

Trend spaziali nella creazione delle tecnologie 4.0: nuove isole di innovazione creativa nelle regioni europee

Roberta Capello*, Matteo Laffi*, Camilla Lenzi*

Sommario

La Quarta Rivoluzione Industriale è diventata una realtà; tuttavia, non è ancora chiaro quali siano le condizioni per le quali si raggiungano benefici netti da questa profonda trasformazione tecnologica. Questo contributo propone e discute l'ipotesi che i rilevanti cambiamenti e trasformazioni in atto nel mercato delle tecnologie 4.0 comporteranno notevoli conseguenze da un punto di vista territoriale in quanto queste tecnologie possono essere sviluppate anche in regioni tipicamente poco innovative. L'articolo offre evidenza empirica a sostegno di questa affermazione tramite un'analisi su un'ampia base dati di indicatori brevettuali relativi alle tecnologie 4.0 sviluppate nelle regioni europee (NUTS-2) nel periodo 2000-2015.

1. Introduzione¹

La Quarta Rivoluzione Industriale è diventata una realtà. La quotidianità sta rapidamente mutando in risposta a nuove soluzioni tecnologiche, a nuovi prodotti e a nuove attività che influenzano, fino a modificare radicalmente, abitudini e comportamenti usuali. Questa è, tuttavia, soltanto la punta dell'iceberg di un più profondo cambiamento strutturale che sta avvenendo sia nel mercato dove le nuove tecnologie 4.0 sono sviluppate, sia, più in generale, nella società, sotto la spinta della diffusione di queste tecnologie e delle loro grandi potenzialità. Come suggerito provocatoriamente da Brynjlfsson e McAfee (2014), l'origine delle grandi sfide delle nostre economie non sta tanto nella “Grande Recessione” o nella “Grande Stagnazione”, quanto nel fatto che ci troviamo nel mezzo di una vera e propria “Grande Ristrutturazione” del sistema economico.

* Politecnico di Milano, Dipartimento ABC, Milano, Italia, e-mail: roberta.capello@polimi.it; matteo.laffi@polimi.it; camilla.lenzi@polimi.it (corresponding author).

1. Questo lavoro è tratto da un progetto ESPON svolto nel 2019-2020 dal titolo “Technological Transformation & Transitioning of Regional Economies”, coordinato dal Politecnico di Milano – www.espon.eu.

L'attuale trasformazione tecnologica penetra la struttura dei mercati in cui sono prodotte queste tecnologie, imponendo nuove regole di concorrenza, nuovi elementi strategici sui quali si basano i processi di innovazione, nuove fonti di potenziale profitto e, allo stesso tempo, nuove potenziali minacce (Rullani, Rullani, 2018). Questa trasformazione comprende, inoltre, anche profondi mutamenti nella società derivanti dall'automazione di attività non routinarie, come nel caso delle operazioni chirurgiche effettuate a distanza. Tutti questi elementi hanno un impatto sulla qualità e sulla quantità di lavoro disponibile in futuro e sulla nostra vita quotidiana ed erano quasi impossibili da immaginare come, per esempio, un mondo "quasi senza lavoro", una fabbrica "completamente automatizzata" (Autor, 2019; Schawb, 2017). Si tratta di un processo di distruzione creativa che si sta realizzando con una velocità inedita, esponenziale; sebbene anche il motore a vapore e il motore elettrico fossero tecnologie dirompenti, queste non sono state oggetto di continui adattamenti e miglioramenti ad un ritmo pari a quello conosciuto dalle tecnologie digitali (Brynjolfsson, McAfee, 2014). Nel periodo intercorso tra la precedente rivoluzione digitale (il paradigma tecnologico 3.0), nel corso del quale i primi computer furono messi in connessione tra loro, e l'attuale Quarta Rivoluzione Industriale, le potenzialità delle tecnologie digitali sono cresciute enormemente: nel 1997 occorre 12 ore per scaricare un file video da 800 Mb da Internet; nel 2009 bastavano 43 secondi (grazie alla tecnologia 4G); nel 2020, con l'avvento del 5G, si prevede che basterà un solo secondo (Sole 24 Ore, 2019).

Come nel caso delle precedenti trasformazioni tecnologiche, anche se la società nel suo complesso ne trarrà beneficio, i vantaggi non necessariamente si manifesteranno nell'immediato e qualcuno rischierà di rimanere indietro. Le condizioni necessarie affinché si possano trarre benefici netti dall'attuale trasformazione tecnologica non sono ancora evidenti, un aspetto che, invece, merita di essere analizzato in profondità. Come verrà più diffusamente spiegato nel prossimo paragrafo, la stessa natura delle nuove tecnologie determina nuove condizioni alla base del processo di innovazione, influenzando la dinamica della concorrenza e riconfigurando le fonti di profitto. Questi mutamenti possono erodere la rendita derivante da preesistenti posizioni di mercato oligopolistiche e creare opportunità per nuovi soggetti (Rullani, Rullani, 2018). La nostra ipotesi, verificata empiricamente in questo lavoro, è che l'attuale ristrutturazione tecnologica porti con sé importanti conseguenze sul piano spaziale, in quanto fornisce opportunità di innovazione anche ad aree tradizionalmente meno avanzate e innovative.

Questa idea è elaborata nel presente lavoro dal punto di vista concettuale ed empirico. L'analisi dell'evoluzione delle tecnologie 4.0 e dei rispettivi mercati permette di comprendere le conseguenze attese del nuovo paradigma tecnologico sulla geografia dell'innovazione. Inoltre, grazie alla costruzione di un database originale che contiene informazioni sulla creazione di tecnologie 4.0 nelle regioni

europee nell'arco di due periodi temporali (2000-2009 e 2010-2016), l'analisi empirica riesce a delineare l'emergere di una nuova geografia dell'innovazione, caratterizzata dall'affioramento di nuove "isole creative" in contesti inattesi e, in passato, scarsamente innovativi.

2. I cambiamenti strutturali indotti dal paradigma tecnologico 4.0: conseguenze spaziali

Si è in presenza di un nuovo paradigma tecno-economico (Freeman, Perez, 1988) quando il progresso tecnologico che si sviluppa attorno ad una nuova tecnologia dominante influenza radicalmente non solo il comportamento delle imprese in tutto il sistema economico, ma anche, più in generale, la società, modificando lo stile di vita e le abitudini delle persone, le opportunità di lavoro, le forme di produzione e la struttura dei mercati. I profondi mutamenti indotti dal progresso tecnologico nell'economia, nella società e nelle norme istituzionali (formali e informali) caratterizzano il nuovo paradigma tecno-economico come una vera e propria rivoluzione industriale (Perez, 2010).

Al momento, tre grandi innovazioni tecnologiche – o rivoluzioni industriali – sono state individuate in letteratura (Perez, 2010): il motore a vapore, che caratterizzò il primo paradigma tecnologico (1760-1840) e che portò alla produzione meccanizzata; l'elettricità e la linea di assemblaggio mobile, innovazioni legate alla Seconda Rivoluzione Industriale (che si estese dal tardo '800 all'inizio del '900) che permisero di sviluppare la produzione di massa; infine, la Terza Rivoluzione Industriale (o Digitale), iniziata negli anni '60 del secolo scorso con l'introduzione dei semiconduttori e dei mainframe computer e proseguita con l'avvento dei personal computer (anni '70 e '80) e con le comunicazioni digitali (internet) (anni '90). A partire dai primi anni del 2010, ha iniziato a svilupparsi la cosiddetta Quarta Rivoluzione Industriale, un nuovo paradigma tecnologico che coinvolge numerosi campi tecnologici come, a titolo di esempio seppur non esaustivo, l'intelligenza artificiale, la robotica avanzata, l'internet delle cose, i veicoli a guida autonoma, la stampa 3D, le nano-tecnologie, le biotecnologie, le tecnologie legate all'accumulazione dell'energia (Brynjlfsson, McAfee, 2014; Schwab, 2017).

Rispetto alle precedenti rivoluzioni industriali, la Quarta Rivoluzione Industriale si differenzia per una caratteristica specifica, ovvero la *compresenza e ricombinazione di una pluralità di nuove tecnologie* e non, come in passato, per la presenza di una soluzione tecnologica dominante. Le nuove tecnologie nascono dal continuo sviluppo delle tecnologie digitali e sono basate sulla ricombinazione di tecnologie nuove e/o esistenti, incluse quelle digitali. È dunque impossibile individuare una singola tecnologia attorno alla quale si sviluppa il cambiamento e la riorganizzazione della società e dell'economia, come invece era possibile fare nel caso delle

precedenti rivoluzioni industriali; tutti i cambiamenti derivano dall'inedita velocità con la quale si stanno sviluppando le tecnologie digitali, dotate ormai di grandi capacità di memoria e di trasmissione dei dati, e dal ritmo col quale queste tecnologie vengono effettivamente adottate (Brynjlfsson, McAfee, 2014).

A prima vista, la differenza tra la Quarta e la Terza Rivoluzione Industriale – quella digitale – non appare così evidente. Le tecnologie fondamentali che stanno alla base di entrambe sono quelle digitali e della trasmissione dei dati. Ciò che fa la differenza, tuttavia, è l'intensità con la quale *l'intelligenza artificiale e la trasmissione di dati operano in maniera combinata con numerose nuove tecnologie e in una grande varietà di settori di applicazione*. Una volta considerati i cambiamenti tecnologici e sociali permessi da queste grandi potenzialità digitali, la Quarta Rivoluzione Industriale appare in tutta la sua potenziale dirompenza. Infatti, diversamente da quanto accadeva agli albori della digitalizzazione, quando le tecnologie digitali “core” (come l'*hardware* e il *software*) e le tecnologie *enabling*² erano al centro dello sviluppo tecnologico, il campo di applicazione, da solo o in combinazione con le tecnologie *core* e *enabling*, sembra essere al centro dell'evoluzione tecnologica (EPO, 2017).

La Quarta Rivoluzione Industriale consiste nella crescente armonizzazione e integrazione di tecnologie differenti ma *interdipendenti*; infatti, le invenzioni hanno origine nel riutilizzo e nella ricombinazione di tecnologie sia nuove sia già esistenti, permettendo di fatto molte nuove applicazioni che solo in alcuni casi sono create per risolvere un problema specifico. Spesso, infatti, queste invenzioni sono sviluppate per creare un bisogno e, con esso, un mercato nel quale gli utilizzatori possano avere facile accesso grazie a prezzi bassi e limitati costi di adozione (Brynjlfsson, McAfee, 2014).

