 8, pp. 1367-387.
- TUBARO P., CASILLI A. A. (2019), *Micro-Work, Artificial Intelligence and the Automotive Industry*, "Journal of Industrial and Business Economics", 46, p. 333.
- ZOLLO M., WINTER S. G. (2002), *Deliberate Learning and the Evolution of Dynamic Capabilities*, "Organization Science", 13, 3, pp. 339-51.