



ECONOMIA MARCHE Journal of Applied Economics

Vol. XL, No. 1, June 2021

Invenzione e adozione di tecnologie 4.0: opportunità di crescita per regioni tecnologicamente meno avanzate

Roberta Capello *Politecnico di Milano*

Camilla Lenzi *Politecnico di Milano*

Sommario

La quarta rivoluzione tecnologica è ormai una realtà. Le tecnologie 4.0, dall'intelligenza artificiale alla robotica all'Internet delle Cose (IoT), ai sensori, alla digitalizzazione e alla stampa in 3D, all'I-Cloud, per citarne solo alcune, si sviluppano a ritmi vertiginosi, e, quando inserite nei sistemi produttivi e nell'offerta di servizi, sono i propulsori di drastiche trasformazioni socio-economiche. In questo lavoro si dimostra che, a differenza dei precedenti salti paradigmatici, questa rivoluzione apre opportunità di crescita e sviluppo anche a regioni tecnologicamente meno avanzate. Tra queste, anche le regioni a industrializzazione tradizionale come la nostra Terza Italia hanno opportunità di crescita dalle tecnologie 4.0. In particolare, è soprattutto dall'adozione di robot in settori tradizionali che scaturiscono i vantaggi per aree specializzate in settori manifatturieri tradizionali, un risultato che sottolinea l'importanza di affrontare la trasformazione imposta dall'Industria 4.0.

Affiliations and acknowledgments

Roberta Capello, Politecnico di Milano, e-mail: roberta.capello@polimi.it; Camilla Lenzi, Politecnico di Milano, e-mail: camilla.lenzi@polimi.it. Questo articolo è una sintesi della "Lezione Economia Marche" tenuta da Roberta Capello (Ancona, 12 Maggio 2021).

Suggested citation

Capello, R. e C. Lenzi (2021), Invenzione e adozione di tecnologie 4.0: opportunità di crescita per regioni tecnologicamente meno avanzate, *ECONOMIA MARCHE Journal of Applied Economics*, XL(1): 1-19.

1 Le nuove opportunità della quarta rivoluzione tecnologica

Negli ultimi anni assistiamo con un ritmo crescente all'affermarsi di quella che è stata ormai denominata la quarta rivoluzione tecnologica. Una pletora di nuove tecnologie, dall'intelligenza artificiale alla robotica all'Internet delle Cose (IoT), ai sensori, alla digitalizzazione e alla stampa in 3D, all'I-Cloud, per citarne solo alcune, si sviluppano a ritmi vertiginosi, e, quando inserite nei sistemi produttivi e nell'offerta di servizi, sono i propulsori di drastiche trasformazioni socio-economiche. L'Industria 4.0 (Morrar e altri, 2017; Lasi e altri, 2014) e il fenomeno della Servitisation (Sforzi e Boix, 2018; Lafuente e altri, 2018; De Propris e Bailey, 2021; Barzotto e altri, 2019), per il quale si intende la dematerializzazione del prodotto e la sua offerta sotto forma di servizio, tendono a rivoluzionare il nostro modo di produrre, vivere, divertirci, e fare business. Le conseguenze di queste trasformazioni sono ancora ignote, e spezzano il dibattito tra pessimisti, da un lato, intenti a leggere una drastica tendenza verso un "mondo senza lavoratori", verso fabbriche completamente automatizzate grazie anche alla robotizzazione di funzioni cognitive, e ottimisti, dall'altro, intenti a evidenziare i vantaggi di produttività e di efficienza di sistemi digitali automatizzati (Autor e altri, 2020; Autor, 2019; McAfee e Brynjolfsson, 2018; Schwab, 2017).

Come provocatoriamente sottolineato da Brynjolfsson e McAfee (2014), le sfide nell'economia moderna non risiedono tanto nella "grande recessione" o "grande stagnazione", quanto nella "grande ristrutturazione" imposta al cambiamento tecnologico.¹ È un continuo processo di "distruzione creativa" che evolve a tassi e ritmi esponenziali, mai registrati in precedenza; il motore a vapore o il motore elettrico hanno rappresentato salti tecnologici importanti, non soggetti tuttavia a continue evoluzioni tecnologiche come nel caso delle tecnologie digitali (Brynjolfsson e McAfee, 2014; Autor e Dorn, 2013). Tra l'avvento della terza rivoluzione industriale con le prime reti di trasmissione digitale e l'attuale quarta rivoluzione, la potenza tecnologica è cresciuta esponenzialmente. Se nel 1997 il tempo per scaricare dalla rete un video di 800 Mb era di 12 ore, nel 2009, grazie alla tecnologia 4G, si era ridotto a 43 secondi e nel 2020 ha raggiunto un secondo, grazie alla tecnologia 5G.

Al di là delle posizioni estreme sulle possibili trasformazioni inevitabilmente suscitate da un cambiamento così profondo come quello che si intravede con l'adozione delle nuove tecnologie, è comunque indubbio che le regole di competizione nel mercato delle tecnologie stanno drasticamente evolvendo e con esse le fonti di profittabilità. Come sempre avviene nei grandi momenti di cambiamento e di rottura con il passato, i vantaggi del cambiamento esistono, la società nel suo insieme migliora, ma inevitabilmente qualcuno resta indietro. Le condizioni alle quali si raggiungono i vantaggi non sono ancora ben delineate, ma un aspetto appare importante e diverso dal solito: le regole sembrano cambiare anche in favore di aree periferiche rispetto ai grandi centri di sviluppo tecnologico proprio grazie alle caratteristiche delle nuove tecnologie che richiedono un livello di conoscenza pregressa e di investimenti in ricerca e sviluppo molto più contenuti che in passato. Regioni tecnologicamente meno avanzate non risultano, almeno in teoria, escluse dalla creazione di nuove invenzioni e, di conseguenza, da incrementi del prodotto interno lordo (PIL) che ne seguono, attraverso maggiori salari e profitti, e da aumenti di produttività, grazie a processi di creazione di conoscenza locale

¹ Questa affermazione è stata espressa prima della pandemia da COVID-19. Se ora l'emergenza sanitaria rimette prepotentemente al centro anche una crisi economica, è pur vero che questa va a sommarsi alle grandi sfide tecnologiche che non si arrestano e che devono essere affrontate anche in situazione di crisi.

