



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.a. 2022/2023

Sessione di Laurea Dicembre 2023

**Esternalità di conoscenza ed innovazione
green: un'analisi empirica delle citazioni
brevettuali nel settore dei trasporti**

Relatore:

Prof. Luigi Buzzacchi

Correlatore:

Dott. Antonio De Marco

Candidata:

Anna Valente

Sommario

INTRODUZIONE	4
1. L'INNOVAZIONE COME MISURA DELLA CRESCITA ECONOMICA.....	6
1.1 L'evoluzione del concetto dell'innovazione	6
1.2 Innovazione e performance economica.....	8
1.3 Le innovazioni ambientali.....	10
1.4 I driver dell'eco-innovazione	12
1.5 Innovazioni ambientali, ricadute di conoscenza e performance economica	14
1.6 L'eco-innovazione nel settore dei trasporti.....	16
2. DOMANDA DI RICERCA	20
2.1 Spillover di conoscenza	21
2.2 I brevetti come misura per l'innovazione.....	24
3 DATI E METODOLOGIA	28
3.1 Origine dei dati.....	28
3.1.1 Classificazione dei brevetti green.....	28
3.2 Struttura del dataset.....	31
3.2.1 Periodo di tempo	32
3.2.2 Originalità	34
3.2.3 Generalità	34
3.3 Variabili del modello	34
3.4 Metodologia.....	37
4 RISULTATI	39
4.1 Risultati descrittivi.....	39
4.2 Risultati delle analisi econometriche	41
4.2.1 Direzione della conoscenza nel settore dei trasporti	45
4.3 Limitazioni.....	47
CONCLUSIONI	48
APPENDICE	50
BIBLIOGRAFIA	58
SITOGRAFIA	66
RINGRAZIAMENTI	67

INDICE TABELLE

Tabella 1. Confronto fra Germania, Francia e Italia. Fonte: Isfol (2015)	8
Tabella 2. Alternative ai brevetti	27
Tabella 3. Classificazione Y02-Y04S. Fonte: EPO (2016).....	31
Tabella 4. Variabili dipendenti	35
Tabella 5. Variabile indipendente.....	35
Tabella 6. Variabili di controllo	36
Tabella 7. Matrice di correlazione tra le variabili indipendenti	37
Tabella 8. Numero di brevetti green e non green	39
Tabella 9. Numero medio delle citazioni ricevute.....	41
Tabella 10. Regressione OLS per le citazioni entro 5 anni	42
Tabella 11. Regressione Binomiale Negativa	44
Tabella 12. indice di generalità.....	45
Tabella 13. Spillover intra-tecnologici ed esterni nel settore dei trasporti.....	46

INDICE FIGURE

Figura 1. Determinanti dell'eco-innovazione. Fonte: Horbach (2012).....	12
Figura 2. Curva ambientale di Kuznets. Fonte: Mitić et al. (2019).....	15
Figura 3. Emissioni prodotte dai trasporti nell'UE. Fonte: European Environment Agency (2022)	17
Figura 4. Domande di brevetti Europei nel settore dei trasporti. Fonte: EPO Patent Index (2021)	18
Figura 5. Domande di brevetti Europei per tre tecnologie di veicoli. Fonte: EPO (2022)..	18
Figura 6. Settori tecnologici esterni che ricevono gli spillover più elevati (>10%) dalle tecnologie REN. Fonte: Noailly et al. (2017).....	21
Figura 7. Andamento delle domande di brevetti europei negli ultimi 5 anni. Fonte: EPO (2023)	26
Figura 8. Espansione di conoscenza da un campo tecnologico dei trasporti. Fonte: Noailly et al. (2017).....	38
Figura 9. Distribuzione dei brevetti per singolo anno	40
Figura 10. Distribuzione dei brevetti lungo i settori.....	40

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, la riduzione dell'impatto ambientale e la promozione di un uso più efficiente delle risorse naturali è diventato un argomento chiave. Infatti, l'innovazione si sta orientando sempre di più verso la ricerca di soluzioni che rispettino l'ambiente (Aldieri et al. 2023). Le innovazioni sono riconosciute come un fattore determinante nell'incremento delle performance economiche. Numerosi studi dimostrano inoltre che, quando esse sono focalizzate sulle tecnologie ambientali, possono favorire la crescita economica (Aldieri et al. 2023).

L'innovazione può essere considerata come un processo cumulativo per cui ogni tecnologia si basa sulle conoscenze precedenti e costituisce una base per i progressi futuri (Trajtenberg et al. 1997). Questa caratteristica combinatoria genera delle esternalità positive, chiamate *spillover di conoscenza*, in quanto la conoscenza iniziale, proveniente da una tecnologia, si diffonde tra individui, aziende, regioni e paesi (Mohnen 2019).

Questo lavoro di tesi mira a valutare l'entità degli spillover di conoscenza generati dalle tecnologie green e non green con uno sguardo al settore dei trasporti. L'idea di base è che le imprese dovrebbero concentrare gli investimenti in ricerca e sviluppo verso le tecnologie green se queste generano maggiori spillover di conoscenza rispetto a quelle inquinanti.

Di conseguenza si è effettuata un'analisi empirica basata sulle citazioni di oltre 3 milioni di brevetti depositati in Europa dal 1978 al 2021. I risultati evidenziano che i brevetti green hanno un impatto positivo più significativo rispetto alle loro controparti non green, poiché risultano essere citati in misura maggiore. Inoltre, le tecnologie green hanno un impatto più ampio sulle innovazioni future in quanto risultano essere più generali. Per quanto riguarda il settore dei trasporti emerge che i brevetti green sono più versatili rispetto alla loro controparte non green. Questo indica, quindi, che le tecnologie nel settore dei trasporti svolgono un ruolo importante nello sviluppo del progresso futuro.

L'elaborato inizia con una rassegna della letteratura che mira ad approfondire l'evoluzione nel corso del tempo del concetto di innovazione ed eco-innovazione, nonché il loro impatto sulle performance economiche, e l'innovazione nel settore dei trasporti. Inoltre, descrive la letteratura riguardante gli effetti generati dagli spillover di conoscenza sullo sviluppo tecnologico, approfondendo l'uso delle citazioni dei brevetti per studiarne la diffusione. Successivamente illustra i dati brevettuali utilizzati nelle analisi e la metodologia impiegata.

E si conclude riportando i risultati delle analisi svolte e discutendone le relative implicazioni.

1. L'INNOVAZIONE COME MISURA DELLA CRESCITA ECONOMICA

1.1 L'evoluzione del concetto dell'innovazione

L'importanza dell'innovazione tecnologica per stimolare la produttività e la crescita economica è ampiamente concordata da economisti e politici. Tuttavia, il concetto di innovazione non è sempre stato quello attuale. Infatti, solo nell'ultimo secolo ha assunto un ruolo fondamentale nello sviluppo economico come variabile endogena e non esogena. Tra i precursori dell'origine concettuale di "innovazione" si possono citare autori come Adam Smith e Marx.

Secondo Smith l'innovazione tecnologica è correlata alla domanda e al mercato il cui equilibrio è garantito da una "mano" invisibile delle forze di mercato. L'aumento della domanda stimola la divisione del lavoro e porta alla creazione di nuove tecnologie e nuovi beni. Smith sostiene che l'innovazione tecnologica, anche conosciuta come invenzione e introduzione delle macchine, è guidata dal capitalista industriale, che organizza la produzione nelle fabbriche tramite la suddivisione del lavoro e promuove il progresso tecnico (Cozzi T. 1972, Ventriglia F. 2005). La divisione del lavoro non viene più considerata semplicemente come un aspetto organizzativo della produzione, ma piuttosto come un elemento fondamentale per il processo di crescita. Infatti, consente di ottenere una produzione più efficiente attraverso l'acquisizione di un livello più elevato di specializzazione e progresso tecnico. Inoltre, nella "Ricchezza delle Nazioni" (1776), Smith considera l'innovazione come una relazione tra cambiamento tecnologico, divisione del lavoro e mutamento strutturale dell'economia. In particolare, egli si concentra non tanto sulla generazione di innovazioni, quanto sulla incorporazione del progresso tecnologico nei beni capitali sottolineando come la divisione del lavoro è limitata dall'ampiezza del mercato e promuove l'efficienza del lavoro attraverso la specializzazione e l'apprendimento per esperienza (Malerba F. 2000).

Al contrario di Smith che vede l'innovazione come una variabile esogena, Karl Marx si sofferma sull'importanza delle trasformazioni sociali causate dalle "rivoluzioni tecnologiche". Secondo Marx le macchine incorporano e codificano sempre più le varie fasi della produzione con la conseguente nascita di un nuovo settore specializzato in macchine, con un ciclo di vita nel quale esse passano da inefficienti a standardizzate. Pertanto,

l'innovazione è considerata un aspetto fondamentale della standardizzazione del processo produttivo ed è il risultato dell'adattamento del macchinario rispetto al processo produttivo. Tuttavia, Marx avanza un'ulteriore prospettiva sostenendo che l'innovazione non è solamente un processo individuale ma anche sociale. Pertanto, durante la sua analisi, è essenziale considerare anche le relazioni e i conflitti che sorgono tra vari gruppi e classi economiche. Inoltre, egli sottolinea l'importanza dell'introduzione di incentivi nel cambiamento tecnologico, in quanto ritiene che la dimensione del mercato e la competizione nel mercato capitalista svolgano un ruolo importante nello stimolare l'innovazione.

Successivamente, Usher nel suo *A History of Mechanical Inventions* (1929) introduce per la prima volta il concetto di innovazione come processo. Secondo tale approccio le innovazioni derivano da un processo di "sintesi cumulativa", secondo il quale dalla percezione di un problema scaturisce l'introduzione iniziale di un'innovazione, la successiva modifica e miglioramento. Inoltre, il suo contributo ha avuto un impatto rilevante sulle teorie di Schumpeter.

Joseph Schumpeter è uno degli economisti più famosi del XX secolo ed è considerato il pioniere dell'economia dell'innovazione. L'economista austriaco espone il concetto di innovazione come un processo di "distruzione creatrice", in cui le nuove tecnologie e le nuove forme di organizzazione aziendale vengono sostituite dalle vecchie. In accordo a tale visione, l'imprenditore rappresenta una figura chiave in grado di creare nuovi mercati e opportunità economiche, portando a una rivoluzione della struttura economica. Secondo la teoria schumpeteriana l'innovazione costituisce il fulcro centrale per assicurare la competitività e il progresso economico.

Schumpeter, inoltre, distingue tra il concetto di "innovazione" e "invenzione". Definisce l'*invenzione* come il procedimento mediante il quale si acquisiscono conoscenze scientifiche e tecnologiche in grado di generare qualcosa che non esisteva precedentemente. L'*innovazione*, invece, è il processo di trasformare un'idea o un concetto in un prodotto o servizio reale attraverso la sua introduzione nel mercato sul mercato e la sua diffusione attraverso l'impresa. Quindi, l'innovazione si manifesta quando si sviluppa un nuovo prodotto o si apportano miglioramenti a uno già esistente.

Nonostante tale distinzione la maggior parte dei ricercatori attuali utilizzano i termini "innovazione" e "invenzione" in modo intercambiabile. In quanto se si considera

l'invenzione come un punto di partenza per l'innovazione, si può dedurre che quest'ultima coinvolge sia la generazione di idee sia la loro conversione in applicazioni commercialmente utili. Allo stesso modo, nei capitoli seguenti si farà riferimento al significato più ampio del termine "innovazione" per descrivere i flussi di conoscenza.

1.2 Innovazione e performance economica

È comunemente accettato che le innovazioni favoriscano il miglioramento delle prestazioni economiche. A seconda del focus degli studi sugli input o sugli output del processo di innovazione (Wydra 2020) le innovazioni sono misurate tramite gli investimenti in R&S e le statistiche sui brevetti.