Le nuove tecnologie hanno alcune peculiarità che influenzano il funzionamento del mercato ad esso collegato, la tipologia di attori coinvolti e la natura stessa dell'innovazione, con differenze rilevanti rispetto alla Terza Rivoluzione Industriale. La differenza principale risiede nell'infinita replicabilità e trasferibilità della conoscenza sulla quale si basano le invenzioni, che assicura una costante ed inesauribile fonte di valore, senza il rischio di esaurimento delle possibili nuove combinazioni tecnologiche (Rullani, Rullani, 2018). Inoltre, la natura ricombinatoria di queste nuove tecnologie comporta una profonda ristrutturazione del mercato delle tecnologie, ora basato su differenti caratteristiche strutturali e modalità di competizione che, a loro volta, richiedono nuove

2. Le tecnologie digitali “core” corrispondono alle tecnologie *hardware* e *software* e alle tecnologie che permettono l'interconnessione e lo scambio di dati. Le tecnologie “*enabling*”, invece, si sviluppano in maniera complementare a partire da quelle “core” in un'ottica più applicata. Infatti, esse rappresentano una sorta di “ponte” tecnologico tra le tecnologie “core” e i diversi campi di applicazione. Questi, a loro volta, identificano gli ambiti di applicazione finale delle tecnologie 4.0 in diversi campi dell'economia.

strategie di impresa rispetto a quanto messo in atto durante il precedente paradigma tecnologico (Tabella 1). In particolare:

- a. *basse barriere all'entrata nei mercati delle nuove tecnologie* (Rullani, Rullani, 2018). Diversamente dal caso della Terza Rivoluzione Industriale, con la Quarta Rivoluzione Industriale imponenti investimenti in R&D non sono più la chiave per avere accesso al mercato. I nuovi business digitali sono spesso, al

Tabella 1 – Caratteristiche del processo di innovazione e struttura del mercato: un confronto tra Terza e Quarta Rivoluzione Industriale

	<i>Terza Rivoluzione Industriale</i>	<i>Quarta Rivoluzione Industriale</i>
<i>Processi di innovazione</i>		
Tecnologie core	General Purpose Technologies nel campo dell'Information and Communication Technologies (ICTs)	Ricombinazione delle tecnologie digitali esistenti Applicazioni tecnologiche digitali su piattaforme ampie e interconnesse Ampliamento delle potenzialità delle ICTs e dei computer Innovazione creativa
Processi di innovazione	Creazione di conoscenza	Adozione creativa
<i>Struttura di mercato</i>		
Profittabilità	Difficile da ottenere, occorrono economie di scala	Potenzialmente facile da ottenere, modello "scala senza massa" (<i>scale without mass</i>)
Attori principali nei mercati della tecnologia	Grandi multinazionali con alti costi fissi e un elevato numero di occupati	Piccole multinazionali con bassi costi fissi e un limitato numero di occupati
Fonti di profitto	Proprietà di conoscenza creativa	Costi marginali prossimi allo zero Mercati ampi ed infiniti Conoscenza di base
Struttura del mercato	Oligopolio	Monopolio Regola <i>Winner-takes-all</i> per ciascuno degli infiniti mercati (micro-esperti per macro mercati)
Fonti di concorrenza	Tra poche, grandi multinazionali	Tra piccole nuove imprese dinamiche e innovative

Fonte: elaborazione degli autori

giorno d'oggi, ricombinazioni, o mash-up, di elementi precedenti e richiedono talenti e creatività come principali inputs;

- b. *nuovi business digitali caratterizzati da costi marginali che tendono a zero e dalla possibilità di raggiungere un mercato esteso* (OECD, 2019). Il risultato è un mercato con enormi margini di profitto, la cosiddetta *super star compensation*, ossia elevati extra-profitti per gli attori leader di ogni mercato, ottenibili in breve tempo;
- c. *un mercato del tipo “winner takes all”* per ogni tipo di mercato e un numero infinito di mercati (OECD, 2019). Infatti, nel mercato di ciascun prodotto digitale soltanto pochi leader eccellono, escludendo gli altri produttori e determinando, di fatto, un mercato asimmetrico. Tuttavia, allo stesso tempo, nonostante la dinamica “winner takes all” porti a enormi margini di profitto, non esiste un limite predeterminato al numero di mercati (di prodotti digitali) che possono essere creati, con la naturale conseguenza di aprire possibilità imprenditoriali ad una vasta platea di attori;
- d. *una miriade di imprese innovative nuove e agili che penetrano i mercati* (Rullani, Rullani, 2018). Mentre la Terza Rivoluzione Industriale era caratterizzata dalla presenza di grandi multinazionali, con costi fissi elevati e migliaia di dipendenti, nel nuovo paradigma tecnologico 4.0 è frequente assistere alla creazione di micro multinazionali con bassi costi fissi e un ridotto numero di dipendenti;
- e. *grandi attori tradizionali che diversificano la loro attività in nuovi settori* facendo leva sul proprio portfolio di clienti, sulle loro infrastrutture o tecnologie (Schwab, 2017). Operatori nel campo delle comunicazioni e fornitori di piattaforme digitali sono entrati, per esempio, nel mercato dei servizi sanitari o nel settore automobilistico con grandi margini di profitto;
- f. *grandi attori già presenti sul mercato che ora soffrono la concorrenza di nuove imprese piccole e agili* (Schwab, 2017). Quando start-up innovative compaiono in un nuovo mercato occupandone una quota considerevole, gli attori tradizionali fanno leva su vantaggi di scala e investono acquisendo o stringendo accordi di partnership con le imprese start-up piccole e innovative.

I cambiamenti in atto nei mercati delle tecnologie sono profondi e dirompenti e hanno, allo stesso tempo, conseguenze sulla localizzazione spaziale degli attori che stanno alla base del processo di innovazione e, quindi, anche sulle potenzialità di crescita delle regioni coinvolte. In particolare, è possibile attendersi tre differenti effetti sul territorio:

- a. *una concentrazione geografica delle tecnologie “core” nelle regioni europee caratterizzate da maggior intensità di ricerca e innovazione*. Le grandi multinazionali che controllano il mercato delle tecnologie “core” (i.e. *software*, *hardware* e connettività), così come quello delle tecnologie “enabling” che

sviluppano ulteriormente e in maniera complementare le tecnologie “*core*” (per esempio, tecnologie per interfaccia con l’utente, intelligenza artificiale, determinazione della posizione) richiedono una concentrazione geografica delle attività così da sfruttare al meglio la conoscenza cumulata e le economie di scala tipiche delle attività di R&S;

- b. *nuove opportunità di innovazione nelle regioni periferiche e meno sviluppate.* Le piattaforme tecnologiche e la creatività, che rappresentano i principali assets necessari per accedere ai mercati digitali, sono ormai distribuite sul territorio e, pertanto, anche le aree periferiche dei paesi più avanzati e le aree forti dei paesi meno avanzati possono accedere a queste opportunità;
- c. *nuove isole di innovazione creativa.* Il passaggio dalla R&S alla creatività come fonte di innovazione, i costi marginali prossimi allo zero, le basse barriere di entrata nel mercato delle nuove tecnologie dovute ad una conoscenza di base diffusa, la disponibilità di tecnologie di base che possono essere riutilizzate in maniera innovativa e profittevole sono tutti elementi che, quando sfruttati, permettono anche alle regioni tradizionalmente non innovative di entrare nel mercato e diventare, inaspettatamente, nuove “isole di innovazione creativa”.

L’obiettivo del lavoro è quello di descrivere i *pattern* che sottendono alla creazione di tecnologie 4.0. Per raggiungere tale scopo, è stato necessario costruire una banca dati ricca e originale per l’individuazione dei nuovi brevetti di invenzioni 4.0, sulla base di una strategia e una metodologia assai complessa, che viene illustrata nel prossimo paragrafo.

In particolare, l’analisi empirica si concentra principalmente su due aspetti:

- l’evoluzione temporale della composizione delle diverse tipologie di tecnologie 4.0 rispetto alle tecnologie “*core*” sulle quali si basano: *hardware*, *software*, tecnologie per la connessione e tecnologie “*enabling*” rispetto a tecnologie che derivano dalla ricombinazione di tecnologie esistenti per nuovi mercati. Ci attendiamo che le tecnologie di tipo più applicativo e ricombinatorio rappresentino una quota sempre più importante del totale delle tecnologie 4.0;
- le conseguenze spaziali di questa evoluzione tecnologica e, in particolare: i) la concentrazione geografica dei produttori di tecnologie “*core*” e di tecnologie “*enabling*” nelle regioni europee a maggior intensità di R&D e innovazione, ii) lo svilupparsi di nuove capacità creative in regioni precedentemente non innovative e, di conseguenza, l’emergere di nuove isole di innovazione creativa. I risultati empirici sono discussi nel paragrafo 4.

3. L'identificazione e la misurazione della creazione di tecnologie 4.0: aspetti metodologici

Sebbene la letteratura scientifica dedicata al tema del paradigma tecnologico 4.0 sia in rapido aumento, non si è raggiunta ancora convergenza sulla migliore metodologia capace di identificare sistematicamente i campi tecnologici coinvolti nella Quarta Rivoluzione Industriale. Un'importante eccezione è rappresentata dallo studio effettuato dall'Ufficio Europeo dei Brevetti (EPO) *Patents and the Fourth Industrial Revolution*, nel quale gli autori cercano di tracciare i confini tecnologici del paradigma 4.0 e le sue tecnologie rilevanti sulla base di un'ampia analisi di dati di brevetto, ampiamente utilizzati in letteratura per monitorare e studiare i trend tecnologici. Tuttavia, la maggior parte degli studi sulla Quarta Rivoluzione Industriale si è finora concentrata su singole tecnologie – per esempio l'internet delle cose (Trappey *et al.*, 2017), il bio-printing 3D (Rodríguez-Salvador *et al.*, 2017), senza considerare l'ampio spettro di tecnologie che caratterizzano questo nuovo paradigma.