Questo lavoro intende affrontare questo aspetto, e analizzare le potenzialità insite sia nelle trasformazioni del mercato delle tecnologie 4.0, sia le trasformazioni dovute alla loro adozione/produzione. Più in specifico, il lavoro analizza i cambiamenti nel mercato delle tecnologie, e i conseguenti effetti a livello locale. Inoltre, intende dimostrare empiricamente l'affermazione secondo la quale è possibile per le regioni tecnologicamente non avanzate un guadagno in termini di crescita del PIL sia dall'invenzione che dalla adozione di tecnologie 4.0 (Barzotto e altri, 2019; De Propris e Bailey, 2021). In questo senso, è interessante osservare se le regioni tecnologicamente non avanzate e tradizionalmente orientate ad una produzione in settori non high-tech, come possono essere le regioni della Terza Italia, possono pensare di competere nel mercato delle tecnologie 4.0 e ottenere vantaggi a livello di economia locale nel suo complesso da questa grande sfida della rivoluzione 4.0. Inoltre, ci preme qui valutare empiricamente se regioni a produzione manifatturiera tradizionale, specializzate in settori che non guidano la produzione e l'adozione delle tecnologie, quali il calzaturiero, il metalmeccanico, il tessile, siano in grado di cogliere i vantaggi dello sviluppo della automatizzazione e della robotica, e guadagnare quote di mercato. In altri termini, regioni caratterizzate da un'industria manifatturiera tradizionale, come le regioni della Terza Italia, possono pensare di trarre vantaggio dalla cosiddetta Industria 4.0? Questo lavoro presenta una risposta a questa domanda attraverso un'analisi empirica su tutte le regioni europee.

2 La quarta rivoluzione tecnologica: implicazioni per lo sviluppo locale

Esistono già interessanti studi su come cambia il mercato delle tecnologie di fronte all'avvento della rivoluzione 4.0. Uno studio ricco e ben articolato è quello di Rullani e Rullani (2018), che sentiamo di poter affermare essere il primo studio approfondito in Italia, preceduto da molti affascinanti lavori di colleghi stranieri (Brynjolfsson e McAfee, 2014; McAfee e Brynjolfsson, 2018; Schwab, 2017). In questo ambito riportiamo succintamente quanto elaborato da questi lavori sui cambiamenti strutturali nel mercato delle tecnologie 4.0, sui quali abbiamo introdotto alcune considerazioni sulle implicazioni per lo sviluppo locale.

Le nuove tecnologie 4.0 si caratterizzano per una peculiarità, quella di avere una natura ricombinatoria e applicativa che garantisce una fonte inesauribile di valore, senza rischio di esaurire le possibili combinazioni (Rullani e Rullani, 2018). La ricombinazione di tecnologie dà infatti luogo a nuove scoperte, nuove invenzioni, nuovi usi, attraverso il semplice utilizzo di conoscenze note che, ricombinate e applicate ad ambiti diversi, generano nuovo valore. Tutto ciò ha importanti conseguenze sul mercato delle tecnologie. Esso infatti è caratterizzato da:

- basse barriere all'entrata. Non sono infatti più necessari i grandi investimenti in R&S per entrare nel mercato tecnologico, che inevitabilmente facilitavano i grandi inventori come nel caso delle tecnologie 3.0. Le nuove invenzioni sono oggi spesso la ricombinazione di conoscenze esistenti che, unite in modo differente, danno luogo ad una nuova tecnologia. Tutto questo non richiede R&S, ma talento, creatività e menti brillanti;
- costo marginale che tende a zero (Gansky, 2010; OECD, 2019). Il risultato è un mercato con ampi margini di profitto, guadagni spropositati, raggiunti in brevissimo tempo;
- un mercato dove chi vince prende tutto (il famoso "winner takes all" market) per tutti gli infiniti mercati che possono costituirsi (OECD, 2019). In ogni mercato solo pochi eccellono.

Tuttavia, non esistono limiti al numero di mercati (di tecnologie digitali, si pensi alle app) che possono essere prodotte;

- un mercato costituito da un numero elevatissimo di piccolissime imprese (Rullani e Rullani, 2018). Se nella terza rivoluzione industriale le grandi multinazionali del software e della trasmissione governavano le tecnologie e il mercato, con costi fissi elevatissimi e migliaia di dipendenti, nella quarta rivoluzione siamo di fronte a micro imprese con costi fissi nulli e un numero limitatissimo di dipendenti;
- un mercato dove le grandi imprese storiche competono con piccolissime nuove imprese, che temono e sulle quali fanno valere i loro vantaggi di dimensione, cercando di acquisire o fare partnership con le piccole imprese innovative (Schwab, 2017).

Questi cambiamenti sono profondi e dirompenti, in quanto cambiano le regole della competizione, non necessariamente a favore delle imprese già presenti da tempo sul mercato, e agiscono sulle opportunità di entrare nel mercato delle tecnologie da parte di attori fino ad oggi esclusi.

Questo ragionamento, portato a livello territoriale, significa, in teoria, dare opportunità di crescita grazie all'invenzione di nuove tecnologie ad aree non centrali nella creazione di nuova conoscenza. In particolare, ci si può aspettare che due effetti diversi possano generarsi. Da un lato, c'è da attendersi una concentrazione geografica delle invenzioni nella sfera delle tecnologie core, quali il software, l'hardware e le tecnologie di trasmissione. Queste tecnologie richiedono ancora conoscenza cumulata nel tempo, e grandi sforzi in R&S. D'altro canto, non sono da escludere nuove opportunità di invenzione, in aree tecnologicamente meno avanzate, specialmente per quanto attiene alle invenzioni applicative e ricombinatorie.² Le invenzioni sono applicate a campi differenti, quali la salute personale, la casa, la mobilità e i trasporti, solo per menzionarne alcune. Molte invenzioni nascono attraverso l'accesso a grandi piattaforme tecnologiche e grazie a creatività e talento tecnologico, elementi presenti indistintamente sul territorio. Tutto ciò apre opportunità di crescita a territori nei quali l'invenzione non si era mai presentata come motore di sviluppo.