A conferma di quanto affermato, uno studio condotto dall'Isfol (2015), ha analizzato il livello di investimento in ricerca e sviluppo in Francia, Germania e Italia in relazione al PIL dimostrando che la quota di investimento è direttamente proporzionale alla performance. I dati indicano che Germania e Francia, che investono di più in ricerca e sviluppo, hanno una performance nettamente superiore rispetto all'Italia (Tabella 1). In aggiunta, questo studio esamina la composizione degli investimenti in quanto è noto che gli investimenti privati in ricerca e sviluppo rispetto a quelli pubblici sembrano avere un impatto positivo più chiaro sui risultati dell'innovazione e sulla conseguente performance economica (Park 1995; Makkonen e van der Have 2013; Mohnen 2019). Si osserva, quindi, che la distribuzione dell'investimento è diversa tra i tre paesi: con il settore privato che investe circa il 65% del totale in Francia e Germania, rispetto al 55% dell'Italia. Questa situazione indica che l'Italia investe meno rispetto al PIL e che il settore privato gioca un ruolo minore rispetto al settore pubblico.

	Anno	Italia	Francia	Germania
Popolazione	2013	59,7 milioni	65,6 milioni	80,5 milioni
PIL pro capite	2012	€ 25 200	€ 27 500	€ 31 300
Intensità di R&S (Spesa lorda in R&S/PIL, %)	2012	1,27	2,26	2,92
Quota di R&S relativa al settore privato (%)	2012	55	64	67
Quota di R&S relativa al settore pubblico (%)	2012	42	35	33

Tabella 1. Confronto fra Germania, Francia e Italia. Fonte: Isfol (2015)

Inoltre, l'innovazione può produrre effetti positivi anche per altri attori terzi: questo fenomeno prende il nome di *spillover di conoscenza*. Questo accade quando una tecnologia sviluppata da un'azienda, una regione o una nazione avvantaggia altri attori che sono in grado di adottarlo (Alston 2002). Gli spillover hanno un'influenza positiva sulla produttività in quanto consentono ai ricercatori di effettuare nuove scoperte tecnologiche a un costo minore e utilizzando risorse inferiori rispetto ai loro predecessori. Queste esternalità positive promuovono la diffusione di conoscenze tra settori e organizzazioni e stimolano gli investimenti in R&D. Ciò avviene perché gli spillover creano una base di conoscenze che i ricercatori possono utilizzare come punto di partenza, evitando così di dover ricominciare da zero. Di conseguenza, le imprese sono incentivate ad investire nella ricerca di nuove tecnologie, creando un circolo virtuoso di innovazione e crescita economica.

In uno studio effettuato da Sanso-Navarro e Vera-Cabello (2018) in Francia, Germania, Italia e Spagna, si dimostra che gli spillover di conoscenza e gli investimenti in R&S sono essenziali per la performance innovativa a livello regionale. Pertanto, le ricadute derivanti dalle attività di innovazione possono incrementare le performance economiche. Infatti, è stato comprovato che le regioni più innovative sono in grado di tradurre gli investimenti in ricerca e sviluppo in produttività per le industrie ad alta tecnologia (Prenzel, Ortega-Argilés, Cozza e Piva 2018).

Tuttavia, è comunemente accettato che gli spillover sono tanto più importanti quanto le imprese sono vicine. Studi precedenti hanno indagato l'effetto della *vicinanza del prodotto, spaziale e tecnologica*.

Amidi e Fagheh Majidi (2020) utilizzando un campione di 25 paesi dell'UE nel periodo 1992-2016 hanno illustrato che l'effetto dello spillover geografico è uno dei principali determinanti della crescita economica. Infatti, la ricerca condotta da De Dominicis et al. (2013) ha evidenziato che la vicinanza geografica alle innovazioni è un fattore importante per spiegare le differenze osservate nelle performance economica tra diversi paesi. Questo perché per catturare queste esternalità positive le imprese, regioni o paesi necessitano di capacità di assorbimento e la vicinanza geografica influisce sulla capacità di un paese di assimilare e combinare informazioni tecnologiche provenienti da paesi vicini e lontani (Segarra-Blasco et al. 2018; Guan e Yan, 2016).

Lychagin e Pinkse (2016) hanno condotto una ricerca sulla correlazione tra la prossimità

geografica e quella tecnologica, poiché le aziende che conducono ricerche simili possono anche imparare le une dalle altre. I risultati dello studio suggeriscono che la geografia è un fattore significativo nella determinazione degli spillover tecnologici. In particolare, si osserva che le imprese situate in aree geograficamente vicine a zone ad alta intensità tecnologica beneficiano di maggiori effetti di spillover rispetto a quelle situate in aree distanti. Questo indica che la vicinanza geografica facilita la trasmissione delle conoscenze e delle innovazioni tra le imprese. In linea con questo studio, Paci, Marrocu e Usai (2014) sostengono che la prossimità tecnologica eserciti l'influenza più significativa sulla capacità innovativa delle regioni.

Gli studi presentati sono accomunati dall'analisi delle citazioni dei brevetti al fine di indagare gli effetti di diffusione della conoscenza. I brevetti, infatti, contengono numerosi dati utili come informazioni geografiche e tecnologiche sull'innovazione, che consentono di esaminare l'importanza e la diffusione delle scoperte innovative. Inoltre, l'analisi delle citazioni dei brevetti aiuta a individuare le reti di conoscenza tra paesi, regioni e organizzazioni, consentendo così di studiare le dinamiche innovative in modo approfondito.

1.3 Le innovazioni ambientali

Negli ultimi tempi, sia in Italia che nel resto del mondo, si è verificato un crescente interesse per la tematica ambientale. Ciò ha spinto i governi, le università, i centri di ricerca e le aziende a fare dell'innovazione uno degli elementi cardine di un nuovo modello di sostenibilità.

Nella letteratura relativa allo studio delle innovazioni ambientali, sono utilizzati vari termini, tra cui innovazione ecologica, eco-innovazione, innovazione verde o innovazione ambientale. Infatti, Kemp (2010) afferma che non esiste una definizione comunemente accettata di eco-innovazione ma è in costruzione.

Braun et al. (1994) introducono il concetto di innovazione verde come quelle innovazioni tecnologiche che riducono l'inquinamento ambientale e migliorano le condizioni ecologiche. In seguito, Peter James (1997) ha ampliato la definizione di eco-innovazione¹ descrivendola come l'introduzione di “nuovi prodotti e processi che non solo offrono valore ai clienti e all'azienda, ma riducono anche in modo significativo l'impatto ambientale”. Nonostante la

¹ Il termine “eco-innovazione” è stato introdotto per la prima volta da Claude Fussler e Peter James nel loro libro del 1996 *Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*.

maggior parte degli studiosi concorda con questa definizione ce ne sono altri che offrono delle alternative. Ad esempio, secondo Van Berkel (2007) l'eco-innovazione riguarda miglioramenti e innovazioni rispettosi dell'ambiente e orientati all'ambiente in prodotti, servizi e processi che forniscono più valore ai produttori e/o ai consumatori riducendo progressivamente l'impatto ambientale netto.

Tutte le definizioni di eco-innovazione e l'innovazione ambientale sono orientate a promuovere la sostenibilità e la tutela dell'ambiente, attraverso lo sviluppo e l'adozione di nuove soluzioni e pratiche che favoriscono la riduzione dell'impatto ambientale. Tuttavia, alcune si basano sulla motivazione, ovvero sulla volontà di proteggere l'ambiente, e altre si focalizzano sulle performance, cioè sugli effetti ambientali positivi legati al suo utilizzo.

Una definizione che enfatizza i risultati è quella sviluppata da Kemp e Pearson nel loro progetto di ricerca finanziato dall'UE chiamato "Measuring Eco-Innovation" (MEI). Essi descrivono l'eco-innovazione come: "la produzione, l'applicazione o lo sfruttamento di un bene, servizio, processo produttivo, organizzazione struttura o metodo di gestione o di business che è nuovo per l'impresa o l'utente e che si traduce, durante tutto il suo ciclo di vita, in una riduzione del rischio ambientale, dell'inquinamento e degli impatti negativi dell'uso delle risorse rispetto alle alternative pertinenti" (Kemp e Pearson 2008).

Secondo questa definizione le tecnologie ambientali derivano da pratiche innovative che hanno più di un obiettivo. A differenza del passato, in cui miravano esclusivamente a migliorare l'ambiente, le eco-innovazioni possono essere il risultato di altre innovazioni economiche, come l'incremento della quota di mercato o la riduzione dei costi.

Inoltre, la definizione del MEI si fonda su una visione soggettiva dell'innovazione, la quale sostiene che l'innovazione deve rappresentare qualcosa di nuovo per l'impresa e può anche comprendere l'adozione di innovazioni precedentemente sviluppate da altri.

Infine, dalla definizione emerge che le eco-innovazioni sono considerate tali quando la soluzione implementata è più rispettosa dell'ambiente rispetto alle alternative convenzionali, ad esempio lampadine a risparmio energetico rispetto alle lampadine convenzionali.

Quindi il termine eco-innovazione copre un vasto ambito di innovazioni che portano a prodotti o processi più sostenibili. Di conseguenza, molti studi si focalizzano su specifici settori collegati. Analogamente, questo documento si concentra sul settore del green-tech.

Il termine Green-tech fa riferimento all'uso di tecnologie nuove e innovative finalizzate alla realizzazione di prodotti, servizi o processi che forniscono valore utilizzando meno risorse e producendo meno inquinamento rispetto agli standard attuali (Marra et al. 2017). Di conseguenza ricadono in questo segmento tutte le innovazioni che mitigano gli effetti dell'attività umana sull'ambiente come l'energia rinnovabile, chimica verde, illuminazione, trasporti verdi, bioedilizia, nanotecnologia verde, riciclaggio e molti altri.

1.4 I driver dell'eco-innovazione

L'innovazione svolge un ruolo centrale nello sviluppo economico. Pertanto, i fattori che promuovono la tecnologia e che attraggono il mercato o la domanda sono cruciali per spiegare le attività innovative. Analogamente, questi fattori rivestono un'importanza fondamentale anche per le eco-innovazioni.

Horbach (2012) distingue le principali determinanti dell'eco-innovazione in quattro gruppi di fattori come illustrato in Figura 1.

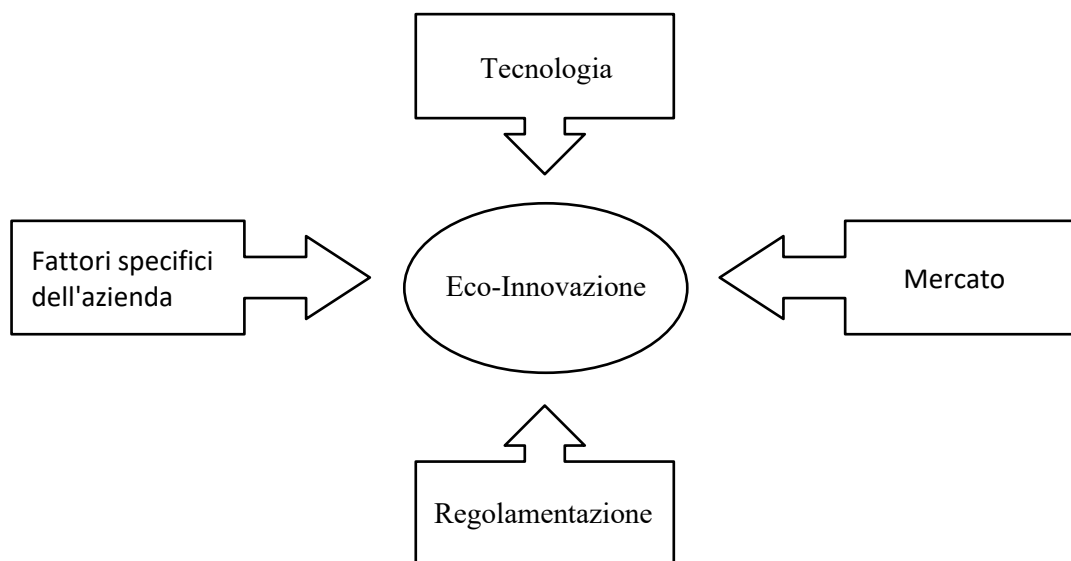


Figura 1. Determinanti dell'eco-innovazione. Fonte: Horbach (2012).