Lo studio condotto dall'EPO propone una cartografia delle invenzioni 4.0 (cioè dei brevetti) classificandoli in tre gruppi principali: tecnologie “*core*”, tecnologie “*enabling*” e ambiti di applicazione. Ciascuno di questi tre gruppi principali, è ulteriormente suddiviso in un totale di 16 sotto-gruppi tecnologici (la classificazione completa è riportata nell'Appendice A). Le cosiddette tecnologie “*core*” rappresentano le fondamenta sulle quali le altre tecnologie 4.0 vengono sviluppate: queste invenzioni appartengono ai campi dell'ICT tipici della Terza Rivoluzione Industriale. Il secondo gruppo tecnologico, quello delle tecnologie “*enabling*”, sviluppa le tecnologie “*core*” in maniera complementare. Infine, il terzo gruppo, gli ambiti di applicazione, si riferisce alle applicazioni finali delle tecnologie 4.0 in diversi ambiti dell'economia.

Lo studio dell'EPO collega i 16 sotto-gruppi tecnologici già menzionati a specifici codici tecnologici della Cooperative Patent Classification (11.139 codici CPC su un totale di 259.840 codici). Questi 11.139 codici CPC definiscono i confini del paradigma tecnologico 4.0 e permettono di individuare quelle invenzioni che possono essere considerate come potenzialmente 4.0. La lista finale di brevetti realmente 4.0 è ottenuta attraverso un'analisi testuale dei testi dei brevetti volta ad individuare specifiche parole chiave suggerite dagli esaminatori dei brevetti.

La nostra metodologia si basa sullo studio dell'EPO. Come nel caso del lavoro dell'EPO, il primo stadio metodologico prevede l'estrazione dal database OECD-REGPAT di tutti i brevetti europei che presentano almeno uno dei codici tecnologici CPC 4.0, ottenendo così un campione di 212.034 brevetti che

copre il periodo 1977-2015.³ Il risultato è pertanto una lista di brevetti che, da un punto di vista tecnologico, possono essere considerati come potenzialmente 4.0, in quanto collegati ad almeno uno dei 16 sotto-gruppi tecnologici identificati dall'EPO come parte del paradigma 4.0. Nel secondo stadio, questi brevetti potenzialmente 4.0 sono stati esaminati in modo da selezionare quelli che, in base alle loro specificità tecnologiche, possono essere definiti come vere e proprie invenzioni 4.0. Questo secondo passaggio ha richiesto un'analisi testuale effettuata sulle diverse parti di ciascun brevetto (titolo, abstract, descrizione, rivendicazioni) ottenute dal database ORBIT.

La selezione delle parole chiave utilizzate nell'analisi testuale è chiaramente un elemento di fondamentale importanza in questo approccio in quanto una raccolta inappropriata di parole chiave potrebbe distorcere i risultati dell'analisi testuale, sottostimando o sovrastimando alcune specifiche tecnologie. È in questo secondo stadio, assai critico, che la nostra metodologia si discosta da quella EPO in due aspetti. Il primo riguarda il gruppo di esperti consultati al fine di ottenere un elenco esaustivo di parole chiave. Mentre per lo studio EPO questi sono scelti tra esaminatori di brevetti, nel nostro caso abbiamo preferito avere un panel di esperti prevalentemente scienziati (accademici specializzati in tecnologie 4.0) che garantisse una selezione in base ai più recenti sviluppi tecnologici e scientifici. Il secondo aspetto innovativo riguarda la procedura seguita per raccogliere la lista di parole chiave. Queste, infatti, sono state raccolte tramite uno studio Delphi (Okoli, Pawloski, 2004)⁴ tra scienziati organizzato in due round, così da assicurare la qualità scientifica del processo di selezione e ottenere, allo stesso tempo, una rappresentazione rigorosa e completa del paradigma 4.0 in termini di parole chiave tecnologiche.

Per lo studio Delphi, abbiamo preferito lasciare la scelta degli esperti ad un *meta-esperto*, incaricato di selezionare e coinvolgere altri esperti in modo da coprire equamente i 16 sotto-gruppi tecnologici identificati dall'EPO. In questo modo, applicando una procedura roaster-recall, è stato possibile riunire un panel di 20 esperti (provenienti principalmente da università italiane e specializzati in tecnologie 4.0), che sono stati poi coinvolti nello studio Delphi a due round con lo scopo di identificare la lista finale di parole chiave. Nel primo round è stato somministrato per via telematica un questionario nel quale gli esperti

3. È importante sottolineare che un brevetto può appartenere a più di un sotto-gruppo tecnologico: questo accade quando il brevetto considerato è associato a codici CPC che appartengono a sotto-gruppi diversi.

4. In generale, lo scopo del metodo Delphi è quello di ottenere il più ampio consenso riguardo ad un determinato argomento tra un gruppo di esperti. Questo approccio consiste in una consultazione anonima e indipendente di esperti nel campo di interesse così che le opinioni espresse dai partecipanti non siano distorte da fattori esterni. Solitamente, il panel di esperti è consultato più di una volta, in una serie di interazioni in sequenza.

hanno elencato, per ciascuno dei 16 gruppi tecnologici, le parole chiave che a loro giudizio meglio li descrivono. Nel secondo round, sempre attraverso un questionario, è stato chiesto agli esperti di valutare l'appropriatezza di ciascuna parola chiave su una scala da 0 a 5.⁵

Il risultato finale dello studio Delphi consiste in una lista di 434 parole chiave tecnologiche, ciascuna delle quali associata ad una valutazione da 1 a 5, che coprono tutti i 16 gruppi tecnologici identificati dallo studio EPO (2017).⁶ Quasi metà di queste parole chiave (esattamente 196) hanno ricevuto una valutazione di 4 o 5 punti e sono state utilizzate nell'analisi testuale, dopo un accurato processo di espansione. Tutte le parole chiave sono state individuate in uno o più brevetti e questo significa che l'analisi testuale ha permesso di individuare brevetti 4.0 che appartengono a ciascuno dei 16 gruppi tecnologici e che non sono presenti distorsioni significative nell'analisi.

Grazie a questo processo, dunque, dei 212.034 brevetti selezionati nel primo stadio tramite i loro codici CPC, 21.092 possono essere considerati vere e proprie invenzioni 4.0. È rilevante sottolineare come il database presenti trend temporali, spaziali e tecnologici coerenti con quelli che emergono nello studio EPO (2017).

4. L'evoluzione delle tecnologie 4.0

4.1. L'evoluzione delle tecnologie 4.0 in Europa

Le prime tecnologie 4.0 fanno la loro comparsa negli anni '90, con quasi 100 brevetti all'anno a livello europeo. Da un punto di vista quantitativo si tratta di un fenomeno numericamente piuttosto ridotto. Tuttavia, tra il 1995 e il 2000 il numero di brevetti è più che triplicato e ulteriormente raddoppiato nel periodo 2000-2015 (Figura 1).⁷

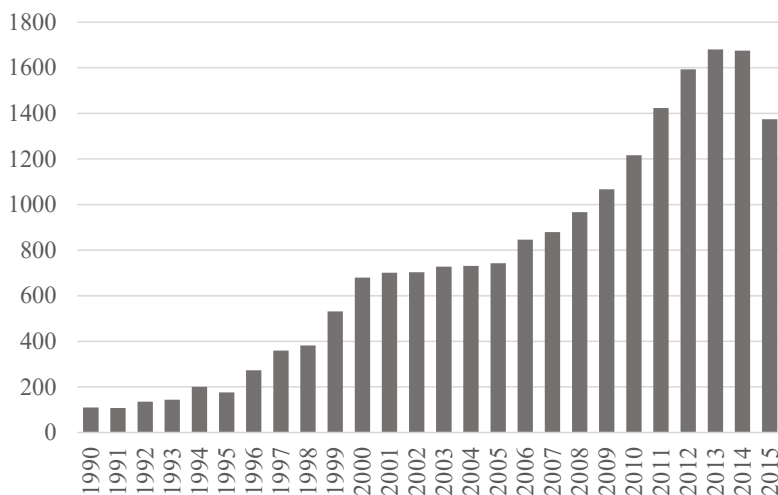
È importante notare come il trend sia crescente non solo in termini assoluti ma anche relativi, soprattutto a partire dagli anni 2000 (Figura 2). Infatti, la quota di brevetti 4.0 sul totale dei brevetti registrati presso l'EPO da paesi europei è cresciuta continuamente, con un ritmo esponenziale negli ultimi anni di osservazione a conferma del primo e fondamentale elemento del paradigma 4.0 sottolineato dalla letteratura, ovvero la crescita esponenziale di queste tecnologie. Nel 2015, la quota di brevetti 4.0 è cinque volte più grande che nel 2000.

5. I questionari inviati telematicamente nel primo e nel secondo stadio dello studio Delphi sono disponibili nell'Appendice B.

6. Nell'Appendice C sono riportati alcuni esempi per illustrare il processo di selezione ed espansione delle parole chiave.

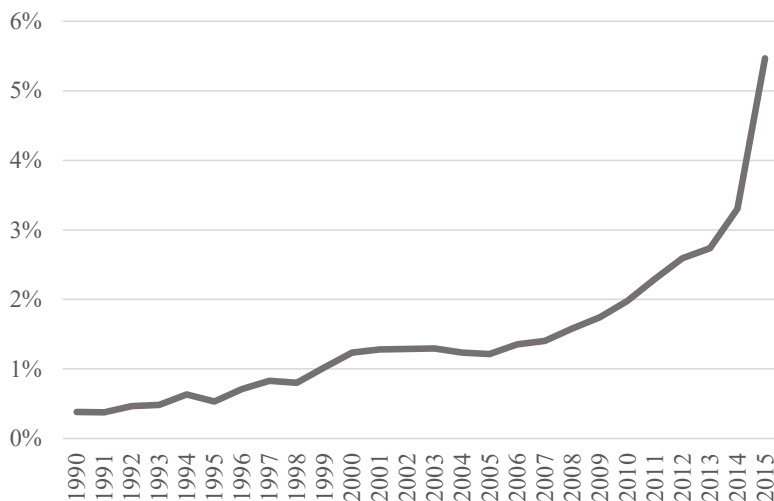
7. I dati di brevetto di solito presentano problemi di "right truncation" dovuti ai tempi amministrativi che caratterizzano il processo di approvazione e pubblicazione del brevetto stesso.