3 L'Industria 4.0 e le regioni specializzate in settori manifatturieri tradizionali

Nel campo dell'applicazione delle tecnologie 4.0, l'interesse in questo lavoro è rivolto all'adozione di tecnologie di automatizzazione e digitalizzazione ai processi produttivi che portano alla realizzazione della cosiddetta fabbrica automatica, o Industria 4.0, un termine coniato nel 2011 in Germania alla fiera del commercio di Hannover con l'idea di rafforzare la competitività dell'industria tedesca (Müller e altri, 2018; Pfohl e altri, 2015; Ślusarczyk, 2018; López-Fernández e altri, 2020).

Con il termine 'Industria 4.0' si intende infatti un processo crescente di digitalizzazione, robotizzazione e automatizzazione della produzione manifatturiera, arricchito dalla creazione di catene del valore digitali che permette di acquisire in tempo reale input dai fornitori e clienti e da concorrenti (Lasi e altri, 2014). L'industria 4.0 è caratterizzata da un elevato grado di digitalizzazione di tutte le fasi del processo produttivo, connesso con fonti di big data che

² Un'invenzione, un brevetto, può appartenere a più di un gruppo tecnologico. In questo caso, il brevetto nasce da una ricombinazione tecnologica.

possono adattare la produzione just in time alle necessità dei clienti; da un processo produttivo “intelligente”, che grazie a sistemi di produzione auto-controllati (attraverso sensori), permette di pianificare, controllare e monitorare le catene produttive in automatico; da un processo di connessione integrato con fornitori e clienti all’interno della catena del valore.

Questi aspetti tecnici si riflettono su un aumento di efficienza e di competitività delle imprese. Il processo manifatturiero va attraverso una importante trasformazione: da fasi della produzione isolate ad una completa integrazione di elementi e fasi interconnessi, grazie alla quale raggiunge un sistema di produzione di qualità, flessibile e veloce, in grado di produrre prodotti ad hoc su esigenze del cliente, ottenuti attraverso processi di produzione su larga scala, sfruttando le ben note economie che la dimensione genera, senza rinunciare alla customizzazione del prodotto stesso (Ganzarain e Errasti, 2016; Pereira e Romero, 2017; Ciffolilli e Muscio, 2018). Il nuovo modello di produzione diviene il cosiddetto “make for me” (Morrar e altri, 2017) basato su vantaggi di produzione di massa customizzata. Tutti questi vantaggi di efficienza e di qualità non rimangono confinati alle imprese adottatrici, ma si espandono in tutta l’economia, generando un aumento di PIL.

Se tutto questo è vero in teoria, la domanda che nasce spontanea è se questi vantaggi siano tipici di regioni nelle quali sono presenti grandi imprese di settori tecnologicamente avanzati, o se anche regioni specializzate in settori tradizionali, di piccola impresa, riescono ad avvantaggiarsi di questo salto tecnologico.

Nelle prossime pagine intendiamo analizzare queste ipotesi, attraverso un’analisi descrittiva circa la diffusione spaziale delle invenzioni 4.0 e dell’adozione di robot, sulla base di database sui brevetti 4.0 e sui nuovi robot costruiti da chi scrive all’interno di un progetto di ricerca internazionale capofilato dal Politecnico di Milano (ESPON, 2020; Capello e Lenzi, 2021b).

4 La diffusione spaziale delle nuove tecnologie 4.0 e dei robot di ultima generazione in Europa

Sulla base della banca dati sui brevetti 4.0 da noi costruita è possibile analizzare la tendenza alla concentrazione/diffusione spaziale dei brevetti per diverse tipologie di questi ultimi. Le Figure 1 e 2 mostrano l’intensità di brevetti per mille abitanti in tecnologie 4.0 ricombinatorie nel periodo 2010-2015 (media annua). In particolare, la Figura 1 mostra l’intensità in tecnologie ricombinatorie di base e abilitanti. Le tecnologie digitali di base includono hardware, software e connettività mentre le tecnologie abilitanti, come la manifattura additiva, l’intelligenza artificiale, espandono il possibile campo di applicazione delle più avanzate tecnologie digitali in ambito hardware, software e di connettività. La Figura 2, invece, descrive l’intensità di brevettazione in tecnologie ricombinatorie applicative. Costruite con dati normalizzati e stesse scale, pertanto perfettamente confrontabili³, le due mappe restituiscono una diffusione geografica dei due fenomeni alquanto diversa. Nel caso delle tecnologie ricombinatorie digitali di base e abilitanti, la concentrazione di attività brevettuale emerge chiaramente (Figura 1) tra paesi e all’interno dei paesi, una situazione che evidenzia molte regioni senza una capacità inventiva di questo genere. Solo poche regioni emergono, tutte in paesi ampiamente innovativi, riflettendo la nota tendenza alla concentrazione dell’attività brevettuale, ampiamente documentata in letteratura (Feldman e Audretsch, 1999).

³ Una normalizzazione min-max tra 0 e 100 applicata ai dati di intensità brevettuale, suddivisi in una stessa scala, ha permesso la confrontabilità dei dati sulle due mappe.