I consumatori sono sempre più interessati a prodotti rispettosi dell'ambiente, sia per salvaguardare la natura che per proteggere la propria salute. La consapevolezza ambientale dei consumatori e delle imprese è uno dei fattori di attrazione del mercato orientato verso prodotti e servizi eco-friendly. Gerstlberger et al. (2013) ritengono che le aziende stanno ricevendo una crescente pressione da parte dei clienti affinché migliorino le loro performance ambientali. Inoltre, secondo Wesseling et al. (2013) i consumatori sensibili

all'ambiente potrebbero decidere di evitare i prodotti o i servizi di un'azienda che non rispettano determinati standard ambientali.

Evidenze empiriche mostrano che più è facile identificare il valore aggiunto dell'innovazione, tanto più i consumatori sono disposti a pagare un sovrapprezzo per l'eco-innovazione. In effetti, i mercati dei prodotti più vicini ai consumatori finali sono quelli in cui la pressione verso l'eco-innovazione è maggiore (Doran e Ryan 2014; Kammerer 2009). Ad esempio, nello studio condotto da Guagnano (2001) su 367 residenti della contea di Fairfax, Virginia, l'86% degli intervistati ha dichiarato di essere disposto a pagare un extra per un bene domestico comune realizzato con materiali riciclati.

Tuttavia, i prodotti ecologici continuano ad avere un costo maggiore rispetto ad altri beni, e di conseguenza la loro domanda può essere influenzata dal reddito pro capite di un paese (Rehfeld et al. 2007; Horbach 2016). Pertanto, il sostegno pubblico è particolarmente importante per le eco-innovazioni in quanto questo può motivare i governi ad approvare normative ambientali più rigide (Cecere et al. 2014; Horbach 1992).

Inoltre, anche i fattori dell'offerta come le capacità tecnologiche e organizzative svolgono un ruolo importante nell'innovazione ambientale. Sulla base di dati panel tedeschi, Horbach (2008) mostra che il miglioramento delle capacità tecnologiche ("capitale di conoscenza") da parte di R&S innesca le eco-innovazioni. Canon de Francia et al. (2007) rilevano che "...la disponibilità di una maggiore conoscenza tecnica all'interno di un'azienda ne modera la vulnerabilità di fronte alle richieste delle nuove normative ambientali". Nel campo delle innovazioni ambientali, si osserva la presenza di una vasta base di conoscenze complessa, caratterizzata da interdipendenze e complementarità tra le diverse componenti dei sistemi tecnologici (Cecere et al. 2014). Pertanto, le attività di ricerca di base e la presenza di fonti esterne di informazioni, come la vicinanza alle migliori infrastrutture di conoscenza e ulteriori condizioni regionali e di localizzazione, assumono un ruolo significativo rispetto ai campi di innovazione più consolidati (Horbach 2016). Infatti, Wagner (2007), nella sua ricerca sulle aziende manifatturiere tedesche dimostra che la collaborazione con gli stakeholder attenti all'ambiente è un fattore determinante dell'eco-innovazione. Allo stesso tempo, Cainelli et al. (2012) sostengono che in Italia è la concorrenza tra le imprese a guidare l'eco-innovazione.

Infine, un importante determinante dell'eco-innovazione è la regolamentazione. Secondo

uno studio condotto da Popp (2006), basato sui i dati dei brevetti provenienti dagli Stati Uniti, dal Giappone e dalla Germania, è emerso che le decisioni di innovazione delle aziende sono principalmente influenzate dalla regolamentazione a livello nazionale. La politica pubblica, quindi, svolge un ruolo cruciale nell'incentivare le imprese a impegnarsi nell'innovazione e a ridurre il loro impatto ambientale (Doran e Ryan 2016). Attraverso l'uso di strumenti come sussidi, normative ambientali e incentivi fiscali, i governi sono in grado di promuovere pratiche sostenibili e la diffusione delle tecnologie verdi.

Le normative ambientali svolgono un ruolo importante in quanto uniscono l'aspetto informativo a quello regolamentare, cercando di soddisfare la domanda di un ambiente più sostenibile attraverso politiche specifiche e fornendo linee guida rigorose sia per chi produce inquinamento che per chi si impegna nell'innovazione ecologica (Kemp 2000). Studi empirici dimostrano che per favorire l'innovazione è indispensabile avere norme chiare e coerenti poiché agevolano lo sviluppo e l'implementazione efficiente di nuove tecnologie da parte delle imprese. Al contrario, le norme poco chiare o eccessivamente dettagliate possono rappresentare una barriera all'innovazione, poiché richiedono più tempo e risorse per essere comprese e applicate (Arundel e Kemp 2009; Triguero et al. 2013). Le aziende spesso adottano pratiche di eco-innovazione, in previsione di normative ambientali più rigorose, quando sono a conoscenza della domanda dei consumatori (Blum-Kusterer e Hussain, 2001; del Río et al., 2013; Khanna et al., 2009). Questa strategia consente loro di ridurre i costi di conformità futuri e allo stesso tempo ottenere un vantaggio competitivo rispetto ai concorrenti. Tuttavia, è stato dimostrato che in assenza di informazioni sulla domanda dei consumatori la regolamentazione può ridurre il dilemma del prigioniero che le aziende affrontano quando vogliono investire in nuove forme di eco-innovazione (Zhang et al. 2011; Doran e Ryan 2014).

1.5 Innovazioni ambientali, ricadute di conoscenza e performance economica

Le innovazioni ambientali sono sempre più riconosciute come elementi fondamentali per promuovere una crescita economica sostenibile e preservare l'ambiente. Esiste una vasta letteratura che tratta il rapporto tra performance economica e ambientale. La curva ambientale di Kuznets (che prende il nome dall'economista Kuznets) afferma che la relazione tra degrado ambientale e reddito pro-capite assume un andamento parabolico come illustrato in Figura 2 (Grossman e Krueger 1991). Questa curva postula che nelle prime fasi dello sviluppo economico vi è un incremento del degrado ambientale dovuto all'aumento

dell'industrializzazione che porta ad un uso intensivo delle risorse naturali e un aumento delle emissioni di inquinamento. Durante questa fase, si osserva un legame lineare positivo tra la crescita economica e l'inquinamento ambientale. Questo è dovuto al fatto che le aziende si concentrano principalmente sull'aumento della produzione materiale, senza prestare sufficiente attenzione alle conseguenze che la crescita può avere sull'ambiente (Mitić et al. 2019). Il progresso delle economie comporta un incremento del livello di benessere e una maggiore predisposizione a investire per la tutela dell'ambiente. Di conseguenza, la società è disposta a destinare una porzione della sua crescita economica al fine di ottenere un miglioramento della qualità ambientale. Durante questa fase si verificano due effetti:

- *l'effetto della composizione*, derivante dalla trasformazione delle economie industriali in un'economia incentrata sui servizi, contribuendo a ridurre l'inquinamento;
- *l'effetto tecnico*, causato dall'aumento dell'attenzione nella ricerca e nello sviluppo di tecnologie sostenibili che riducono l'impatto delle attività umane sull'ambiente (Hao et al. 2020).

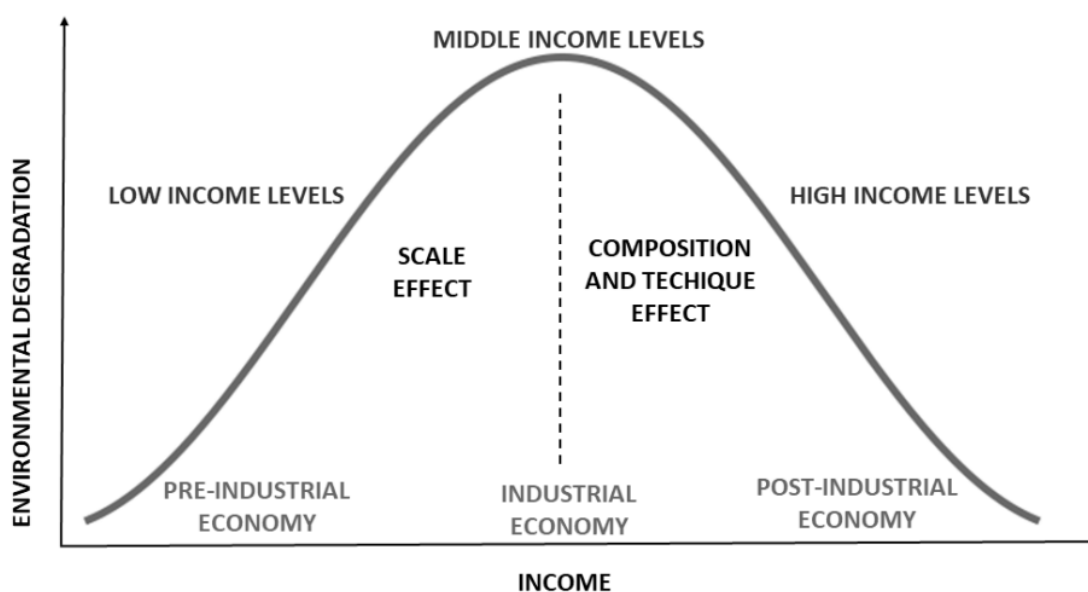


Figura 2. Curva ambientale di Kuznets. Fonte: Mitić et al. (2019).

Tuttavia, la continua evoluzione delle economie potrebbe portare ad un ulteriore deterioramento ambientale (Ulucak e Yucel 2021). Aldieri et al. (2023), infatti, dimostra che la relazione tra performance ambientale ed economica è a forma di N. Pertanto, al fine di promuovere lo sviluppo sostenibile sono necessari sforzi costanti in quanto non dovrebbe essere mai data per scontata la connessione positiva tra innovazioni ambientali e

performance economica (Aldieri et al. 2023). A tal fine, è essenziale che i governi svolgano un ruolo attivo nel sostenere e finanziare gli investimenti nelle innovazioni ambientali. Attraverso un sostegno finanziario costante, è possibile favorire lo sviluppo di nuove tecnologie e soluzioni che promuovano sia la protezione dell'ambiente che il progresso economico, creando un percorso di sviluppo orientato verso una "crescita verde".

Inoltre, alcuni studi empirici analizzano l'impatto degli spillover di conoscenza ambientali e la performance economica. Ferreira et al. (2020), utilizzando i brevetti di 23 paesi europei come proxy delle ricadute di conoscenza, hanno evidenziato una correlazione positiva tra le tecnologie sostenibili (brevetti legati all'ambiente e all'acqua) e le tecnologie legate al cambiamento climatico con la crescita del PIL. Allo stesso modo, Aldieri et al. (2023), mostra che la presenza di spillover geografici (soprattutto se tra paesi vicini) amplifica l'impatto delle innovazioni ambientali – misurato attraverso i brevetti nell'ambito dell'Economia dei Rifiuti e del Riciclaggio (ERT) – sul PIL.

1.6 L'eco-innovazione nel settore dei trasporti

I trasporti svolgono un ruolo di grande rilevanza, nella società odierna, per la crescita economica e l'occupazione. All'interno dell'Unione Europea, il settore dei trasporti rappresenta il 5% del PIL e fornisce lavoro a circa 10 milioni di persone. Inoltre, può essere considerato il maggior contribuente privato europeo all'innovazione. Infatti, contribuisce al 32,5% della spesa totale per la ricerca e lo sviluppo e ne sostiene la crescita con un tasso dell'8,9% (Grassano et al. 2022).

Tuttavia, il settore dei trasporti, insieme a quello energetico, rappresenta due terzi delle emissioni di CO₂ globali (24%) (IEA 2019). In Europa, come illustrato in figura 3, i mezzi di trasporto su strada sono i principali responsabili delle emissioni. In particolare, le autovetture svolgono un ruolo dominante e rappresentano il 60,6% delle emissioni di CO₂ (European Environment Agency 2022).

Per questo motivo, nel corso degli ultimi anni, si è notato un crescente interesse nei confronti del settore dei trasporti, al fine di rendere tutte le modalità di spostamento sempre più sostenibili. Infatti, sono state intraprese numerose politiche e normative per ridurre le emissioni di CO₂ dei veicoli (Rothenberg e Ettl 2011). L'Accordo di Parigi del 2015 e successivamente il Green Deal hanno stabilito, per i paesi dell'Unione Europea, nuovi obiettivi ambiziosi nella lotta contro i cambiamenti climatici.