Figura 1 – Numero totale di brevetti 4.0 registrati all'EPO da paesi europei, 1990-2015



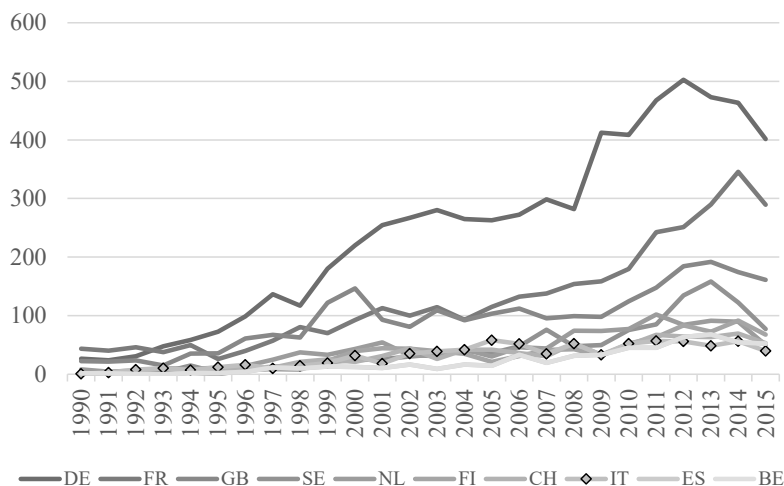
Fonte: elaborazione degli autori

Figura 2 – Quota di brevetti 4.0 registrati all'EPO da paesi europei, 1990-2015



Fonte: elaborazione degli autori

Figura 3 – Numero di brevetti 4.0 registrati dai primi 10 paesi europei, 1990-2015



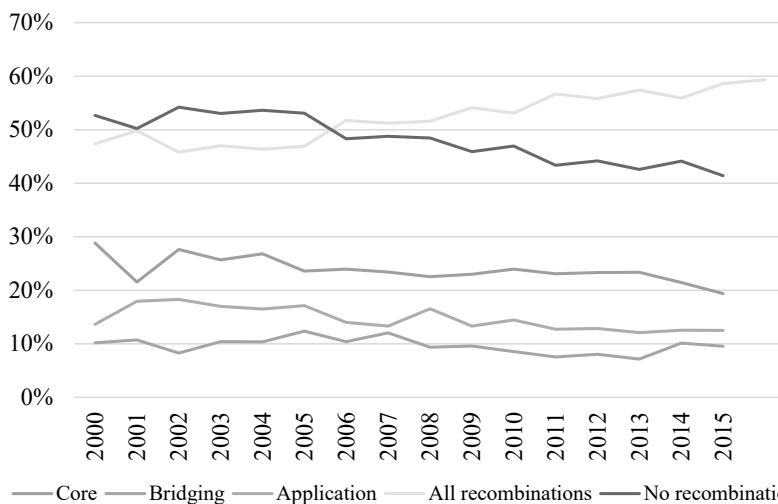
Fonte: elaborazione degli autori

Nel complesso, questo trend è determinato dalla performance dei paesi più rilevanti in termini di numero di brevetti 4.0 registrati. I primi 10 paesi, infatti, rappresentano più del 90% del totale dei brevetti 4.0 registrati (Figura 3). I primi 3 paesi (in ordine, Germania, Francia e Regno Unito) rappresentano il 60% del totale e la sola Germania circa il 30%, a dimostrazione che da un punto di vista spaziale la creazione di tecnologie 4.0 è concentrata in alcuni paesi.

I dati, inoltre, confermano anche il secondo tratto distintivo del paradigma tecnologico 4.0 evidenziato in letteratura, ovvero la sua natura fortemente ricombinatoria (Figura 4). Infatti, la quota di brevetti 4.0 maggiormente ricombinatori – cioè brevetti che uniscono tecnologie “core” e/o “enabling” e specifici ambiti di applicazione – ha superato quella relativa a brevetti 4.0 che appartengono ad un solo gruppo tecnologico (cioè solo tecnologie “core”, solo tecnologie “enabling” o solo tecnologie applicate ad uno specifico ambito) ed è in continuo aumento.

È interessante notare come i gruppi più rilevanti di brevetti 4.0 ricombinatori siano quelli che coinvolgono una specifica applicazione (ossia quelli che uniscono tecnologie “core” e ambiti di applicazione, tecnologie “enabling” e ambiti di applicazione o, addirittura, tutti e tre i gruppi tecnologici). Inoltre, questo gruppo di brevetti 4.0 ricombinatori costituisce quasi la metà di tutti i brevetti 4.0 e la rispettiva quota sta crescendo costantemente negli ultimi anni (Figura 5). I brevetti 4.0 che uniscono tecnologie “core” e “enabling”, invece, anche se

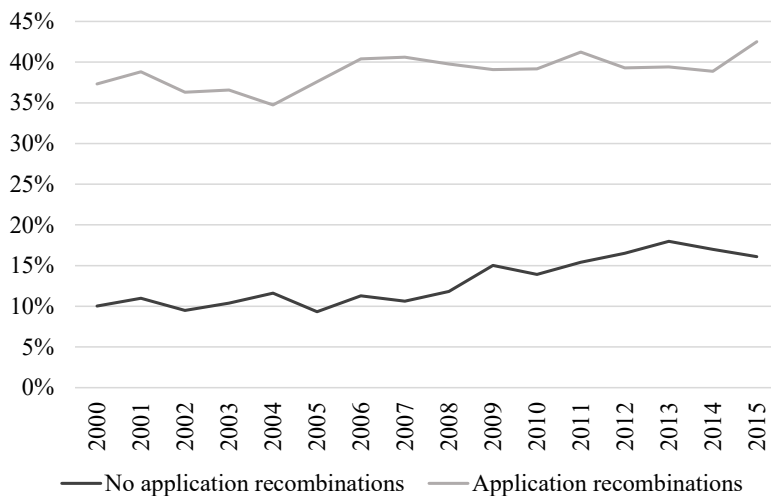
Figura 4 – Quota di brevetti 4.0 per gruppo tecnologico, 2000-2015



Nota: L'analisi si concentra sul periodo 2000-2015 per due motivi. In primo luogo, la maggior parte dei brevetti 4.0 è stata registrata dopo il 2000 (Figura 1). Secondo, l'aumento più significativo nella registrazione di brevetti 4.0 si è avuto dopo il 2000 (Figura 2).

Fonte: elaborazione degli autori

Figura 5 – Quota di brevetti 4.0 per tipo di ricombinazione, 2000-2015



Fonte: elaborazione degli autori

in aumento in termini relativi, rappresentano soltanto circa un terzo dei brevetti ricombinatori 4.0 orientati a specifici ambiti applicativi. Questi trend confermano la nostra ipotesi riguardo la transizione delle tecnologie 4.0, le quali, da tecnologie “core” (*hardware*, *software* e tecnologie per la connessione) e “enabling”, sono sempre più spesso ricombinazioni di tecnologie esistenti sviluppate in vista di nuovi mercati, dove l’importanza relativa delle nuove applicazioni e ricombinazioni è in aumento.

4.2. Nuovi trend spaziali per le tecnologie 4.0

Analizzando con maggiore attenzione le dinamiche tecnologiche da una prospettiva territoriale è possibile individuare dei pattern interessanti che confermano le ipotesi teoriche formulate nel paragrafo 2.

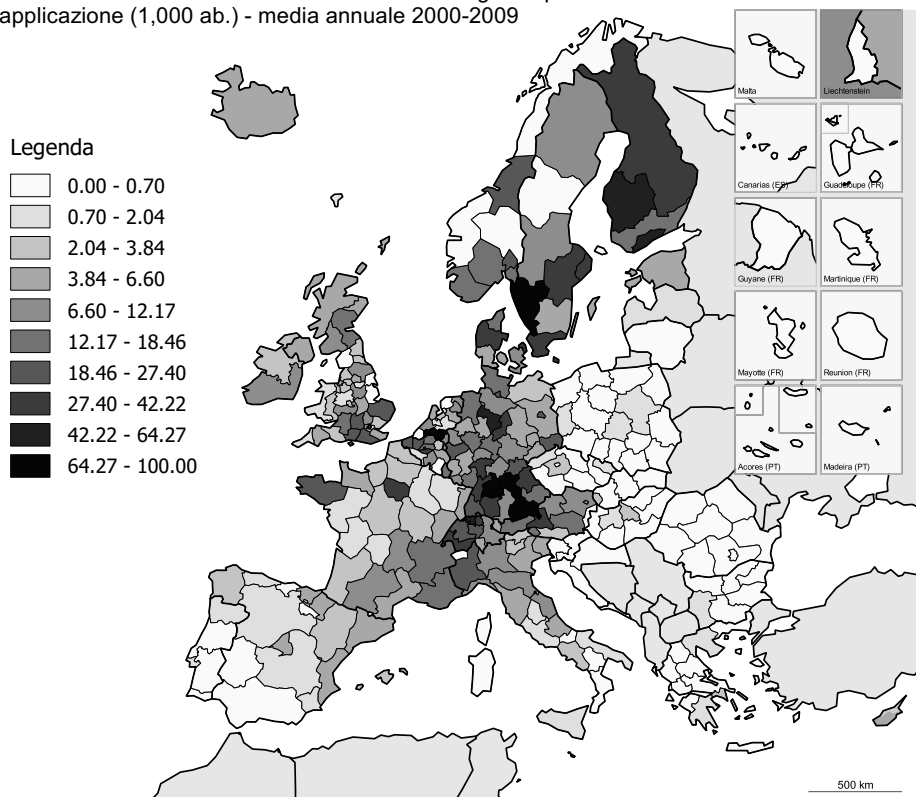
Le Figure 1 e 2 mostrano l’intensità dei brevetti 4.0 ricombinatori (numero di brevetti per 1000 abitanti) nelle diverse regioni europee (NUTS 2) nel periodo 2000-2009 (valore medio annuale)⁸. In particolare, la Figura 6 mostra l’intensità dei brevetti 4.0 ricombinatori che includono uno specifico ambito di applicazione, cioè brevetti che uniscono tecnologie “core” e/o “enabling” con uno specifico ambito di applicazione. La Figura 7, invece, mostra l’intensità dei brevetti 4.0 ricombinatori che uniscono solamente tecnologie “core” e tecnologie “enabling”, ossia quei brevetti 4.0 ricombinatori che non appartengono a nessun ambito di applicazione specifico.