Figura 1: *Invenzione in tecnologie digitali di base e abilitanti – 2010-2015*

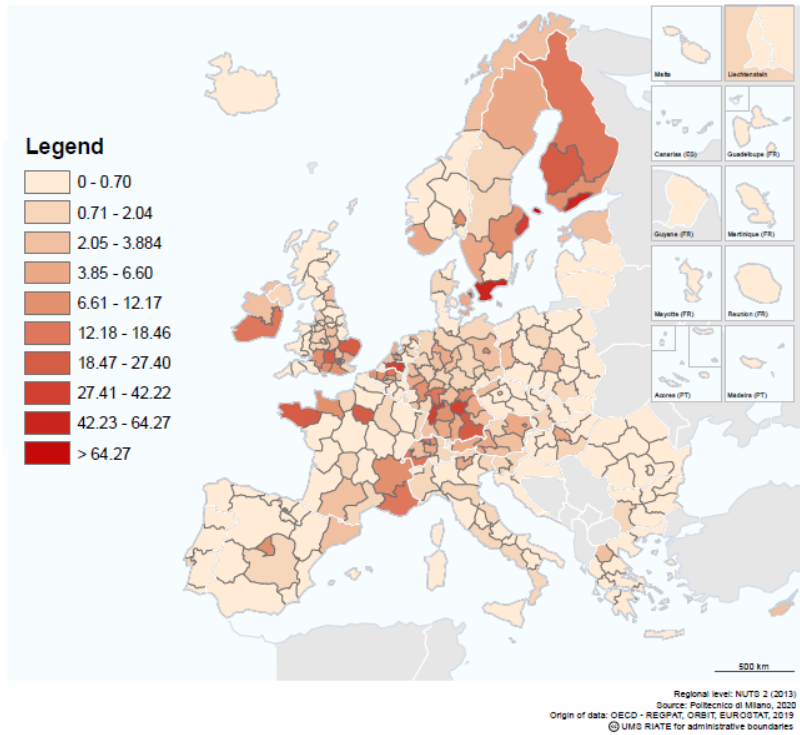


Figura 2: *Invenzione in tecnologie applicative – 2010-2015*

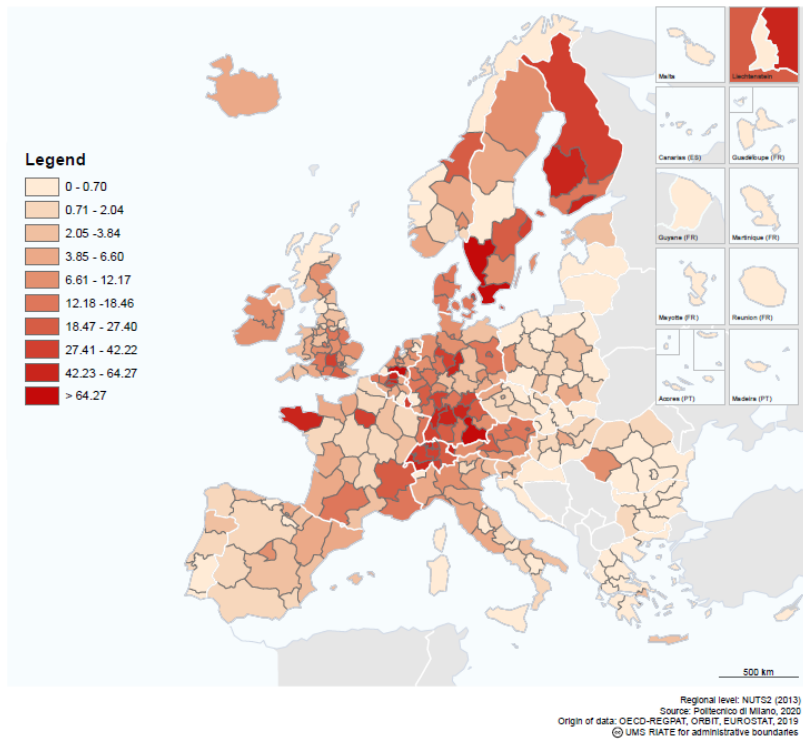
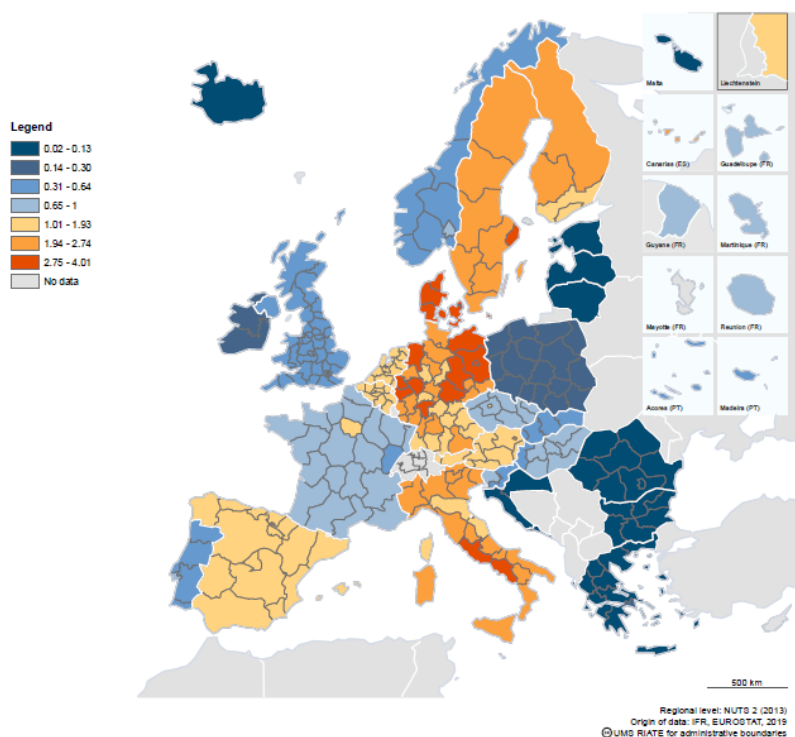


Figura 3: Adozione di robot nei settori manifatturieri tradizionali (numero di robot ogni 1000 abitanti) - 2008-2016



La Figura 2 restituisce una diffusione geografica delle tecnologie applicative molto diversa dalla mappa precedente. La brevettazione sembra avvenire anche in regioni tecnologicamente non avanzate. Alcune aree in Polonia, Repubblica Ceca, e nei Baltici (soprattutto in Estonia), soprattutto in regioni sedi di città di primo e secondo livello all'interno del contesto nazionale (Figura 1).

Da quanto emerge dalle analisi descrittive, sembra effettivamente vero quanto ipotizzato. Le tecnologie 4.0 ricombinatorie, quando di natura applicativa, sono presenti in più regioni, anche in quelle meno avanzate dal punto di vista tecnologico offrendo, almeno in teoria, una possibilità di crescita e di sviluppo anche a queste ultime.

Per quanto attiene la diffusione di dati di adozione di robot di ultima generazione nei settori tradizionali, questa è presentata nella Figura 3. La situazione rispecchia innanzitutto effetti paese molto accentuati. La Germania, l'Italia e la Danimarca, ad eccezione di un caso in Svezia, sono gli unici Paesi nei quali esistono aree con elevati livelli di adozione di robot che possono in parte anche dipendere dalle politiche e dagli incentivi nazionali, come il Piano Calenda. D'altro canto, focalizzandosi sul caso italiano, è interessante notare come esista una differenza nell'adozione dei robot tra regioni caratterizzate da una specializzazione molto simile in settori tradizionali. L'Emilia Romagna e le Marche sembrano le meno avanzate, mentre altre regioni tipiche della Terza Italia registrano una situazione in linea con la media italiana.