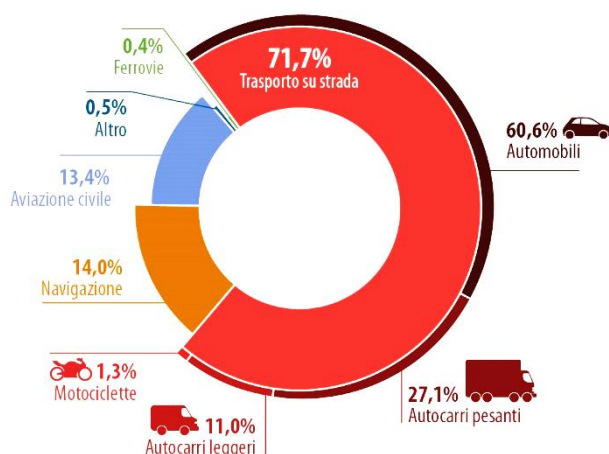


Figura 3. Emissioni prodotte dai trasporti nell'UE. Fonte: European Environment Agency (2022)

Nel 2021, la Commissione Europea ha approvato la legge UE sul clima che prevede la riduzione netta delle emissioni del 55% per il 2030 e la neutralità climatica a livello dell'UE per il 2050. Per raggiungere questi obiettivi, il Consiglio ha stabilito nuove norme come la riduzione delle emissioni di CO₂ per le autovetture nuove dal 2030 al 2034 e la riduzione del 100% entro il 2035.

L'innovazione tecnologica svolge un ruolo chiave nel raggiungimento di questi obiettivi. Le aziende, infatti, attraverso la ricerca e sviluppo possono creare soluzioni innovative che contribuiscano a ridurre le emissioni, influenzando quindi le traiettorie tecnologiche (De Stefano et al. 2016). A prova dei continui sviluppi in questo settore, negli ultimi anni si è osservata una crescita significativa delle domande di brevetto in Europa (Figura 4). Nel complesso, tra le aziende degli Stati membri dell'EPO il 21% della quota globale di domande sono state presentate da aziende tedesche. Nel complesso, la quota maggiore di brevetti depositati risiede nel settore dell'aviazione, di cui un numero significativo riguarda l'innovazione per un'aviazione verde, come carburanti più puliti e migliore progettazione degli aeromobili. Inoltre, la crescita di domande nel settore dei trasporti è anche guidata dai veicoli ibridi e verdi. Al fine di raggiungere gli obiettivi in materia di clima ed energia sostenibile, quando si tratta di mobilità elettrica, sono necessarie delle soluzioni di stoccaggio dell'energia efficaci. Il rapporto, intitolato "*L'evoluzione delle batterie e dello stoccaggio dell'elettricità: uno studio globale basato sui dati dei brevetti*", rivela che le batterie dominano le attività di brevettazione nel settore dello stoccaggio dell'elettricità, rappresentando quasi il 90% del totale. Questo significativo aumento nell'innovazione è principalmente attribuibile ai progressi delle batterie ricaricabili agli ioni di litio, che vengono utilizzate sempre più spesso nelle auto elettriche.

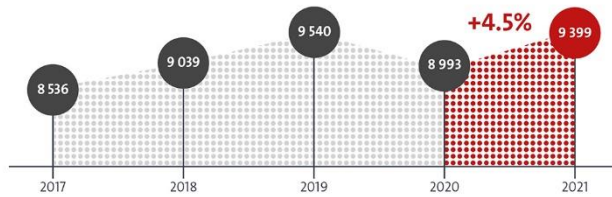
2021 Transport innovation for greener travel

Technologies for EVs and aircraft drive the increase, with 57% from Europe

Countries of origin for European patent applications



Total European patent applications in transport



Top applicants 2021

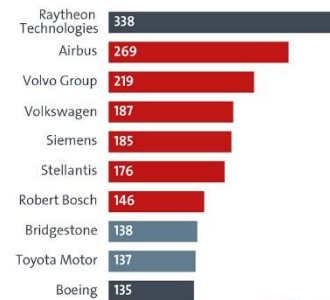


Figura 4. Domande di brevetti Europei nel settore dei trasporti. Fonte: EPO Patent Index (2021)

Negli ultimi anni, infatti, si è assistiti ad una crescita dei brevetti per i veicoli ibridi ed elettrici e una diminuzione sostanziale per le tecnologie relative ai motori a combustione interna (ICE) (Figura 5).

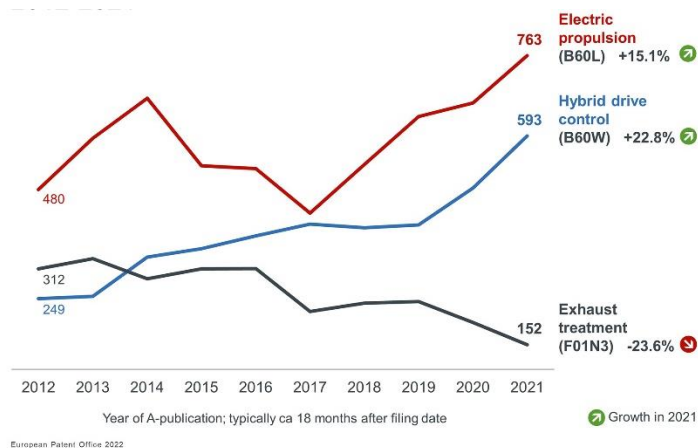


Figura 5. Domande di brevetti Europei per tre tecnologie di veicoli. Fonte: EPO (2022)

Tuttavia, se si considera l'obiettivo di ridurre le emissioni, i veicoli ibridi elettrici (HEV) possono essere visti come una tecnologia di transizione verso una mobilità più sostenibile, dal momento che emettono una quantità minore di inquinanti. Mentre i veicoli elettrici a batteria (BEV) e quelli ad idrogeno (FCEV) permettono di evitare totalmente le emissioni

se l'energia proviene da fonti rinnovabili (Borgstedt et al. 2017). Nonostante ciò, le tecnologie BEV e FCEV presentano alcune sfide che le rendono poco convenienti sia per le case automobilistiche che per i consumatori finali. Entrambe le tecnologie comportano costi iniziali elevati ma, in particolare, i veicoli elettrici a batteria hanno un'autonomia limitata e richiedono tempi di ricarica lunghi, mentre i veicoli a celle a combustibile soffrono di infrastrutture di ricarica inadeguate. Secondo lo studio condotto da Xiaodong e Yuchen, la tecnologia più promettente risulta essere quella dei veicoli elettrici ibridi (HEV). Infatti, nonostante le richieste di brevetti per la tecnologia BEV crescano notevolmente, l'influenza tecnologica e l'ampiezza delle prestazioni tecniche non sono molto elevate. Al contrario, l'innovazione tecnologica FCEV progredisce lentamente. Tuttavia, sia i veicoli elettrici a batteria che quelli a celle a combustibile potrebbero potenzialmente raggiungere un futuro promettente. Nel complesso, non è prevedibile quale di queste soluzioni tecnologiche sarà il prossimo progetto dominante (Sierzchula et al. 2012).

2. DOMANDA DI RICERCA

Nel capitolo precedente è stato messo in evidenza il vasto numero di studi teorici ed empirici riguardanti l'innovazione ambientale e gli spillover di conoscenza. Questo mette in risalto l'importanza del tema di ricerca, che deriva dalla necessità di avviare una transizione verso una società più sostenibile e attenta all'ambiente. Infatti, gli studi sulle ricadute di conoscenza generate dalle eco-innovazioni consentono di fornire informazioni su come indirizzare il sostegno alla ricerca e sviluppo. Come visto precedentemente, per misurare gli spillover di conoscenza possono essere utilizzati dati sugli input o sugli output in base al focus degli studi in esame. In questo elaborato, come negli studi analizzati, si sfrutteranno i dati sulle citazioni di brevetti per studiare i flussi di conoscenza.

La ricerca condotta da Grafström (2018) analizza l'impatto della conoscenza internazionale nel settore dell'energia eolica, utilizzando i dati sul numero di brevetti dei principali leader tecnologici nazionali in Europa occidentale nel periodo 1978-2008. L'obiettivo dello studio è quello di valutare se l'accumulo di brevetti in un Paese influenzi la capacità dei Paesi limitrofi di generare brevetti nella stessa categoria. I risultati indicano che gli spillover internazionali hanno un impatto positivo sul grado di sviluppo della stessa tecnologia e di qualsiasi tecnologia correlata nei Paesi vicini. Inoltre, si osserva che l'impatto degli spillover di conoscenza diventa più significativo man mano che la distanza geografica diminuisce.

Un'altra ricerca di rilievo è stata condotta da Noailly et al. (2017) il quale ha indagato sulle ricadute di conoscenza generate dalle tecnologie delle energie rinnovabili. L'obiettivo di questo studio è quello di rivelare i campi tecnologici che beneficiano delle conoscenze sviluppate nelle tecnologie di stoccaggio, solare, eolico, marino, idroelettrico, geotermico, dei rifiuti e della biomassa. A tal fine, sfrutta i dati relativi alle citazioni dei brevetti sulle tecnologie rinnovabili depositati presso 18 uffici brevetti europei nel periodo 1978-2006 per analizzare gli spillover intratecnologici, intertecnologici e delle tecnologie esterne. I risultati mostrano differenze significative tra le varie tecnologie come riportato nel grafico riepilogativo presente in Figura 3. Nel complesso, le invenzioni nel settore solare e di accumulo trovano applicazioni in diverse aree al di fuori del campo di produzione dell'energia; mentre i settori tecnologici dell'energia eolica e dello stoccaggio risultano rilevanti per le tecnologie legate a questi campi.

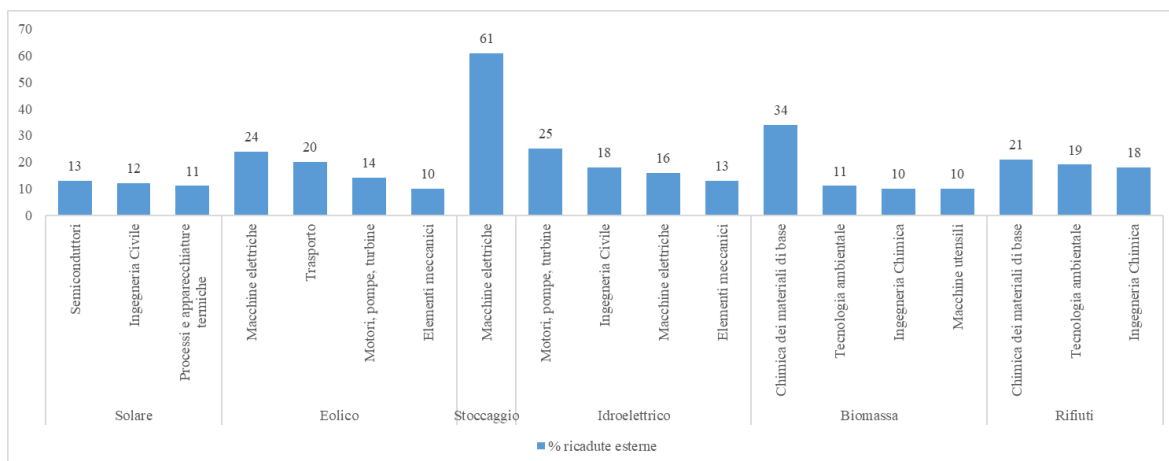


Figura 6. Settori tecnologici esterni che ricevono gli spillover più elevati (>10%) dalle tecnologie REN. Fonte: Noailly et al. (2017)

Tenendo in considerazione la letteratura presentata, il presente studio si propone di contribuire al dibattito sulla portata e sulla direzione degli spillover di conoscenza generate dalle tecnologie green. Alla luce delle discussioni finora presentate, le seguenti domande di ricerca sono ritenute le più adeguate a raggiungere gli obiettivi di questo studio:

1. qual è l'impatto delle tecnologie green sulle invenzioni future rispetto a quelle non green?
2. dove confluiscono gli spillover di conoscenza generati dalle tecnologie provenienti dal settore dei trasporti?