Nell’ambito di un trend generale di concentrazione spaziale, peraltro ampiamente documentato nella letteratura che esamina la geografia dell’attività brevettuale a scala regionale, emergono anche due ulteriori tendenze. La prima è rappresentata dal fatto che le invenzioni che coinvolgono un ambito di applicazione specifico sono più disperse geograficamente, essendo presenti anche in regioni tradizionalmente considerate come meno dotate di una rilevante base di conoscenza o di particolari performance brevettuali. Quasi tutte le regioni nei paesi leader nello sviluppo di tecnologie 4.0 (Germania, Francia, Regno Unito, Olanda, Finlandia, e Svizzera) contribuiscono in maniera sostanziale alla produzione di brevetti 4.0 ricombinatori che coinvolgono specifici ambiti di applicazione (in breve, invenzioni 4.0 ricombinatorie applicate) così come numerose regioni avanzate dei paesi che seguono in classifica (come l’Italia, la

8. È stata applicata una normalizzazione min-max tra 0 e 100 così da rendere comparabili le diverse raffigurazioni. Le categorie nella Mappa 1 sono state individuate applicando il metodo “Jenks natural breaks”; queste categorie sono state poi applicate in tutte le mappe successive, così da renderle comparabili e facilitarne l’interpretazione. Il metodo “Jenks” minimizza la varianza presente in ciascuna classe e massimizza la varianza di ciascuna classe misurata rispetto alla media delle altre classi. In altre parole, il metodo cerca di minimizzare la varianza interna alle classi e massimizzare quella tra le classi.

Figura 6 – Trend spaziali dei brevetti 4.0 ricombinatori che coinvolgono specifici ambiti di applicazione, 2000-2009

Intensità di brevetti 4.0 ricombinatori che coinvolgono specifici ambiti di applicazione (1,000 ab.) - media annuale 2000-2009

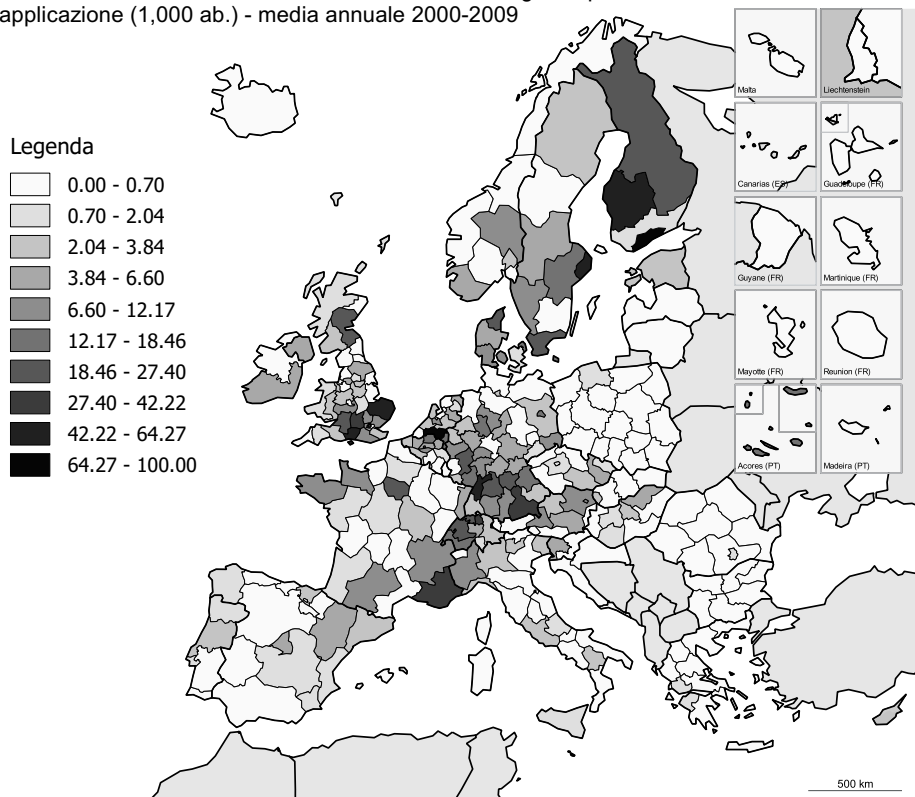


Spagna e il Belgio). Alcune aree interessanti emergono anche in paesi dell'Est come Polonia, Repubblica Ceca, Ungheria e nei paesi baltici (soprattutto in Estonia), solitamente le regioni che ospitano la capitale o città di secondo rango nel contesto nazionale (Figura 6).

La seconda tendenza riguarda l'intensità delle invenzioni 4.0 ricombinatorie "non applicate" (Figura 7), la cui concentrazione risulta notevolmente maggiore non solo nel confronto tra paesi ma anche all'interno degli stessi paesi singolarmente considerati. Infatti, molte regioni non contribuiscono allo sviluppo di questo tipo di invenzioni né nei paesi leader né in quelli meno innovativi, molti paesi non producono affatto questo tipo di brevetti e solo alcune regioni spiccano in questo contesto, tutte localizzate nei paesi più innovativi.

Figura 7 – Trend spaziali dei brevetti 4.0 ricombinatori che non coinvolgono specifici ambiti di applicazione, 2000-2009

Intensità di brevetti 4.0 ricombinatori che non coinvolgono specifici ambiti di applicazione (1,000 ab.) - media annuale 2000-2009



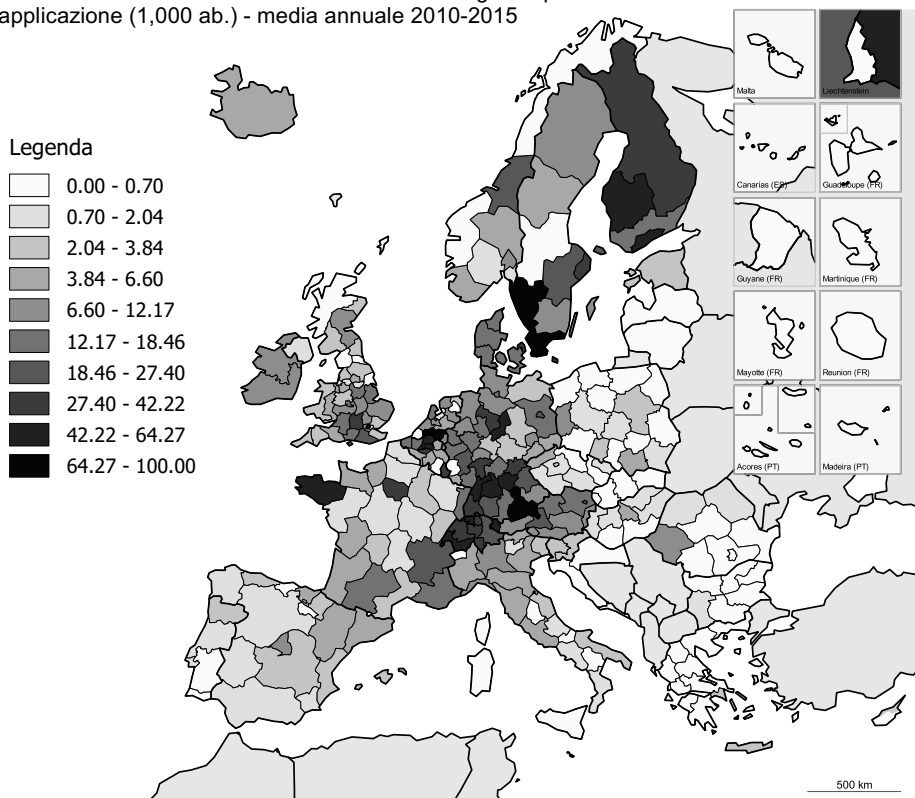
Nel tempo, questi trend spaziali si sono rafforzati. La Figura 8 e la Figura 9 mostrano l'intensità dei brevetti 4.0 ricombinatori nelle diverse regioni europee (a livello NUTS 2) nel periodo 2010-2015 (valore medio annuo), distinguendo tra invenzioni 4.0 ricombinatorie "applicate" (Figura 8) e invenzioni 4.0 ricombinatorie "non applicate" (Figura 9).

In generale, le invenzioni 4.0 ricombinatorie mantengono un elevato grado di concentrazione spaziale. Allo stesso tempo, tuttavia, si possono distinguere tendenze spaziali diversificate:

- *un trend di maggiore concentrazione per le tecnologie "core" e "enabling".*
- Confrontando la Figura 7 e la Figura 9 si può notare come alcune regioni

Figura 8 – Trend spaziali dei brevetti 4.0 ricombinatori che coinvolgono specifici ambiti di applicazione, 2010-2015

Intensità di brevetti 4.0 ricombinatori che coinvolgono specifici ambiti di applicazione (1,000 ab.) - media annuale 2010-2015