L'ambigua restituzione di regioni della Terza Italia capaci di essere all'altezza dell'adozione media italiana apre al dubbio se esistano anche differenti capacità di sfruttamento di queste tecnologie sulla performance regionale. Allo stesso modo, ci domandiamo se la capacità inventiva che sembra essere possibile in regioni tecnologicamente non avanzate abbia effetti sul

Tabella 1: *Valori medi di invenzione e adozione di tecnologie 4.0 in regioni specializzate in settori manifatturieri tradizionali: paragone con le altre regioni (test pair-wise)*

Variabile	Regioni specializzate in settori manifatturieri tradizionali	Altre regioni
Periodo 2008-2012		
Totale brevetti 4.0 (per mille abitanti)	0.005	0.02
Brevetti in tecnologie 4.0 ricombinatorie applicative (per mille abitanti)	0.002	0.008
Adozione di robot (per mille occupati)	1.4	2.71
Adozione di robot in settori manifatturieri tradizionali (per mille occupati nei settori manifatturieri)	0.001	0.002
Periodo 2013-2017		
Totale brevetti 4.0 (per mille abitanti)	0.005	0.021
Brevetti in tecnologie 4.0 ricombinatorie applicative (per mille abitanti)	0.003	0.009
Adozione di robot (per mille occupati)	2.02	3.25
Adozione di robot in settori manifatturieri tradizionali (per mille occupati nei settori manifatturieri)	0.001	0.002

Note: Tutte le differenze sono significative con un p-value <0.01.

PIL in regioni con una specializzazione in settori manifatturieri di industria leggera, quale il calzaturiero, il tessile, il metalmeccanico.

Queste domande sono legittime se si guarda ai valori medi di invenzione e adozione di tecnologie 4.0 nelle regioni specializzate in settori manifatturieri tradizionali riportati in Tabella 1. Sia nella capacità brevettuale che nell'adozione delle tecnologie 4.0 queste regioni appaiono indietro rispetto a tutte le altre regioni, con differenze che appaiono tutte statisticamente significative (Tabella 1).

I risultati descrittivi sembrano non chiari nell'indicare la capacità delle regioni tecnologicamente non avanzate di ottenere vantaggi dalle tecnologie 4.0. Se da un lato il trend geografico sembra dare ragione di nuove opportunità di crescita per aree non tecnologicamente avanzate, dall'altro sembra che l'invenzione di nuove tecnologie 4.0 penetri in modo meno deciso all'interno delle aree ad industrializzazione diffusa. Ancora meno chiaro risulta il trend dell'adozione dei robot in Italia; esso mostra un andamento nazionale marcato ma, al tempo stesso, registra ritmi di adozione diversi in aree ad industrializzazione diffusa.

Per un paese come l'Italia, con un tessuto di piccole e medie imprese in settori tradizionali e una tradizione consolidata di industria tradizionale, questo aspetto non è di poco conto. Possiamo pensare che i nostri distretti industriali, la nostra Terza Italia, possa ottenere vantaggi dalla quarta rivoluzione tecnologica o le nostre regioni a industrializzazione diffusa sono destinate a perdere questa occasione? Nei prossimi paragrafi cerchiamo di dare una risposta a questa domanda attraverso un'analisi empirica interpretativa.

5 Gli effetti delle invenzioni 4.0 e dell'adozione di robot sulla crescita regionale

5.1 Il modello econometrico

Per rispondere alla domanda se le regioni specializzate in industrializzazione tradizionale ottengono un vantaggio dall'invenzione e adozione di tecnologie 4.0, stimiamo un modello

di crescita regionale, nel quale la crescita del PIL regionale è spiegata attraverso una serie di caratteristiche delle economie locali e dalle loro intensità di invenzione e di adozione di tecnologie 4.0. In particolare, l'equazione in forma ridotta che stimiamo è la seguente:

$$\Delta PIL_{r,t} = F(X_{r,t-1}) + \epsilon_{r,t} \quad (1)$$

ove $\Delta PIL_{r,t}$ è la crescita del PIL della regione r al tempo t , che dipende da una serie di determinanti X della regione r al tempo $t - 1$ e da un termine di errore ϵ . L'analisi è svolta su due periodi, il periodo pre-crisi 2007-2012, e il periodo di ripresa 2013-2017. Per entrambi, le variabili indipendenti sono al primo anno del periodo di crescita analizzato.

Le variabili esplicative sono:

- il livello iniziale di PIL, che controlla per la ricchezza iniziale;
- il livello di popolazione, che controlla per la dimensione della regione;
- la quota di popolazione in aree urbane, per controllare i vantaggi di economie di agglomerazione sulla crescita regionale;
- la quota di occupati nei servizi, che controlla per la specializzazione settoriale;
- la quota di persone laureate, che cattura la qualità del capitale umano;
- il livello di investimenti diretti esteri nella regione, che misura il grado di attrattività della regione
- la qualità della governance locale;
- il grado di specializzazione della regione in industria manifatturiera tradizionale⁴;
- una dummy che cattura il periodo di tempo;
- una dummy che cattura l'appartenenza della regione a paesi dell'Unione Europea a 15.

Le due importanti variabili che catturano l'invenzione e la produzione / adozione di tecnologie 4.0 sono, rispettivamente

- il numero di brevetti in tecnologie 4.0 applicative, per le invenzioni;
- il numero di robot per 1000 occupati nei settori manifatturieri tradizionali⁵, per l'adozione di tecnologie 4.0.

Il modello è stato stimato controllando, attraverso appropriati test, per l'autocorrelazione spaziale. Essendo infatti l'unità di analisi tutte le regioni europee, è necessario controllare che i risultati non siano inficiati da interdipendenze spaziali tra le variabili (Elhorst, 2010).⁶

5.2 Misura dell'impatto delle tecnologie 4.0 sulla crescita regionale

La Tabella 2 riporta i risultati della stima del modello. La prima colonna riporta i risultati per tutto il campione, mentre le colonne due e tre si focalizzano rispettivamente sull'intensità

⁴ Si intendono qui i settori degli alimentari, del tessile, della chimica, della farmaceutica, della plastica, del metallo, delle costruzioni e dell'energia.

⁵ I settori presi in considerazione riguardano: settore dei prodotti alimentari, bevande e tabacco; settore tessile e dell'abbigliamento; settore del carbone e raffinaria, settore dei materiali e prodotti chimici, settore farmaceutico; settore metalmeccanico, settore della plastica e altri prodotti non metalliferi; elettricità; costruzioni.