Al fine di fornire risposta a queste domande, questo capitolo presenta una serie di informazioni fondamentali per una migliore comprensione dell'argomento. Si approfondisce l'argomento degli spillover di conoscenza, in particolare per ciò che concerne le innovazioni green-tech. Inoltre, particolare attenzione è posta sull'utilizzo dei brevetti come strumento per stimolare l'innovazione, insieme ai suoi vantaggi e svantaggi.

2.1 Spillover di conoscenza

Nella letteratura è ampiamente consolidato che l'innovazione tecnologica sia il risultato di un processo di apprendimento attraverso l'esperienza cumulativa. Tale processo può essere osservato attraverso le citazioni dei brevetti che forniscono informazioni sugli sviluppi tecnologici dell'invenzione brevettata e rivelano informazioni sulla natura cumulativa del processo di ricerca (Jaffe e de Rassenfosse 2016).

Le citazioni rappresentano, quindi, un mezzo per analizzare come la conoscenza passa da un

inventore ad un altro. Poiché la conoscenza è un bene pubblico, parte dell'idea originaria di un inventore si riversa necessariamente in altre imprese, in altri settori e in altri ambiti tecnologici, generando esternalità positive (i cosiddetti “knowledge spillover”) per l'economia.

Inoltre, è possibile affermare che un brevetto con molte o diverse citazioni in avanti apporta più valore alla società (Lanjouw e Schankerman 2004) mentre un brevetto con un gran numero di citazioni a ritroso riflette l'importanza tecnologica dell'invenzione per i futuri progressi tecnologici (Schoenmakers e Duysters 2010).

Pertanto, la valutazione dell'impatto della diffusione della conoscenza è di rilevante importanza perché, come indicato da ricerche precedenti, alcuni campi tecnologici genereranno maggiori ricadute e quindi saranno più rilevanti rispetto ad altri campi. Lo studio condotto da Dechezleprêtre et al. (2013) indaga la differenza dell'intensità degli spillover di conoscenza derivanti dalle tecnologie pulite e sporche in quattro ambiti tecnologici: produzione dell'energia, automobili, carburante e illuminazione. Conducono un'analisi sulle citazioni dei brevetti utilizzando un modello per il conteggio dei dati basato sulla pseudo-massima verosimiglianza di Poisson. I risultati indicano che, in media, le tecnologie pulite generano circa il 43% in più di citazioni future rispetto ai brevetti derivanti da tecnologie inquinanti. Questi risultati giustificano un aumento dei sussidi per le attività di ricerca e sviluppo delle tecnologie pulite, nonché il supporto implicito tramite politiche climatiche. Al contrario, Noailly et al. (2017) si focalizza esclusivamente sulla destinazione della conoscenza derivante dalle energie rinnovabili. Pertanto, sviluppa un modello per valutare il numero di citazioni utilizzando una regressione binomiale negativa, tenendo conto del fatto che molti brevetti non vengono mai citati. Si deduce che le invenzioni nel settore solare e di accumulo sono particolarmente importanti in quanto le sue invenzioni ricevono numerose citazioni.

Contribuendo alla letteratura sulle innovazioni ambientali, precedentemente illustrata, questa tesi si propone di esaminare l'impatto degli spillover nelle innovazioni green e non green ponendo una particolare attenzione al settore dei trasporti.

Come ampiamente dibattuto, studiare l'entità degli spillover di conoscenza permette di valutare il grado di importanza che una tecnologia apporta alla società e può fornire indicazioni ai decisori politici per la pianificazione del sostegno alla ricerca e allo sviluppo.

È fondamentale, tuttavia, analizzare anche la direzione dei flussi di conoscenza.

Lo sviluppo di una nuova tecnologia può essere agevolato da flussi di conoscenza derivanti sia dalle stesse tecnologie che da quelle differenti. Quando si parla di direzione dei flussi di conoscenza si fa riferimento alla distanza della tecnologia ricevente, di conseguenza bisogna distinguere i flussi all'interno e all'esterno della tecnologia (Battke et al. 2016). La letteratura esistente classifica le conoscenze in base al grado di vicinanza della tecnica anteriore integrata; quindi, si fa riferimento a *conoscenze specializzate* (o vicine) e di *conoscenze diversificate* (o lontane).

Alcuni studi sostengono che la conoscenza specializzata, acquisita principalmente attraverso l'arte di settori tecnologicamente correlati (Lazear 2004, Lettl et al. 2009) può generare maggiori ricadute di conoscenza. Questo perché i cambiamenti continui lungo una traiettoria tecnologica possono favorire l'apprendimento locale (inteso come vicinanza tecnologica) (Dosi 1982, Cohen e Levinthal 1990). In favore di tale prospettiva, Nemet e Johnson (2012) hanno constatato che i flussi di conoscenza provenienti da domini tecnologici simili sono correlati a un maggior numero di citazioni in anticipo rispetto all'aggiunta di citazioni provenienti da conoscenze più distanti.

In contrasto a questa visione, ci sono studi che suggeriscono che la combinazione di conoscenze provenienti da tecnologie anteriori diverse e distanti influenzi la creazione di invenzioni più rilevanti (Rosenberg 1994). Pertanto, la conoscenza diversificata può generare maggiori flussi di conoscenza e può anche portare a innovazioni più radicali

Pertanto, la combinazione di conoscenze provenienti da tecnologie anteriori più diverse e distanti può generare maggiori ricadute di conoscenza contribuendo al progresso tecnologico attraverso, anche, l'elaborazione di innovazioni radicali (Van den Bergh 2008). Ad esempio, Nemet (2012) utilizzando dei brevetti statunitensi concessi dal 1976 al 2006 dimostra che nel settore energetico vi è un'ampia integrazione di tecniche anteriori che si basano su tecnologie distanti come chimiche, elettroniche ed elettriche.

Di conseguenza, le conoscenze generano spillover all'interno della stessa tecnologia (*spillover intra-tecnologici*) rafforzando le traiettorie tecnologiche esistenti (Battke et al. 2016). Tuttavia, gli *spillover inter-tecnologici* sono particolarmente importanti per le innovazioni non incrementali anche se a volte vengono ignorati o si presumono già incorporati per via del progresso tecnologico (Nemet 2012). Infatti, come dimostrato da

Rosenberg (1994) la diffusione della conoscenza da un settore ad un altro ha influenzato notevolmente la velocità e direzione del progresso scientifico.

Pertanto, il grado di importanza di un tipo di conoscenza, sia essa specializzata o diversificata, può variare a seconda del settore tecnologico preso in considerazione. In uno studio condotto da Battke et al. (2016), esaminando i brevetti sulle tecnologie delle batterie, hanno analizzato quali fattori influenzano la direzione della conoscenza. Si scopre, dunque, che la conoscenza specializzata (basata su conoscenze pregresse meno diversificate) ha maggiori possibilità che fluisca all'interno della stessa tecnologia. Al contrario, la conoscenza diversificata è più probabile che si diffonda tra i diversi campi tecnologici.

Di conseguenza, con riferimento alla seconda domanda di ricerca di questa tesi, si andranno ad analizzare gli spillover intra-tecnologici ed esterni per il settore dei trasporti al fine di comprendere come differisce la direzione degli spillover in questo settore.

2.2 I brevetti come misura per l'innovazione

Come evidenziato nelle ricerche precedenti, l'utilizzo delle citazioni di brevetti per dimostrare l'importanza delle invenzioni è diventata una pratica molto diffusa (Jaffe e de Rassenfosse 2016). Tuttavia, le statistiche sui brevetti non rappresentano l'unico indicatore per valutare l'innovazione. Un altro proxy dell'innovazione diffuso nella letteratura è rappresentato dagli investimenti in ricerca e sviluppo (R&S).

La spesa in R&S è considerata un input fondamentale delle innovazioni in quanto riflettono lo sforzo innovativo (Carlino et al. 2015). Con il passare degli anni, questo approccio che inizialmente veniva utilizzato nei primi studi per valutare l'attività innovativa, ha gradualmente perso popolarità in quanto si è dimostrato inefficace nel misurare tale processo. Infatti, i dati sulla R&S, a meno di specifiche indagini interne, sono difficili da reperire.

Al contrario, i dati sui brevetti sono più facili da accedere e comprendono numerose informazioni dettagliate sull'innovazione, sull'area tecnologica di appartenenza, sugli inventori, ecc. Inoltre, tali dati non sono soggetti a restrizioni di riservatezza e sono disponibili per lunghi periodi permettendo la realizzazione di analisi nel tempo (Carlino et al. 2015). La maggior parte degli studi si basa sull'uso dei dati brevettuali per misurare l'innovazione, e quindi è essenziale fornire una definizione di brevetto.

Il brevetto è un titolo che conferisce al titolare un monopolio temporaneo, per un periodo di tempo limitato, consistente nel diritto esclusivo di realizzarlo, disporne e farne un uso commerciale, vietando tali attività ad altri soggetti non autorizzati. Nello specifico, come riportato dal Codice civile, i brevetti attribuiscono al titolare il diritto di escludere altri soggetti dall'utilizzo dello stesso. Per essere brevettata un'invenzione deve rispettare i seguenti requisiti:

- *novità* – un'invenzione è nuova se esclusa nello stato della tecnica, cioè non deve essere resa accessibile al pubblico prima della data di deposito della domanda di brevetto;
- *attività inventiva* – un'invenzione è considerata un'attività inventiva non ovvia se una persona esperta del ramo non è in grado di dedurla in modo evidente dallo stato della tecnica;
- *industrialità* – l'oggetto del brevetto deve essere tecnicamente realizzabile e in grado di generare effetti pratici.

La struttura di una domanda di brevetto comprende:

- domanda di concessione – contenente le informazioni sul titolo dell'invenzione, la data del deposito, la data di priorità ed i dati anagrafici dell'inventore e del richiedente;
- riassunto – il cui scopo è quello di fornire un'informazione tecnica di massimo 150 parole e non prevede la presenza di disegni;
- descrizione – contenente le informazioni relative al problema tecnico che l'invenzione si prefigge di risolvere. L'invenzione può essere considerata sufficientemente descritta se una volta scaduto il brevetto, un tecnico del settore è in grado di riprodurre l'invenzione senza necessitare di un ulteriore sforzo inventivo;
- rivendicazioni – forniscono una descrizione dettagliata di tutte le caratteristiche che possono essere protette legalmente;
- disegni – illustrano le caratteristiche indicate nella descrizione e consentono di osservare in dettaglio gli aspetti tecnici dell'innovazione.

Di conseguenza, un vantaggio dell'utilizzo dei brevetti è dato dalla presenza di una vasta quantità di informazioni dettagliate sull'innovazione che possono essere utilizzate come fondamento per nuove scoperte. Inoltre, grazie agli ampi database e alla costante raccolta di brevetti, l'accesso ai dati, da parte dei ricercatori, è relativamente rapido ed efficiente. Negli ultimi anni, infatti, si è assistito ad un costante aumento delle richieste di brevetti, come

evidenziato dalla Figura 4. Nel 2022, l'Ufficio Europeo di Brevetti (EPO) ha registrato un totale di 193460 domande, mostrando un notevole interesse nell'innovazione sostenibile (+18,2%)².

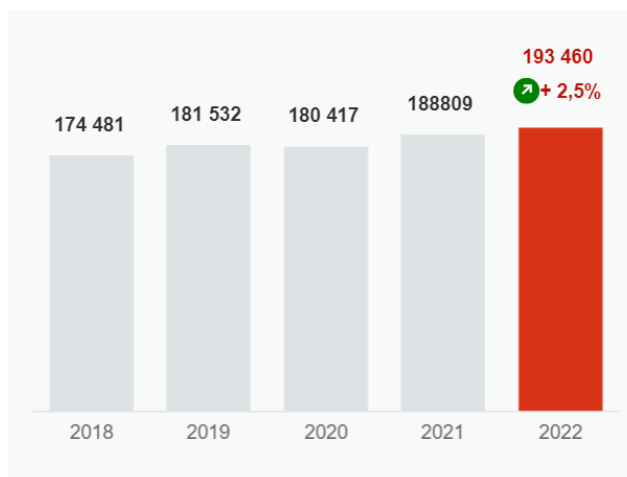


Figura 7. Andamento delle domande di brevetti europei negli ultimi 5 anni. Fonte: EPO (2023)

Altrettanto significativa è la presenza di citazioni a brevetti precedenti in quanto fornisce informazioni sull'innovazione e, in particolare, consente di studiare gli spillover di conoscenza tra le diverse tecnologie e settori industriali.