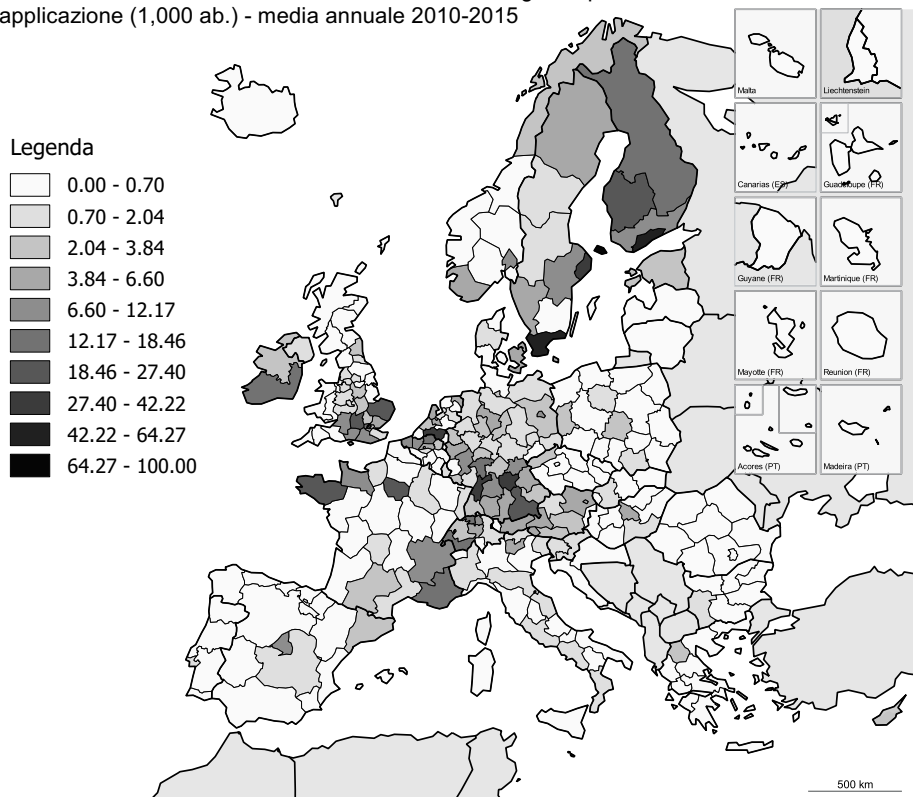
contribuiscono meno alla creazione di invenzioni e l'intensità è decrescente con l'eccezione di alcune regioni avanzate nei paesi più innovativi;

- *una tendenza verso la diffusione spaziale per le tecnologie applicate.* Dal confronto tra la Figura 6 e la Figura 8, si può notare la presenza di un più elevato numero di regioni che sviluppano questo tipo di invenzioni. Inoltre, la maggior parte delle regioni, anche in aree tradizionalmente considerate deboli in termini di conoscenza, tecnologia e attività brevettuale, presenta una maggiore intensità innovativa⁹.

9. Come osservato nella nota 7, i dati sono stati normalizzati in una scala tra 0 e 100 con una procedura min-max così da favorire la comparabilità dei risultati. Nelle Figure 8 e 9 si applicano le stesse classi utilizzate nella Figura 6 e nella Figura 7.

Figura 9 – Trend spaziali dei brevetti 4.0 ricombinatori che non coinvolgono specifici ambiti di applicazione, 2010-2015

Intensità di brevetti 4.0 ricombinatori che non coinvolgono specifici ambiti di applicazione (1,000 ab.) - media annuale 2010-2015



Questi trend spaziali confermano le nostre aspettative: i) la concentrazione geografica delle tecnologie “core” ed “enabling” nelle regioni europee più avanzate (tipicamente high-tech e ad alta intensità di R&S e innovazione); e ii) il diffondersi di nuove opportunità tecnologiche. L’aspetto più interessante, a questo punto dell’analisi, è verificare se queste nuove opportunità tecnologiche possono verificarsi anche in regioni tipicamente non innovative, come presentato nel paragrafo successivo.

4.3. La cumulatività delle tecnologie 4.0 e l'emergere di nuove 'isole di innovazione'

La capacità di cogliere le nuove opportunità tecnologiche, anche nell'ambito delle invenzioni 4.0 ricombinatorie applicate, non è uniformemente distribuita nello spazio. Da questo punto di vista, la presenza localizzata di competenze tecnologiche nei campi tipici della precedente rivoluzione industriale (cioè tecnologie 3.0¹⁰) può rappresentare un importante vantaggio. In altre parole, la cumulatività tecnologica tra tecnologie 3.0 e 4.0 può spiegare se, e dunque *dove*, possano emergere nuove tecnologie 4.0. Infatti, il grado di cumulatività tecnologica tra i due paradigmi potrebbe spiegare se la conoscenza tecnologica nell'ambito del paradigma 3.0 è necessaria per la creazione di tecnologia 4.0 o se, al contrario, tecnologie 4.0 possono essere comunque sviluppate anche in contesti dove le tecnologie 3.0 erano tipicamente deboli se non assenti.

Per verificare questa ipotesi è stata applicata una metodologia che consiste in due passaggi. In primo luogo, le regioni sono state classificate a seconda della loro specializzazione brevettuale e dell'intensità nella creazione di tecnologie 4.0 nel periodo 2010-2015, ottenendo le seguenti classi:

- *regioni leader*, con un'intensità brevettuale 4.0 maggiore dell'intensità mediana calcolata a livello europeo e con una quota di brevetti 4.0 sul totale dei brevetti maggiore della quota di brevetti 4.0 a livello europeo (cioè regioni specializzate in tecnologie 4.0);
- *regioni nicchia*, con un'intensità brevettuale 4.0 minore della mediana europea ma con una quota di brevetti 4.0 maggiore di quella europea (regioni specializzate in tecnologie 4.0);
- *regioni di produzione*, con un'intensità brevettuale 4.0 maggiore della mediana europea ma senza alcuna specializzazione nello sviluppo di tecnologie 4.0;
- *regioni "non 4.0"*, nelle quali tanto l'intensità brevettuale quanto la quota di brevetti 4.0 sono inferiori ai valori europei.

La stessa classificazione è stata applicata nell'ambito delle tecnologie 3.0 nel periodo precedente, 2000-2009 (Figura 10).

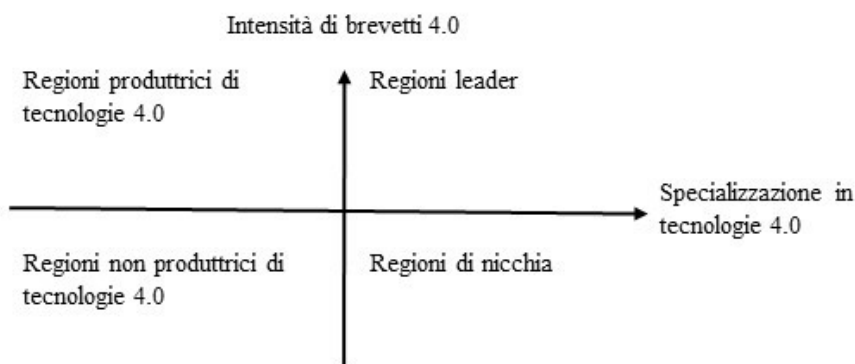
In un secondo passaggio, le due classificazioni sono state confrontate. Qualora la cumulatività tecnologica tra il paradigma 3.0 e il paradigma 4.0 fosse particolarmente elevata, allora le regioni più innovative in termini di tecnologie 4.0, ossia le regioni leader o nicchia, dovrebbero coincidere con le regioni leader o nicchia 3.0.

Il confronto tra le due classificazioni evidenzia alcuni risultati interessanti in quanto le regioni presentano diverse combinazioni di profili tecnologici e una

10. Le tecnologie 3.0 sono definite come tecnologie high-tech seguendo la definizione fornita da Eurostat e comprendono "Computer and automated business equipment" (<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:High-tech>, 06/05/2019).

Figura 10 – Classificazione delle regioni in base all'intensità e specializzazione in tecnologie 3.0 e 4.0

(a) Tipologia di regioni 4.0, 2010-2015



(b) Tipologia di regioni 3.0, 2000-2009



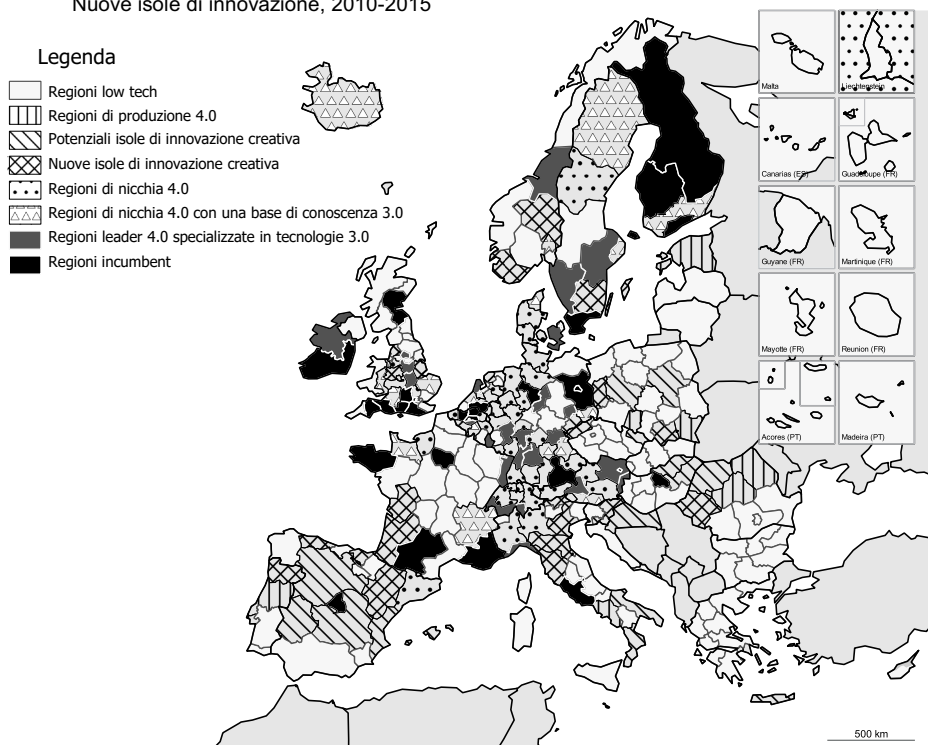
Fonte: elaborazione degli autori

diversa performance in termini di creazione di brevetti 3.0 e 4.0 e, di conseguenza, diversi livelli di cumulatività. La Figura 11 descrive le regioni secondo le diverse combinazioni delle classificazioni introdotte precedentemente (si veda anche la Tabella D.1 in Appendice). In particolare, da questo confronto possiamo distinguere (Figura 11):

- *regioni "incumbent"* (32 casi), nelle quali la posizione di leadership nelle tecnologie 4.0 deriva da una già esistente posizione di leadership nelle tecnologie 3.0. Queste regioni sono rappresentate in nero nella Figura 11;