⁶ In Tabella 2 sono riportati i test Wald suggeriti in Elhorst (2010), consapevoli del dibattito ancora in corso in letteratura circa il modo migliore di stimare tali interdipendenze (LeSage e Pace, 2009, 2014; Florax e altri, 2003).

Tabella 2: Risultati di stima del modello di crescita regionale

Variabile dipendente: crescita media annuale del PIL	1	2	3
PIL (log)	-0.0061** (0.003)	-0.0062** (0.003)	-0.0073** (0.003)
Popolazione (log)	0.0083*** (0.003)	0.0083*** (0.003)	0.0094*** (0.003)
Quota di popolazione urbana	0.0025 (0.002)	0.0026 (0.002)	0.0029 (0.002)
Quota di occupazione nei servizi	-0.0034 (0.004)	-0.0035 (0.004)	-0.0046 (0.004)
Qualità delle istituzioni	0.0062*** (0.001)	0.0061*** (0.001)	0.0061*** (0.001)
Intensità di investimenti diretti esteri (per 1000 abitanti)	0.0053** (0.003)	0.0054** (0.003)	0.0053** (0.003)
Quota di laureati	0.0002** (0.000)	0.0002** (0.000)	0.0002** (0.000)
Specializzazione in settori manifatturieri tradizionali	-0.0039** (0.002)	-0.0043** (0.002)	-0.0075** (0.003)
Intensità di brevetti di tecnologie 4.0 applicative (per 1000 occupati)	0.1553** (0.065)	0.1442** (0.064)	0.1809*** (0.069)
Intensità di adozione di robot (ogni mille occupati) in settori manifatturieri tradizionali	1.9297*** (0.520)	1.9418*** (0.521)	1.5750*** (0.561)
Intensità di brevetti di tecnologie 4.0 applicative (per 1000 occupati) × Specializzazione in settori manifatturieri tradizionali		0.095 (0.211)	2.2218* (1.354)
Intensità di adozione di robot in settori manifatturieri tradizionali (per 1000 occupati) × Specializzazione in settori manifatturieri tradizionali			
Dummy UE 15	-0.0246*** (0.003)	-0.0247*** (0.003)	-0.0250*** (0.003)
Dummy periodo	0.0224*** (0.001)	0.0224*** (0.001)	0.0222*** (0.001)
Costante	-0.0740** (0.033)	-0.0744** (0.033)	-0.0808** (0.033)
Test Wald – lag spaziale della variabile dipendente (p-value), SDM	0.51	0.3	0.45
Test Wald (joint) – lag spaziale delle variabili dipendenti (p-value), SDM	0.44	0.44	0.28
Test Wald – lag spaziale (p-value), SAR	0.74	0.75	0.75
Test Wald – lag spaziale (p-value), SLX	0.4	0.28	0.25
Test Wald – errore spaziale (p-value), SEM	0.82	0.84	0.9
R ²	0.57	0.57	0.57

Note: N = 524. Standard error tra parentesi. * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

di invenzione e di adozione in settori manifatturieri tradizionali, catturata dal termine di interazione tra le variabili di intensità di brevettazione e adozione e la specializzazione in settori manifatturieri tradizionali delle regioni.

I controlli riportano i risultati attesi. Appare un modello di crescita convergente, con le regioni più povere che crescono di più delle ricche. E' un modello che ricorda che le regioni dell'Europa dell'ovest crescono meno di quelle dell'Est, che la qualità delle istituzioni e il capitale umano giocano un ruolo importante nella crescita regionale, così come che le regioni più attrattive in termini di investimenti diretti esteri hanno capacità di crescita maggiore. Infine, le regioni più specializzate in settori tradizionali crescono in media meno delle altre.

Quanto interessa il nostro lavoro è inerente alle variabili di intensità di invenzione e di adozione di tecnologie 4.0. Entrambe risultano significativamente associate ad una maggior crescita del PIL regionale, sottolineando come la quarta rivoluzione tecnologica sia importante per la competitività delle economie locali.

Tuttavia, per rispondere alla domanda centrale del lavoro, ossia se le regioni specializzate

Figura 4: Effetti marginali dell'invenzione di tecnologie 4.0 sulla crescita del PIL: confronto tra regioni specializzate in settori manifatturieri tradizionali e non

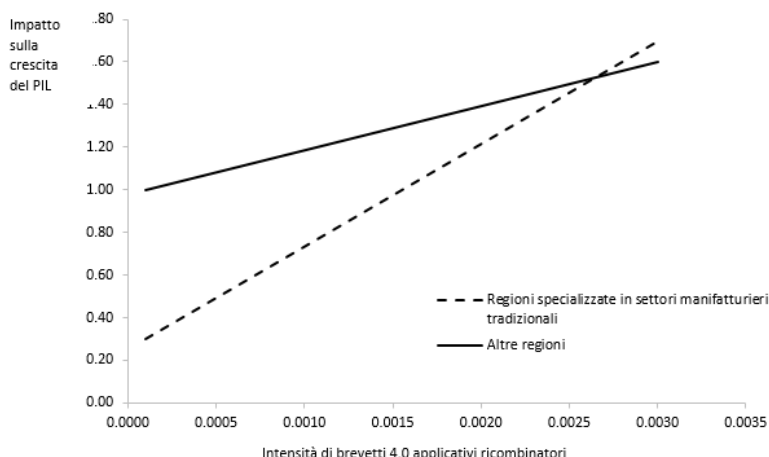


Tabella 3: Impatto previsto sulla crescita del PIL della creazione di tecnologie 4.0 applicative ricombinatorie

Confronto per diversa intensità di specializzazione in settori tradizionali e per livelli differenti di intensità di creazione di tecnologie 4.0 applicative ricombinatorie	Invenzione in tecnologie 4.0 applicative ricombinatorie
10° percentile di invenzioni nelle regioni specializzate (0.67) vs. il 10° percentile (1.10) nelle non specializzate in settori tradizionali	-0.43**
90° percentile di invenzioni (1.02) di regioni specializzate in settori tradizionali vs. 90° percentile (1.31) delle non specializzate in settori tradizionali	-0.29
90° percentile di invenzioni (1.02) vs. il 10° percentile (0.67) delle regioni specializzate in settori tradizionali	0.21**
90° percentile di invenzioni (1.31) vs. 10° percentile (1.10) delle regioni non specializzate in settori tradizionali	0.35