Tuttavia, bisogna considerare anche le limitazioni derivanti dall'utilizzare i brevetti come indicatore di innovazione. In primo luogo, non tutte le invenzioni vengono brevettate in quanto devono rispettare i requisiti precedentemente descritti. Di conseguenza alcune innovazioni utili potrebbero non aver soddisfatto questi criteri oppure gli inventori potrebbero non aver richiesto i brevetti. Infatti, ci sono svariati motivi che potrebbe indurre gli inventori a utilizzare metodi alternativi di protezione (Tabella 2) tra cui: la quantità di informazioni divulgate in una domanda di brevetto, la facilità di inventare legalmente intorno a un brevetto e i costi elevati. Inoltre, i brevetti non hanno tutti lo stesso valore ma sono distribuiti in modo asimmetrico: Scherer e Harholff (2000) dimostrano che circa il 10% dei brevetti cattura la maggior parte dei rendimenti totali. Questo suggerisce che la maggior parte dei brevetti ha un valore limitato o poco significativo.

² La quota di crescita delle richieste di brevetti riguarda principalmente il settore delle macchine elettriche, gli apparecchi e l'energia che comprende le invenzioni sull'energia pulita e la tecnologia delle batterie.

Alternativa	Vantaggi	Svantaggi
Segreto industriale	- Tutela illimitata nel tempo - Costo nullo - Effetto immediato	- Difficile da tutelare legalmente - Rischi e costi associati alla gestione della sicurezza
Inimitabilità intrinseca	- Efficace quando l'innovazione avviene ad un ritmo estremamente rapido o è basata su competenze organizzative tacite	- Non tutelabile legalmente - L'efficienza dipende dal contesto
Disclosure	- Più economica e veloce dei brevetti	- L'innovazione è divulgata e può essere pubblicizzata abbastanza da essere riconosciuta come prior art

Tabella 2. Alternative ai brevetti

Pertanto, pur avendo alcune limitazioni, i brevetti rimangono comunque l'indicatore più significativo dell'innovazione. Questa affermazione si rafforza ulteriormente nel contesto dell'innovazione ecologica, in quanto i brevetti forniscono informazioni che consentono di analizzare le interazioni, le interdipendenze e gli effetti di contagio tra diverse tecnologie (Alpino et al 2022).

Negli ultimi anni, si è osservato un crescente interesse e impegno nei confronti della transizione ecologica, accompagnati da un aumento dei brevetti green. Tuttavia, il concetto di innovazione green è in continua evoluzione ed è complesso definire dei principi che identifichino i brevetti green. Per questo motivo il Comitato di esperti IPC, nel 2010, ha sviluppato l'*IPC Green Inventory* che associa i codici IPC alle voci rilevanti per le tecnologie ecocompatibili (EST). Tuttavia, questa non è l'unica modalità di classificazione che può essere impiegata, in quanto nel 2013 l'EPO ha introdotto uno schema di codifica dei brevetti depositati relativi alle tecnologie di mitigazione del Cambiamento Climatico (CCMTs), partendo dalla classificazione Cooperative Patent Classification (CPC). A tal proposito nelle analisi successive la classificazione utilizzata per l'identificazione di tecnologie o applicazioni verdi si è sfruttata la classificazione basata sull'IPC Green Inventory.

3 DATI E METODOLOGIA

Questo capitolo fornisce le informazioni riguardanti la procedura di stima e la metodologia empirica per effettuare l'analisi sui brevetti green al fine di scoprire quali tecnologie green apportano più valore alla società e quali campi tecnologici ne sono influenzati.

3.1 Origine dei dati

I dati necessari per l'analisi sui brevetti sono estratti dall'EPO PATSTAT (European Patent Office – EPO – Worldwide Patent Statistical Database). Per ogni domanda di brevetto, il database fornisce numerose informazioni relative all'innovazione. Nello specifico sono state utilizzate ed elaborate le informazioni relative alle domande di brevetto, ai richiedenti, alle rivendicazioni, alle citazioni in avanti e indietro e ai codici IPC. Dal file relativo ai brevetti (denominato “applications”) si ricavano tutte le domande depositate in Europa. Si esamina l'intera gamma dei brevetti depositati, includendo anche quelli non ancora concessi, poiché l'obiettivo di questo lavoro di tesi è di esplorare e analizzare l'intera conoscenza disponibile, e anche i brevetti non ancora concessi possono contribuire alla creazione di nuove invenzioni. Inoltre, per identificare i brevetti green, si utilizza uno strumento di classificazione ufficiale. Tale classificazione risulta fondamentale per organizzare i brevetti e quindi le invenzioni in categorie specifiche. Le categorie più utilizzate sono la IPC (International Patent Classification) e la CPC (Cooperative Patent Classification).

3.1.1 Classificazione dei brevetti green

Negli ultimi anni, sempre più aziende hanno adottato la tendenza di investire nelle tecnologie green, dimostrando l'interesse della società verso lo sviluppo sostenibile (Montresor Quatraro 2020). Questo impegno si propone di ridurre, eliminare o invertire l'impatto ambientale delle attività economiche, in linea con gli obiettivi di neutralità climatica dell'Unione Europea (EU net zero). Come illustrato nel primo capitolo, la definizione di "innovazione green" è in costante evoluzione, di conseguenza le tecnologie considerate green oggi potrebbero non esserlo in futuro. Individuare i brevetti green risulta, quindi, una sfida complessa, per questo motivo sono state sviluppate diverse metodologie che consentono di agglomerarli. Tra le classificazioni ufficiali si prendono in considerazione la IPC e la CPC.

La Classificazione Internazionale dei Brevetti (IPC) è uno strumento internazionale per la

classificazione e la ricerca dei brevetti che si contraddistingue per la sua precisione, efficacia e facilità d'uso. È stata introdotta in conformità con l'Accordo di Strasburgo del 1971, e annualmente viene rilasciata una nuova edizione che entra in vigore il 1° gennaio: la versione del 2023 contiene circa 78000 voci. La classificazione è strutturata in maniera gerarchica e suddivide tutti i settori della tecnologia in otto sezioni:

- A. Bisogni umani;
- B. Esecuzione di operazioni, Trasporto;
- C. Chimica, metallurgica;
- D. Tessili, carta;
- E. Costruzioni Immobili;
- F. Ingegneria meccanica, illuminazione, riscaldamento, armi;
- G. Fisica;
- H. Energia Elettrica;

Queste sezioni sono ulteriormente suddivise in livelli più dettagliati, che comprendono classi, sottoclassi, gruppi e sottogruppi. La versione del 2023 dell'IPC (2023.01) consiste in 8 sezioni, divise in 132 classi, 651 sottoclassi e circa 78000 gruppi. Ad esempio, per il settore dell'energia elettrica, è possibile considerare il codice "F21" che fa riferimento a tutti i brevetti relativi all'illuminazione elettrica. Tuttavia, è possibile approfondire ulteriormente l'argomento controllando la sottoclasse e il gruppo: il codice "F21L 4/00" indica i brevetti relativi ai dispositivi di illuminazione elettrica che utilizzano batterie o celle elettriche autonome. Al fine di agevolare e velocizzare la ricerca di brevetti riguardanti le tecnologie ecologiche (EST) un comitato di esperti dell'IPC ha istituito nel 2010 la WIPO Green Inventory, in linea con la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). In tale classificazione i brevetti green sono individuati sulla base della classificazione internazionale dei brevetti, ossia l'IPC. Nello specifico, fornisce un elenco di codici IPC (circa 1180 codici IPC) associate a tecnologie green raggruppandoli in sette aree tecnologiche che si ramificano a loro volta in sottogruppi. I campi principali sono:

- produzione di energia alternativa;
- trasporti;
- conservazione dell'energia;
- gestione dei rifiuti;
- agricoltura / selvicoltura;

- aspetti amministrativi, normativi o di progettazione;
- generazione di energia nucleare.

Quando si utilizza questa classificazione, è importante notare che, quando un codice è indicato solo dalla sua classe (ad esempio B61) il relativo "codice verde" non include le sue suddivisioni, se non menzionate (ad esempio B61D 17/02) (Favot et al. 2023). Inoltre, se collegate al codice base può essere importante considerare le “fasce” di codici verdi (come 7/00–7/04).

Con questo metodo tutte le classi IPC vengono associate alle aree tecnologiche precedentemente menzionate, con il pericolo di commettere errori di tipo I, cioè di includere anche i brevetti non green (Veeffkind et al 2012). Ciò avviene perché i campi individuati dall'inventario potrebbero non essere abbastanza specifiche per essere considerate brevetti verdi. Inoltre, dal momento che un brevetto può riguardare diversi campi tecnologici è possibile che ad esso siano associati più classi tecnologiche green.

Un'altra metodologica è il CPC (Classificazione Cooperativa dei brevetti) introdotta nel 2013 dall'European Patent Office (EPO) in collaborazione con l'Ufficio statunitense dei brevetti e marchi (USPTO). Questo sistema di classificazione si basa sulla classificazione IPC e introduce uno schema di codifica definito “Y02 – Y04S tagging scheme” (Tabella 3) che comprende tutti i brevetti CCMTs (tecnologie di mitigazione del Cambiamento Climatico).

Le due macroaree in cui è suddivisa la nuova sezione Y sono:

- la **classe Y02** che copre tutte le tecnologie o le applicazioni che hanno l'obiettivo di mitigare il cambiamento climatico;
- la **classe Y04** dedicata alle reti intelligenti e quindi ingloba tutte le tecnologie di natura informativa che hanno un impatto green su altre aree tecnologiche.

Gruppo	Titolo	Descrizione
Y02A	Adattamento ai cambiamenti climatici	
Y02B	Tecnologie di mitigazione del cambiamento climatico relative agli edifici, inclusi alloggi e elettrodomestici o relative applicazioni per l'utente finale	Integrazione di energie rinnovabili negli edifici, illuminazione, riscaldamento, ventilazione e condizionamento, elettrodomestici, ascensori e scale mobili, elementi costruttivi o architettonici, ICT, gestione dell'energia
Y02C	Cattura, stoccaggio, sequestro o smaltimento di gas a effetto serra	Cattura e stoccaggio della CO ₂ , anche di altri gas serra rilevanti
Y02D	ICT che mira alla riduzione del proprio consumo energetico	
Y02E	Tecnologie di mitigazione del cambiamento climatico nella generazione, trasmissione e distribuzione di energia	Energia rinnovabile, combustione efficiente, energia nucleare, biocarburanti, trasmissione e distribuzione efficienti, stoccaggio dell'energia, tecnologia dell'idrogeno
Y02P	Tecnologie di mitigazione del cambiamento climatico nella produzione o lavorazione di merci	Lavorazione dei metalli, industria chimica / petrolchimica, lavorazione dei minerali (es. Cemento, calce, vetro), industrie agroalimentari
Y02T	Tecnologie di mitigazione dei cambiamenti climatici legate ai trasporti	Mobilità elettrica, auto ibride, motori a combustione interna efficienti, tecnologie efficienti nelle ferrovie e nel trasporto aereo e fluviale
Y02W	Tecnologie di mitigazione del cambiamento climatico relative al trattamento delle acque reflue o alla gestione dei rifiuti	Trattamento acque reflue, gestione rifiuti solidi, imballaggi bio
Y04S	Tecnologie per reti intelligenti (smart grid)	Funzionamento delle reti elettriche, gestione delle applicazioni degli utenti finali, smart metering, elettrico e ibrido

Tabella 3. Classificazione Y02-Y04S. Fonte: EPO (2016)

Nelle analisi successive, si adotterà la metodologia CCMTs per identificare i brevetti verdi.