Figura 11 – Nuove ‘isole di innovazione’ in tecnologie 4.0, 2010-2015

Nuove isole di innovazione, 2010-2015



- *regioni leader 4.0 specializzate nelle tecnologie 3.0* (25 casi), nelle quali la posizione di leadership nel 4.0 è stata raggiunta grazie ad un vantaggio tecnologico e una specializzazione preesistenti nelle tecnologie 3.0. Queste regioni sono rappresentate in grigio nella Figura 11;
- *regioni di nicchia 4.0 con una base di conoscenza 3.0* (22 casi), nelle quali la natura di nicchia 4.0 può rappresentare uno stadio iniziale di penetrazione del mercato delle tecnologie 4.0 o, al contrario, il segnale di un inizio di perdita di competitività tecnologica. Queste regioni sono contrassegnate con triangoli nella Figura 11;
- *regioni di nicchia 4.0* (41 casi), nelle quali le preesistenti competenze nelle tecnologie 3.0 sono riorientate verso nuove nicchie 4.0. Queste regioni sono punteggiate nella Figura 11;

- *nuove 'isole di innovazione creativa'* (23 casi), nelle quali lo stato di nicchia o leadership 4.0 è stato raggiunto nonostante la debolezza, se non addirittura l'assenza, di una forte base di conoscenza 3.0. Queste regioni sono o leader (10 casi) o nicchie (13 casi) nello sviluppo di tecnologie 4.0 ma non erano regioni 3.0 nel periodo precedente;
- *potenziali isole di innovazione creativa* (15 casi), nelle quali un'intensità brevettuale 4.0 elevata, in assenza di una base di conoscenza 3.0 comparabile, può rappresentare il volano per un rilancio della competitività tecnologica locale;
- *regioni di produzione 4.0* (9 casi), nelle quali le competenze tecnologiche presenti in loco sono riorientate verso lo sviluppo di tecnologie 4.0;
- *regioni low tech* (122 casi), nelle quali le tecnologie 4.0 sono scarsamente sviluppate. Per la maggior parte di queste regioni (80 casi su 122) questo ritardo deriva da una corrispondente debolezza nell'ambito del paradigma 3.0, che persiste e si rafforza nel paradigma 4.0. Le regioni rimanenti (42), invece, sono aree che stanno perdendo competitività tecnologica: la loro natura di leadership 3.0 (8 casi), nicchia 3.0 (18 casi) o di regioni di produzione 3.0 (16 casi) non è ancora stata sfruttata e il rischio di non cogliere le opportunità del nuovo paradigma tecnologico 4.0 è elevato.

Dalla Figura 11 è interessante notare che (si veda anche la Tabella D.1):

- *il grado di cumulatività è generalmente elevato.* Infatti, la maggior parte delle regioni caratterizzate da elevate performance in termini di sviluppo di tecnologie 4.0 sfrutta un preesistente vantaggio nella produzione di tecnologie 3.0 o un'attitudine e un'apertura verso nuovi ambiti tecnologici (146 regioni su 292 sono combinazioni di classi "leader" o "nicchia" nei due gruppi di tecnologie). Queste regioni sono localizzate principalmente nei paesi maggiormente innovativi (Germania, Paesi Scandinavi, Francia, Regno Unito, Svizzera, Olanda) e nelle aree tecnologicamente più avanzate dei paesi meno innovativi (Italia, Spagna, Belgio);
- ancora più interessante è il caso di quelle regioni che sono state capaci di *cavalcare il nuovo paradigma tecnologico anche in assenza di una forte base di conoscenza tecnologica 3.0.* Queste regioni, le nuove *'isole di innovazione creativa'*, sono localizzate nelle aree meno innovative dei paesi tecnologicamente più avanzati (come in Francia, Regno Unito, Svezia, Olanda e, in un caso, in Germania), sia in paesi meno innovativi (l'area della Terza Italia, il Nord del Portogallo, i Paesi Baschi, l'Aragona e l'Asturia in Spagna), sia, e il fatto è ancor più rilevante, in paesi dell'Est Europa e non soltanto nelle regioni delle capitali (Polonia, Repubblica Ceca, Slovenia, Romania). Risulta quindi confermata l'ipotesi che nuove isole di innovazione creativa possano emergere anche in aree "tecnologicamente vergini";

- è importante notare l'esistenza di alcune regioni che potrebbero *potenzialmente* diventare *nuove isole di innovazione creativa* nel futuro se le opportunità tecnologiche 4.0 saranno valorizzate al massimo. Queste regioni si trovano nelle aree mediamente o poco innovative dei paesi meno innovativi (Spagna centrale e Italia del Sud) ma anche in aree deboli dell'Europa dell'Est (Repubblica Ceca, Romania, Ungheria);
- infine, più del 40% delle regioni è escluso da ogni tentativo di sviluppare tecnologie 4.0; questa situazione origina tanto da una difficoltà nel recuperare il ritardo accumulato nello sviluppo tecnologico (80 casi) quanto da un mancato aggancio delle opportunità del paradigma 4.0 e da una perdita della competitività raggiunta nell'ambito del paradigma 3.0 (26 regioni, infatti, hanno perso il loro status di leader o nicchie 3.0 e, al momento, non sviluppano, o lo fanno debolmente, tecnologie 4.0). Se il primo fenomeno ha luogo prevalentemente in regioni che non hanno mai mostrato finora notevoli livelli di innovazione (soprattutto regioni dell'Est Europa), il secondo avviene principalmente nelle regioni più deboli dei paesi tecnologicamente più avanzati.

5. Conclusioni

È unanimemente riconosciuto che l'impatto della Quarta Rivoluzione Industriale sull'economia e sulla società potrà essere radicale e dirompente, influenzando profondamente i processi innovativi, produttivi e operativi delle imprese, le dinamiche della concorrenza, le fonti di profitto. Allo stesso tempo, questo fenomeno potrà avere grandi impatti anche sul mercato del lavoro e, più in generale, sulla società, sulle vite delle persone, sulle loro abitudini ed esperienze.

In questo contributo è stata studiata la trasformazione che si sta verificando nei mercati delle tecnologie 4.0 (dovuti a peculiarità di queste stesse tecnologie) come principale meccanismo che produce una serie di effetti sulla tipologia di attori che sviluppano queste tecnologie e, attraverso le loro scelte localizzative, sulle aree dove queste tecnologie possono potenzialmente essere effettivamente prodotte. In particolare, la natura di queste tecnologie determina nuove condizioni per l'innovazione, nuove regole competitive e nuove fonti di profitto. Questi cambiamenti possono erodere eventuali posizioni di oligopolio delle imprese già presenti sul mercato e creare spazio per nuove entrate (Rullani, Rullani, 2018). L'attuale ristrutturazione industriale può dunque avere rilevanti conseguenze spaziali, poiché permette ad aree tradizionalmente meno dinamiche di partecipare alla creazione di nuove tecnologie.

In questo articolo si è testata questa assunzione tramite un'analisi empirica basata su una ricca base dati di brevetti relativi alle tecnologie 4.0, coprendo tutte le regioni europee (livello NUTS2) nell'arco del periodo 2000-2015. Lo

studio ha documentato i due tratti principali della presente trasformazione tecnologica, e cioè il suo svilupparsi con un ritmo esponenziale e l'essere altamente ricombinatoria. Inoltre, ha evidenziato come il cambiamento nella natura delle tecnologie 4.0 dominanti genera dinamiche tecnologiche e spaziali rilevanti e interconnesse. In particolare, le dinamiche spaziali variano a seconda delle specifiche tecnologie 4.0 considerate, con due trend: l'aumento della concentrazione spaziale dello sviluppo di tecnologie più consolidate (tecnologie "core" e "enabling") nelle regioni già avanzate in termini di sviluppo tecnologico, brevetti e conoscenza; l'emergere di nuove opportunità per regioni meno avanzate tecnologicamente e lo svilupparsi di nuove 'isole di innovazione creativa' in aree altrimenti considerate come non innovative.

Nuove opportunità di crescita e competitività possono dunque essere colte dalle regioni, anche da quelle che non hanno giocato un ruolo rilevante nel precedente paradigma tecnologico. Questo messaggio è di importanza strategica, sia da un punto di vista scientifico sia di *policy*: comprendere le condizioni che permettono di sfruttare tali opportunità per produrre vantaggi economici in termini di ricchezza, produttività e occupazione. Rimane questa una linea di ricerca che noi stessi vogliamo affrontare nei prossimi anni.

Bibliografia

- Autor D. (2019), *Work of the past, work of the future*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. *NBER Working Papers* n. 25588. Doi: [10.3386/w25588](https://doi.org/10.3386/w25588).
- Brynjolfsson E., McAfee A. (2011), *Race Against the Machines: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*. Lexington, MA: Digital Frontier Press.
- Brynjolfsson E., McAfee A. (2014), *The Second Machine Age: Work, Progress and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. London: Norton & Company.
- EPO – European Patent Office (2017), *Patents and the Fourth Industrial Revolution, the inventions behind the digital transformation*. Munich: European Patent Office – www.epo.org.
- Freeman C., Perez C. (1988), Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour. In: Dosi G., Freeman C., Nelson R., Silverberg G., Soete L. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*. London: Francis Pinter. 38-66.
- OECD (2019), *Vectors of digital transformation*. Paris: *OECD Digital Economy Papers* n. 273. Doi: [10.1787/20716826](https://doi.org/10.1787/20716826).
- Okoli C., Pawlowski S.D. (2004), The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information and Management*, 42, 1: 15-29. Doi: [10.1016/j.im.2003.11.002](https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002).
- Perez C. (2010), Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34, 1: 185-202. Doi: [10.1093/cje/bep051](https://doi.org/10.1093/cje/bep051).
- Rodríguez-Salvador M., Río-Belver R.M., Garechana-Anacabe G. (2017), Scientometric and patentometric analyses to determine the knowledge landscape in innovative

- technologies: The case of 3D bioprinting. *PLoS ONE*, 12, 6: 0180375. Doi: [10.1371/journal.pone.0180375](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180375).
- Rullani F., Rullani E. (2018), *Dentro la Rivoluzione Digitale*. Torino: Giappichelli Editore.
- Sole 24 Ore (2019), Il futuro sta nel 5GB. *Sole 24 Ore*, 25 settembre.
- Schwab K. (2017), *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Business.
- Trappey A.J.C., Trappey C.V., Govindarajan U.H., Chuang A.C., Sun J.J. (2017), A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. *Advanced Engineering Informatics*, 33: 208-229. Doi: [10.1016/j.aei.2016.11.007](https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.11.007).