Note: brevetti in tecnologie 4.0 applicative ricombinatorie, 10° percentile = 0; 90° percentile = 0.0146. * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01.

in manifattura tradizionale ottengono vantaggi in termini di crescita del PIL, è necessario focalizzarsi sui risultati delle colonne 2 e 3. Il termine di interazione tra le variabili di intensità di invenzione di tecnologie 4.0 e l'intensità di specializzazione in settori manifatturieri tradizionali risulta non significativo. Non esiste pertanto nessuna differenza nell'ottenere effetti sul reddito da un livello medio di invenzioni 4.0 in regioni mediamente specializzate in quei settori. Un risultato diverso, significativo e positivo, è associato all'adozione di robot. Un'adozione media di queste tecnologie genera effetti positivi in regioni mediamente specializzate in settori tradizionali.

Per comprendere meglio a fondo il fenomeno, non ci si può arrestare al valore medio. In particolare, è necessario calcolare gli effetti marginali che l'invenzione di tecnologie 4.0 applicative e l'adozione di robot hanno sul PIL.

Da questo esercizio emergono risultati interessanti. La Figura 4 mostra come, effettivamente, le regioni specializzate in settori manifatturieri tradizionali abbiano una crescita del PIL

Figura 5: *Effetti marginali dell'adozione di robot sulla crescita del PIL: confronto tra regioni specializzate in settori manifatturieri tradizionali e non*

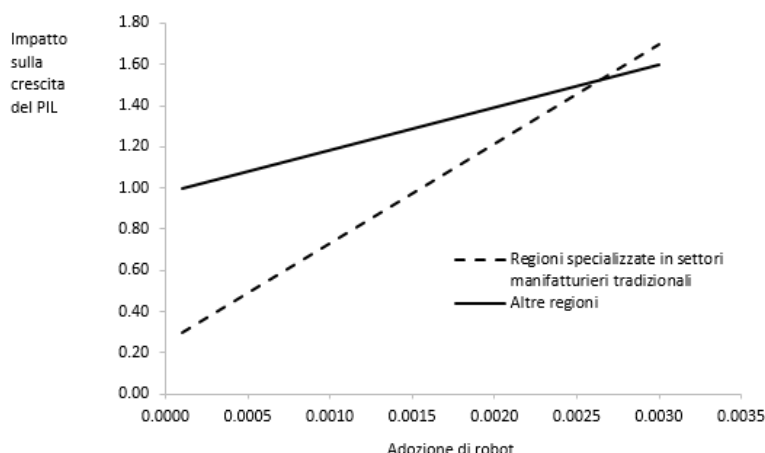


Tabella 4: *Impatto previsto sulla crescita del PIL di adozione di robot in settori manifatturieri per diversi livelli di specializzazione*

Confronto per diversa intensità di specializzazione in settori tradizionali e per livelli differenti di intensità di adozione di robot	Adozione di robot in settori manifatturieri tradizionali
10° percentile di adozione nelle regioni specializzate (0.67) vs. il 10° percentile (1.10) nelle non specializzate in settori tradizionali	-0.72**
90° percentile di adozione di regioni specializzate in settori tradizionali (1.02) vs. 90° percentile (1.31) delle non specializzate in settori tradizionali	0.09
90° percentile di adozione (1.02) vs. il 10° percentile (0.67) delle regioni specializzate in settori tradizionali	1.37***
90° percentile di adozione (1.31) vs. 10° percentile (1.10) delle regioni non specializzate in settori tradizionali	0.57**

Note: Adozione di robot in settori manifatturieri tradizionali, 10mo percentile = 0.0001; 90mo percentile = 0.0037. * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01.

costantemente più bassa, indipendentemente dal livello di invenzione delle tecnologie 4.0 rispetto a tutte le altre regioni. Tuttavia, è interessante vedere come la pendenza della retta sia maggiore nel caso delle regioni manifatturiere, ad indicare che l'impatto delle tecnologie 4.0 comporta tassi di crescita più elevati in queste regioni che altrove. La differenza tra chi inventa poco (10° percentile) nelle regioni specializzate e in quelle non specializzate risulta statisticamente significativa e negativa: le regioni che inventano poco e sono specializzate in settori tradizionali hanno vantaggi dall'invenzione sulla crescita del PIL statisticamente più bassi delle altre regioni (Tabella 3). Invece, le regioni che inventano molto (90° percentile) nelle regioni specializzate hanno un ritorno dall'adozione simile alle altre regioni: la differenza nell'impatto risulta infatti non statisticamente significativa (Tabella 3). Questi risultati mostrano processi di apprendimento nello sfruttamento delle invenzioni, e allo stesso tempo un raggiungimento di una massa critica di adottatori sufficiente affinché l'invenzione si tramuti in vantaggio economico. Tra le regioni specializzate, quelle che inventano molto (90° percentile)

mostrano una crescita del PIL significativamente maggiore di quelle che inventano poco, una differenza non registrata per le regioni non specializzate (Tabella 3).

Ancor più interessante si presenta la Figura 5, che mostra un andamento simile alla Figura 4. Di nuovo, le regioni più industrializzate ottengono vantaggi più limitati sulla crescita del PIL dall'adozione di robot. Tuttavia, nelle regioni con quote di adozione di robot molto elevati (90° percentile), l'effetto sulla crescita locale arriva ad essere più elevato nelle regioni specializzate in settori tradizionali rispetto alle altre, ad indicare che le regioni manifatturiere tradizionali non possono sottrarsi dall'adozione di robot nei loro settori, e dal passaggio all'Industria 4.0. Le regioni specializzate in settori tradizionali che adottano molto ottengono gli stessi vantaggi delle altre, un deciso maggior vantaggio rispetto a quelle specializzate che adottano poco (Tabella 4).

6 Conclusioni

Il lavoro ha voluto analizzare le opportunità che la quarta rivoluzione tecnologica crea per la crescita economica di aree tecnologicamente non avanzate. In questa nuova rivoluzione, qualcosa appare molto differente dalle passate sfide tecnologiche. Per la prima volta esistono le condizioni affinché anche regioni tecnologicamente non avanzate, follower nell'adozione, possono non solo riscuotere un vantaggio nell'adozione ma anche nell'invenzione di queste tecnologie.