3.2 Struttura del dataset

Il dataset utilizzato in questo lavoro di tesi è stato ottenuto partendo dal database statistico mondiale dei brevetti EPO/OCSE (PATSTAT). Nel dettaglio il database “applications” comprende tutte le domande di brevetto comprese dal 1978 al 2021 provenienti da tutto il

mondo. Il numero totale di brevetti totali è pari a 3.848.243 di cui sono stati concessi circa il 53%. Per rendere i dati statisticamente più consistenti questo dataset è stato intersecato con quello relativo alle rivendicazioni. In letteratura, il numero di rivendicazioni di un brevetto è utilizzato come misura della qualità dell'innovazione. Tong e Frame (1994) dimostrano che il conteggio ponderato delle rivendicazioni di un brevetto è più rappresentativo degli investimenti in ricerca e sviluppo rispetto al semplice conteggio dei brevetti. Inoltre, l'importanza di un'innovazione può essere definita anche dal numero di rivendicazioni, in quanto viene delimitata da un'area più ampia dello spazio tecnologico (Lanjouw and Schankerman 1999). Osservando il dataset risulta che ogni brevetto possiede in media circa 9 rivendicazioni.

Dal momento che il seguente studio si concentra sull'analisi dei brevetti green il database è stato intersecato con quello dei settori e della classificazione CCMT. Con riferimento ai settori sono state generate delle dummy per ognuno dei 35 campi tecnologici indentificati dal WIPO (Appendice A). L'impiego di questa classificazione consente di confrontare in modo semplice tutti i brevetti green e non green, concentrandosi su macro aree che sono più dettagliate rispetto alle 8 sezioni dell'IPC ma meno rispetto alle relative sottoclassi.

Per indagare sulla diffusione della conoscenza è opportuno osservare le citazioni. Tuttavia, effettuare un confronto tra citazioni di brevetti depositati in archi temporali differenti potrebbe portare ad una distorsione dei risultati. Pertanto, sono state generate tre variabili che indicano il numero di citazioni in avanti sia in tutti gli anni sia entro 5 e 3 anni dall'anno di deposito.

Infine, sono stati realizzati due indicatori per la qualità dell'innovazione: l'originalità e la generalità. Sono due indicatori introdotti da Trajtenberg et al. (1997) che si basano sull'indice di concentrazione di Herfindahl. L'originalità si calcola utilizzando le citazioni a ritroso e permette di definire se un'invenzione si basa su campi tecnologici molto o poco diversificati. L'indice di generalità, invece, utilizza le citazioni in avanti per definire se la conoscenza futura generata da un brevetto ha un impatto su una varietà di dimensioni tecnologiche o meno.

3.2.1 Periodo di tempo

Quando si analizzano le citazioni dei brevetti, è essenziale considerare che i brevetti più vecchi hanno maggiori possibilità di essere citati più volte rispetto a quelli più recenti.

Pertanto, per confrontare i brevetti in modo equo bisogna assegnare ad ogni brevetto uno stesso peso. Esistono diverse metodologie di normalizzazione che possiedono specifici vantaggi e svantaggi. Di seguito sono descritti tre degli approcci più utilizzati.

- **Utilizzare una finestra di citazione di un numero definito di anni** – ipotizzando una finestra temporale di 5 anni, nel conteggio del numero di citazioni si terranno in considerazione tutte le citazioni avvenute entro i primi 5 anni dall'anno di applicazione. Di conseguenza, ogni brevetto ha le stesse possibilità di essere citato e si evita il pericolo di sovrastimare i risultati a causa dei brevetti più vecchi che hanno un periodo più lungo per essere citati. Per contro, con il passare del tempo il numero di brevetti aumenta e con esso cresce il numero totale di citazioni. Di conseguenza, si potrebbe generare una sorta di “inflazione” citazionale che comporterebbe una riduzione della significatività delle citazioni successive. Quindi, se si considerano due brevetti depositati in anni differenti – ad esempio a distanza di 10 anni tra loro – e si effettua un confronto delle citazioni entro 5 anni dalla loro applicazione non è possibile affermare con certezza che siano comparabili (Hall et al. 2001).
- **Normalizzare in base all'età del brevetto** – il rapporto *numero di citazioni/età del brevetto* permette di ottenere una valutazione più equa della rilevanza del brevetto. Tuttavia, si ipotizza che le citazioni seguano un andamento lineare nel tempo, il che non è sempre vero.
- **Utilizzare la forma della distribuzione complessiva del ritardo delle citazioni** – ovvero la frazione di vita delle citazioni che vengono ricevute in ogni anno successivo alla concessione del brevetto. Data questa distribuzione, è possibile stimare il numero totale di citazioni di un brevetto, dividendo le citazioni osservate per la frazione di tale distribuzione che cade nell'intervallo di tempo in cui sono state osservate le citazioni (Hall et al. 2005). Se si osservano gli anni di citazioni che avvengono tra i 3 e i 10 anni dopo la concessione la stima risultante sarà relativamente accurata. Tuttavia, per i brevetti più recenti, le stime saranno meno precise. Ad esempio, se un brevetto non riceve citazioni nei primi anni, la stima del numero di citazioni nella sua vita sarà zero, nonostante potrebbe essere citato in futuro.

Seguendo gli studi precedenti su questo tema, come quello di Dechezleprêtre et al. (2013), il metodo utilizzato in questo lavoro di tesi è il primo illustrato considerando una finestra di

5 e 3 anni.

3.2.2 Originalità

L'indice di originalità indica l'ampiezza della conoscenza tecnologica sintetizzata in un'invenzione, e quindi quanto un brevetto si basa su invenzioni precedenti appartenenti a campi tecnologici differenti (Elona Marku 2018). Quindi, il grado di originalità di un brevetto, che si basa su invenzioni precedenti, sarà tanto più elevato tanto più variegati e numerosi sono i domini tecnologici di tali innovazioni. L'indice di originalità sfrutta le informazioni sulle citazioni a ritroso e si calcola nel seguente modo:

$$Originalità_i = 1 - \sum_j^{n_i} s_{ij}^2 \quad (1)$$

dove s_{ij} indica la percentuale di citazioni a ritroso del brevetto i che appartiene al codice di classificazione j , delle n_i classi tecnologiche del brevetto. L'indice avrà un valore che varia da 0 a 1. Di conseguenza, livelli elevati indicano che il brevetto è il risultato della combinazione di un'ampia varietà di classi tecnologiche diverse e quindi sarà più originale.

3.2.3 Generalità

L'indicatore di generalità valuta la capacità di un'invenzione di essere utilizzata in diversi settori tecnologici; pertanto, rappresenta un modo di misurare i potenziali progressi tecnologici che potrebbero derivare da un brevetto. Un'invenzione si dice generale se i brevetti che la citano appartengono a molti campi tecnologici diversi. L'indice di generalità utilizza le citazioni in avanti e si calcola nel seguente modo:

$$Generalità_i = 1 - \sum_j^{n_i} t_{ij}^2 \quad (2)$$

dove t_{ij} indica la percentuale di citazioni in avanti del brevetto i che appartiene al codice di classificazione j , delle n_i classi tecnologiche dei brevetti. L'indicatore varia da 0 a 1. Se un brevetto ha originalità pari a 1 le sue citazioni successive saranno molto diversificate tra le classi tecnologiche. Mentre più l'indice si avvicina a 0 più le citazioni che un brevetto riceverà convergeranno verso un unico dominio tecnologico.

3.3 Variabili del modello

Per l'analisi del dataset e la definizione del modello si è reso necessario, prima di tutto, stabilire le variabili di riferimento. Le tabelle sottostanti raggruppano tutte le variabili

oggetto dei modelli di regressione specificando per ognuna di esse il nome e il codice identificativo in parentesi, la descrizione, il numero di osservazione del campione, la media, la deviazione standard, il minimo e il massimo valore. Inoltre, sono rappresentate 3 tabelle ognuna per tipologia di variabile: variabile dipendente, variabile indipendente e variabile di controllo.

Variabile	Descrizione	Oss.	Media	Dev. Std.	Min	Max
Citazioni in avanti (frwd_cttn_all_nb)	<i>Conteggio di tutte le citazioni in avanti di un brevetto</i>	3.848.243	0,79	3,24	0	1.414
Citazioni in avanti entro 5 anni (frwd_cttn_five_nb)	<i>Conteggio di tutte le citazioni in avanti entro 5 anni dalla domanda di brevetto</i>	3.848.243	0,43	1,08	0	111
Citazioni in avanti entro 3 anni (frwd_cttn_three_nb)	<i>Conteggio di tutte le citazioni in avanti entro 3 anni dalla domanda di brevetto</i>	3.848.243	0,19	0,72	0	93
Generalità (gnrlt_nb)	<i>Indice di generalità</i>	1.072.279	0,42	0,31	0,00	0,97

Tabella 4. Variabili dipendenti

Variabile	Descrizione	Oss.	Media	Dev. Std.	Min	Max
Green (green_dm)	<i>Variabile dummy pari a 1 se il brevetto è verde e 0 altrimenti</i>	3.848.243	0,08	0,27	0	1

Tabella 5. Variabile indipendente

Variabile	Descrizione	Oss.	Media	Dev. Std.	Min	Max
Numero dei richiedenti (apct_nb)	<i>Numero di individui che depositano il brevetto</i>	3.848.243	1,08	0,36	0	62
Co-assegnato (apct_dm)	<i>Variabile dummy pari a 1 se più individui richiedono i diritti del brevetto e 0 altrimenti</i>	3.848.243	0,06	0,24	0	1
Numero di inventori (invnt_nb)	<i>Numero di individui che partecipano alla realizzazione dell'invenzione</i>	3.848.243	2,66	1,94	0,00	133
Numero di rivendicazioni (clms_nb)	<i>Numero di rivendicazioni di un brevetto</i>	3.848.243	9,66	8,59	0	520
Numero di settori (sctr_nb)	<i>Numero di settori WIPO assegnati ad un brevetto</i>	3.848.243	1,37	0,58	1	7
Numero di paesi (ctry_nb)	<i>Numero di paesi a cui appartengono i richiedenti di un brevetto</i>	3.848.243	5,52	4,11	1	58
Concessione (grnt_dm)	<i>Variabile dummy pari a 1 se il brevetto è stato concesso e 0 se è pendente</i>	3.848.243	0,53	0,50	0	1
Citazioni a ritroso (bkwd_cttn_nb)	<i>Numero di citazioni a ritroso di un brevetto</i>	3.848.243	0,79	1,37	0	215
Ritardo delle citazioni a ritroso (avg_bkwd_cttn_lg)	<i>Ritardo medio delle citazioni a ritroso</i>					
Originalità (orglt_nb)	<i>Indice di originalità</i>	1.744.302	0,43	0,31	0	0,98

Tabella 6. Variabili di controllo

Infine, per confermare l'accurata identificazione delle variabili, si è condotto un esame delle loro relazioni utilizzando una matrice di correlazione. Dalla tabella 7 risulta che il rapporto tra le variabili indipendenti è caratterizzato da una bassa correlazione. Pertanto, tali variabili possono essere impiegate per eseguire l'analisi di regressione. La dummy co-assegnata è l'unica variabile che mostra un'alta correlazione, pari a 0,88. Tuttavia, non dovrebbe destare preoccupazione in quanto questo risultato è relazionato al numero di richiedenti da cui la dummy è derivata.