Appendice A

La seguente tabella riporta l'intera classificazione dei gruppi tecnologici 4.0 proposta nello studio EPO (2017).

<i>Campi tecnologici</i>	<i>Esempi</i>
<i>Tecnologie core (di base)</i>	
<i>Hardware</i>	Sensori, memorie avanzate, processori, adaptive displays
<i>Software</i>	Spazi di stoccaggio artificiali (nuvole) e computing structures, adaptive databases, sistemi operativi mobili, virtualization
Connettività	Protocolli di rete per sistemi di connessione di massa, sistemi di dati wireless
<i>Tecnologie enabling</i>	
Sistemi di analisi dati	Sistemi di diagnostica di dati di massa
Interfaccia utenti	Interfaccia utenti, realtà virtuali, display di informazione in eyewear
Sistemi di supporto tridimensionali	Additive manufacturing, stampanti e scanner 3D per parti di manifattura, simulazioni e disegno automatici in 3D
Intelligenza artificiale	Intelligenza artificiale, machine learning, reti neurali
Determinazione della posizione	GPS avanzati, tecniche di rilevamento di posizioni relative e assolute
Generazione di potenza	Trasmissione di potenza condivisa
Sicurezza	Sistemi di sicurezza intelligenti
<i>Domini di applicazione</i>	
Individui	Oggetti per il monitoraggio personale della salute, oggetti per il divertimento
Case	Case intelligenti, sistemi di allarme, sistemi di riscaldamento a di refrigeramento intelligenti, robot
Veicoli	Guida automatica
Imprese	Sistemi intelligenti per gli uffici, l'agricoltura, il commercio
Industria	Fabbriche intelligenti, robotica intelligente, sistemi intelligenti di risparmio di energia
Infrastrutture	Reti di distribuzione di energia intelligenti, reti di trasporto intelligenti, sistemi di illuminazione intelligenti

Fonte: Adattato da EPO (2017)

Appendice B

Questionario somministrato nel primo stadio dello studio Delphi. L'Ufficio Europeo dei Brevetti (EPO, 2017) ha identificato 16 sotto-gruppi tecnologici per classificare le invenzioni che appartengono al paradigma tecnologico 4.0 e li ha aggregati in tre gruppi principali, non mutualmente escludenti: due di natura tecnologica (tecnologie “*core*” e tecnologie “*enabling*”) e uno che descrive l'ambito di applicazione dell'invenzione.

Per ciascuno dei 16 sotto-gruppi tecnologici riportati in seguito, si elenchino le tecnologie più rilevanti che caratterizzano il paradigma tecnologico 4.0.

Nota: l'ordine con cui si riportano le tecnologie non è rilevante e non c'è un limite massimo di tecnologie che possono essere indicate. Le risposte possono essere date in italiano o in inglese. Se non crede di essere esperto in un determinato campo, per favore indichi la dicitura “non è il mio campo di competenza”.

<i>Domini tecnologici</i>	<i>Esempi</i>	<i>Tecnologie chiave</i>
<i>Tecnologie “core”</i>		
Tecnologie <i>hardware</i> di base	Sensori, memorie avanzate, processori, adaptive displays	
Tecnologie <i>software</i> di base	Spazi di stoccaggio artificiali (nuvole) e computing structures, adaptive databases, sistemi operativi mobili, virtualization	
Tecnologie di connessione di base	Protocolli di rete per sistemi di connessione di massa, sistemi di dati wireless	
<i>Tecnologie “enabling” che permettono</i>		
L’interpretazione dell’informazione	Sistemi di diagnostica di dati di massa	
Il display e l’input di informazione	Interfaccia utenti, realtà virtuali, display di informazione in eyewear	
La realizzazione dei sistemi di informazione in 3D fisici o simulati	Additive manufacturing, stampanti e scanner 3D per parti di manifattura, simulazioni e disegno automatici in 3D	
La capacità di comprensione delle macchine	Intelligenza artificiale, machine learning, reti neurali	
L’identificazione della posizione degli oggetti	GPS avanzati, tecniche di rilevamento di posizioni relative e assolute	
La generazione di potenza	Trasmissione di potenza condivisa	
Sicurezza dei dati e degli oggetti fisici	Sistemi di sicurezza intelligenti	
<i>Ambiti di applicazione</i>		
Individui	Oggetti per il monitoraggio personale della salute, oggetti per il divertimento	
Case	Case intelligenti, sistemi di allarme, sistemi di riscaldamento e di refrigeramento intelligenti, robot	
Veicoli	Guida automatica	
Imprese	Sistemi intelligenti per gli uffici, l’agricoltura, il commercio	
Industria	Fabbriche intelligenti, robotica intelligente, sistemi intelligenti di risparmio di energia	
Infrastrutture	Reti di distribuzione di energia intelligenti, reti di trasporto intelligenti, sistemi di illuminazione intelligenti	

Questionario somministrato nel primo stadio dello studio Delphi. Per ciascuno dei 16 gruppi tecnologici riportati in seguito, si valuti su una scala da 0 (meno rilevante) a 5 (più rilevante) la rilevanza di ciascuna tecnologia.

<i>Domini tecnologici</i>	<i>Tecnologie chiave da valutare</i>	<i>Scala Likert 0-5</i>
<i>Tecnologie "core"</i>		
Tecnologie <i>hardware</i> di base	Sensori, memorie avanzate, processori, adaptive displays	
Tecnologie <i>software</i> di base	Spazi di stoccaggio artificiali (nuvole) e computing structures, adaptive databases, sistemi operativi mobili, virtualization	
Tecnologie di connessione di base	Protocolli di rete per sistemi di connessione di massa, sistemi di dati wireless	
<i>Tecnologie "enabling" che permettono</i>		
L'interpretazione dell'informazione	Sistemi di diagnostica di dati di massa	
Il display e l'input di informazione	Interfaccia utenti, realtà virtuali, display di informazione in eyewear	
La realizzazione dei sistemi di informazione in 3D fisici o simulati	Additive manufacturing, stampanti e scanner 3D per parti di manifattura, simulazioni e disegno automatici in 3D	
La capacità di comprensione delle macchine	Intelligenza artificiale, machine learning, reti neurali	
L'identificazione della posizione degli oggetti	GPS avanzati, tecniche di rilevamento di posizioni relative e assolute	
La generazione di potenza	Trasmissione di potenza condivisa	
Sicurezza dei dati e degli oggetti fisici	Sistemi di sicurezza intelligenti	
<i>Ambiti di applicazione</i>		
Individui	Oggetti per il monitoraggio personale della salute, oggetti per il divertimento	
Case	Case intelligenti, sistemi di allarme, sistemi di riscaldamento e di refrigeramento intelligenti, robot	
Veicoli	Guida automatica	
Imprese	Sistemi intelligenti per gli uffici, l'agricoltura, il commercio	
Industria	Fabbriche intelligenti, robotica intelligente, sistemi intelligenti di risparmio di energia	
Infrastrutture	Reti di distribuzione di energia intelligenti, reti di trasporto intelligenti, sistemi di illuminazione intelligenti	

Appendice C

Esempi del processo di selezione ed espansione delle parole chiave tecnologiche.

Esempio 1: Una parola chiave con una valutazione alta ma non inclusa nella lista finale in quanto associata ad un concetto troppo generico.

<i>Parola chiave</i>	<i>Punteggio</i>
Wireless	4

Nell'ambito della connettività, il concetto è molto rilevante e per questo motivo ha ricevuto una valutazione elevata (4/5). Tuttavia, la parola chiave non è utilizzabile nell'analisi testuale come tale in quanto è troppo generica e potrebbe portare alla selezione di tecnologie non necessariamente appartenenti al paradigma 4.0, a meno di qualificazioni che ne orientino il contenuto all'ambito 4.0 (e.g. smart, adaptive, intelligent).

Esempio 2: Una parola chiave con una valutazione bassa (<4) ma inclusa nella lista finale perché rilevante.

<i>Parola chiave</i>	<i>Punteggio</i>
Predictive maintenance	3

La parola chiave ha ricevuto una valutazione pari a 3 ma, considerata la sua rilevanza, è comunque stata inclusa nella lista finale di parole chiave utilizzate nell'analisi testuale.

Esempio 3: Espansione di una parola chiave: sinonimi

<i>Parola chiave originale</i>	<i>Parole chiave derivate</i>
Autonomous car	Autonomous car Self-driving car Autonomous vehicle Self-driving vehicle

Esempio 4: Espansione di una parola chiave: sinonimi

<i>Parola chiave originale</i>	<i>Parole chiave derivate</i>
3d printing	3 d print* 3d print* 3-d print* three d print* three dimensional print* three-d print*

In questo caso, lo stesso concetto è stato associato a diverse parole chiave così da tenere conto di tutte le possibili espressioni. Talvolta, le parole chiave sono state “troncate” in modo da individuare anche i plurali e le parole con la stessa radice (per esempio: print* → printing, printer,...).

Appendice D

Tabella D1 – Cumulatività nell’evoluzione tecnologica 4.0

		<i>Specializzazione e intensità brevettuale 3.0, 2000-2009</i>				
<i>Regioni</i>		<i>non 3.0</i>	<i>di produzione 3.0</i>	<i>di nicchia 3.0</i>	<i>leader 3.0</i>	<i>Totale</i>
<i>Specializzazione e intensità brevettuale 4.0, 2010-2015</i>	<i>non 4.0</i>	80	16	18	8	122
	<i>di produzione 4.0</i>	15	9	-	-	24
	<i>di nicchia 4.0</i>	13	-	41	22	76
	<i>leader 4.0</i>	10	3	25	32	70
	<i>Totale</i>	118	28	84	62	292

Fonte: elaborazione degli autori

Spatial Trends in 4.0 Technologies across European regions: New Islands of Creative Innovation

Abstract

The 4.0 Industrial Revolution has become a reality; yet, the conditions required in order to become a net beneficiary of this deep technological transformation are not clear. This paper argues that the profound changes and restructuring in 4.0 technologies market bring important spatial consequences, since they provide opportunities to participate in the creation of new technologies to regions otherwise considered as not innovative. The paper demonstrates this statement based on a large scale patent analysis covering the creation of all 4.0 technologies across all European NUTS2 regions in the period 2000-2015.