I risultati dell'analisi mostrano in modo inequivocabile che i vantaggi esistono anche per aree specializzate in industria tradizionale, in linea con quanto trovato per regioni tecnologicamente molto arretrate (Capello e Lenzi, 2021a). Queste aree sanno cogliere le opportunità di crescita che la capacità brevettuale genera quando si analizza la natura ricombinatoria e applicativa delle nuove tecnologie. Creatività e capacità inventiva esistono anche in aree tecnologicamente non avanzate, e generano un vantaggio di crescita anche in queste regioni. Non solo, ma è un vantaggio soggetto a rendimenti crescenti: dove si inventa di più l'impatto sul PIL è maggiore.

D'altro canto, le regioni specializzate in settori tradizionali guadagnano in modo deciso dall'adozione di robot, un guadagno che diviene uguale a tutte le altre regioni nel caso le regioni adottino molto. Di nuovo, esistono chiari processi di apprendimento nello sfruttamento di queste tecnologie che sembrano più pronunciati per le regioni a industrializzazione tradizionale.

Questi risultati ci fanno concludere che la quarta rivoluzione industriale è un processo che nessuna regione può esimersi dall'intraprendere. Non solo, ma la strategia di adozione, soprattutto per l'Industria 4.0, deve essere una strategia decisa, veloce e capillare, che permetta di raggiungere un'adozione diffusa tra le imprese sul territorio. E' solo attraverso un agire deciso e diffuso a livello locale che si ottengono i vantaggi che le nuove tecnologie offrono.

Riferimenti bibliografici

- Autor D.; Dorn D.; Katz L. F.; Patterson C.; Van Reenen J. (2020). The Fall of the Labor Share and the Rise of Superstar Firms. *The Quarterly Journal of Economics*, **135**(2), 645–709.
- Autor D. H. (2019). Work of the Past, Work of the Future. *AEA Papers and Proceedings*, **109**, 1–32.
- Autor D. H.; Dorn D. (2013). The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market. *American Economic Review*, **103**(5), 1553–1597.
- Barzotto M.; Corradini C.; Fai F. M.; Labory S.; Tomlinson P. R., (A cura di) (2019). *Revitalising lagging regions : smart specialisation and industry 4. 0*. Routledge, an imprint of the Taylor & Francis Group, Abingdon, Oxon New York, NY.
- Brynjolfsson E.; McAfee A. (2014). *The Second Machine Age*. Norton & Company, London.
- Capello R.; Lenzi C. (2021a). 4.0 Technological Revolution and Economic Competitiveness: Unexpected Opportunities for Peripheral Areas. *Scienze Regionali*, **in pubblicazione**, 1–24.
- Capello R.; Lenzi C. (2021b). *The regional economics of technological transformations: Industry 4.0 and servitisation in European regions*. Routledge, Routledge, London.
- Ciffolilli A.; Muscio A. (2018). Industry 4.0: national and regional comparative advantages in key enabling technologies. *European Planning Studies*, **26**(12), 2323–2343.
- De Propris L.; Bailey D., (A cura di) (2021). *Industry 4.0 and Regional Transformations*. Routledge Taylor & Francis Ltd, Oxford.
- Elhorst J. P. (2010). Applied Spatial Econometrics: Raising the Bar. *Spatial Economic Analysis*, **5**(1), 9–28.
- ESPON (2020). Technological Transformation Transitioning of Regional Economies. Final report available at <https://www.espon.eu/transregecon>.
- Feldman M. P.; Audretsch D. B. (1999). Innovation in cities: Science-based diversity, specialization and localized competition. *European Economic Review*, **43**(2), 409–429.
- Florax R. J. G. M.; Folmer H.; Rey S. J. (2003). Specification searches in spatial econometrics: the relevance of Hendry's methodology. *Regional Science and Urban Economics*, **33**(5), 557–579.
- Gansky L. (2010). *The mesh: why the future of business is sharing*. Portfolio Penguin, New York, N.Y.
- Ganzarain J.; Errasti N. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, **9**(5), 1119.
- Lafuente E.; Vaillant Y.; Vendrell-Herrero F. (2018). Territorial servitization and the manufacturing renaissance in knowledge-based economies. *Regional Studies*, **53**(3), 313–319.

- Lasi H.; Fettke P.; Kemper H.-G.; Feld T.; Hoffmann M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, **6**(4), 239–242.
- LeSage J.; Pace R. (2014). The Biggest Myth in Spatial Econometrics. *Econometrics*, **2**(4), 217–249.
- LeSage J.; Pace R. K., (A cura di) (2009). *Introduction to spatial econometrics*. Taylor and Francis, Boca Raton.
- López-Fernández J. M.; Maté-Sánchez-Val M.; Somohano-Rodríguez F. M. (2020). The effect of micro-territorial networks on industrial small and medium enterprises' innovation: A case study in the Spanish region of Cantabria. *Papers in Regional Science*, **100**(1), 51–77.
- Mcafee A.; Brynjolfsson E. (2018). *Machine, Platform, Crowd. Harnessing our Digital Future*. Norton Company, London.
- Müller J. M.; Buliga O.; Voigt K.-I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, **132**, 2–17.
- Morrar R.; Arman H.; Mousa S. (2017). The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. *Technology Innovation Management Review*, **7**(11), 12–20.
- OECD (2019). Vectors of Digital Transformation. OECD Digital Economy Papers n. 273, Paris.
- Pereira A. C.; Romero F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, **13**, 1206–1214.
- Pfohl H. C.; Yahsi B.; Kurnaz T. (2015). The Impact of Industry 4.0 on the Supply Chain In *Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chain*. A cura di Kertsen W., Blecker T., Ringle C. M., pp. 31–58. epubli GmbH.
- Rullani E.; Rullani F. (2018). *Dentro la Rivoluzione Digitale*. Giappichelli, Torino.
- Schwab K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Random House LCC US.
- Sforzi F.; Boix R. (2018). Territorial servitization in Marshallian industrial districts: the industrial district as a place-based form of servitization. *Regional Studies*, **53**(3), 398–409.
- Ślusarczyk B. (2018). Industry 4.0 – Are we ready? *Polish Journal of Management Studies*, **17**(1), 232–248.