	Climate change technology dummy	Number of applicants	Co-assigned patent dummy	Number of inventors	Number of claims	Number of sections	Number of family countries	Grant dummy	Count of backward citations
Green dummy	1.000								
Numero di richiedenti	0.0185	1.000							
Co-assegnato	0.0178	0.8805	1.000						
Numero di inventori	0.0439	0.1214	0.1192	1.000					
Numero di rivendicazioni	0.0007	-0.0033	-0.0048	0.0811	1.000				
Numero di settori	0.0492	0.0218	0.0242	0.0775	0.0440	1.000			
Numero di paesi	-0.0143	0.0129	0.0164	0.1272	0.0827	0.1320	1.000		
	-0.0026	0.0021	0.0037	0.0332	-0.1452	0.0203	0.2217	1.000	
Count of backward citations	-0.0023	-0.0065	-0.0048	0.0780	0.0491	0.0311	0.0725	0.0213	1.000
Originality index	0.0332	0.0157	0.0175	0.0847	0.0571	0.2647	0.1097	-0.0151	0.2542

Tabella 7. Matrice di correlazione tra le variabili indipendenti

3.4 Metodologia

Per indagare le differenze tra le invenzioni green e non green è stato stimato il seguente modello facendo riferimento al lavoro di Dechezleprêtre et al. (2013).

$$Y_i = \exp(\beta Green_i + \gamma X_i + \delta_1 Year_i + \delta_2 Sector_i + \epsilon_i) \quad (3)$$

Dove Y_i è la variabile dipendente, ovvero il numero di citazioni ricevute (in tutti gli anni o entro 5-3 anni dall'anno di deposito del brevetto) o la generalità del brevetto i . $Green_i$ è la variabile d'interesse ed è una dummy che vale 1 se il brevetto i appartiene almeno ad una classe CCMTs. Il coefficiente di interesse medio, β , rappresenta la differenza tra il numero di citazioni ricevute tra i brevetti green e non green, a parità di tutte le altre condizioni. X_{ij} sono le variabili di controllo descritte in tabella 6. Inizialmente si effettua un controllo sul numero di richiedenti in quanto potrebbe influenzare la base di conoscenza su cui può fare affidamento un brevetto (Staats et al. 2012) e, di conseguenza, se il brevetto è co-assegnato ma anche il numero di inventori, rivendicazioni, settori, paesi di appartenenza dei richiedenti e stato del brevetto (se è concesso o pendente). Inseguito, si utilizzano gli indicatori di brevetto che si basano su informazioni sulla conoscenza precedente e quindi il numero di citazioni a ritroso, ritardo citazionale a ritroso medio e l'originalità. Al modello si introducono anche due dummy:

- $Year_i$, che consente di confrontare i dati in base ai cambiamenti avvenuti lungo il tempo.
- $Sector_i$, che cattura le caratteristiche proprie dei vari domini tecnologici e permette di effettuare un confronto fra le innovazioni appartenenti ad uno stesso campo tecnologico (Barbieri et al. 2020).

Infine, ϵ_i è il termine di errore. Data la natura delle variabili dipendenti³, l'Equazione 3 è stimata utilizzando la regressione Binomiale Negativa.

Inoltre, per il settore dei trasporti si esamineranno i flussi di conoscenza in base alla distanza tecnologica. Pertanto, si considerano anche modelli con altre due variabili dipendenti. Si distinguono di seguito due tipi di spillover (Figura 8):

- i flussi di conoscenza intra-tecnologici sono misurati come il numero di citazioni future all'interno dello stesso dominio tecnologico;
- i flussi di conoscenza esterni sono misurati come il numero di citazioni future non relative a quella tecnologia.

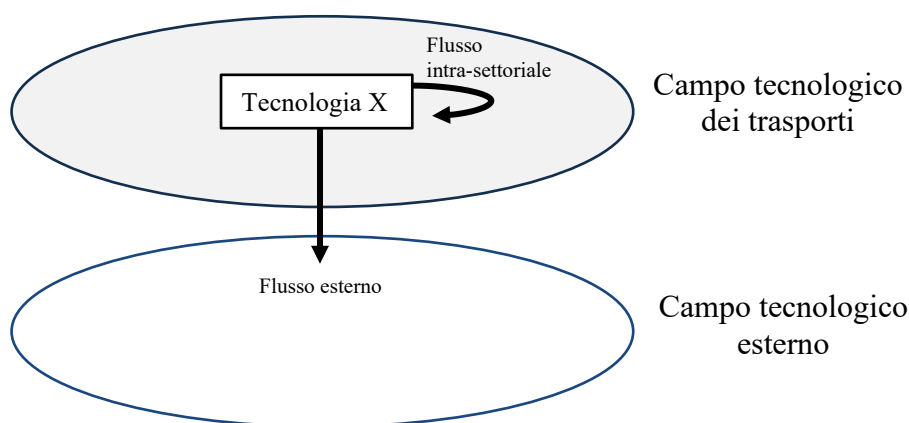


Figura 8. Espansione di conoscenza da un campo tecnologico dei trasporti.
Fonte: Noailly et al. (2017)

³ Si sarebbe potuta utilizzare la regressione di Poisson ma essa presuppone che la media e la varianza siano uguali. Effettuando le analisi opportune risulta che la varianza è maggiore della media e quindi si ha una sovra dispersione dei dati. Inoltre, si ipotizza che non abbia un eccessivo numero di zeri.

4 RISULTATI

In questa sezione saranno descritti i dati relativi ai brevetti green e non green. Inoltre, il numero di citazioni in avanti sarà stimato attraverso la regressione OLS e binomiale negativa per comprendere l'impatto degli spillover di conoscenza nei brevetti green.

4.1 Risultati descrittivi

Il set di dati che è stato costruito per le analisi comprende 3.848.243 brevetti insieme ai suoi rispettivi numeri di citazione. Come possibile vedere in tabella 8 la quota di brevetti green corrisponde all'8,30% del totale.

	Frequenza	Percentuale
Green	3.528.914	91,70
Non Green	319.329	8,30
Totale	3.848.243	100,00

Tabella 8. Numero di brevetti green e non green

Tuttavia, è importante tenere presente che i brevetti green sono relativamente più recenti. Analizzando la distribuzione dei brevetti nel corso degli anni, si può osservare che, nonostante i brevetti tradizionali sono prevalentemente più numerosi, i brevetti green mostrano un incremento basso ma costante fino agli anni 2000, seguito da una crescita più accelerata fino al 2018 (Figura 9). Negli anni 2019 e 2020 risulta una decrescita che coincide con il periodo di crisi causato dalla pandemia di coronavirus.

Un altro aspetto che può essere rilevante osservare in questa prima fase è quali sono i settori a cui corrispondono più brevetti e quali meno. In figura 10 si può notare come mentre nel caso green il settore che riceve più brevetti è quello dei macchinari elettrici e dell'energia, nel caso non green risultano essere quelli relativi alle tecnologie dei computer e medicali. Tuttavia, in entrambi i casi settori con meno brevetti sono quelli relativi alle micro e nano tecnologie. Per quanto riguarda il settore dei trasporti risultano avere un discreto numero di brevetti green ed un numero elevato delle loro controparti non green.

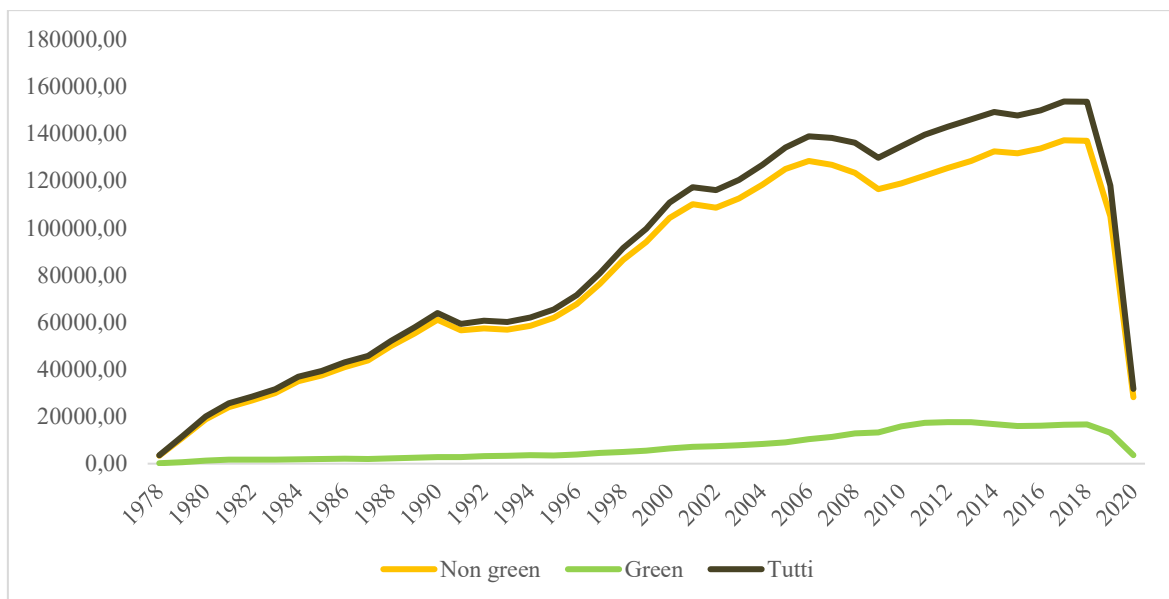


Figura 9. Distribuzione dei brevetti per singolo anno

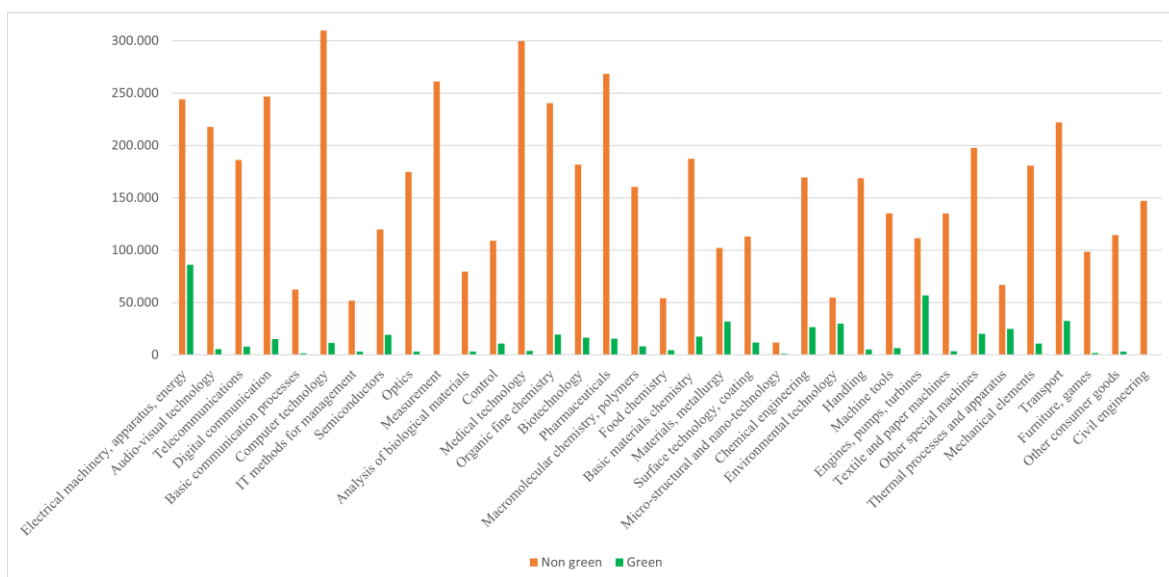


Figura 10. Distribuzione dei brevetti lungo i settori

Prima di effettuare le analisi sulle citazioni è interessante osservare come esse si differenziano tra i brevetti green e non green.

Come illustrato nella tabella 9⁴, i brevetti tradizionali in media ricevono più citazioni di quelli green, e la loro differenza equivale a 0,025 citazioni che risulta essere un risultato statisticamente significativo. Tuttavia, come già affermato prima, essendo i brevetti green relativamente nuovi, avranno meno tempo per essere citati. Per questo motivo, guardiamo anche le citazioni entro i 5 anni e i 3 anni. È possibile notare come in entrambi i casi il numero di citazioni dei brevetti green è maggiore. Inoltre, sia le citazioni entro i 5 anni che

⁴ I risultati ottenuti risultano essere molto bassi in quanto circa il 70% dei brevetti non riceve citazioni e la percentuale aumenta nel caso di citazioni entro 5 e 3 anni.

quelle entro i 3 anni riportano differenze statisticamente significative. Questi risultati dimostrano che, sebbene le citazioni tradizionali ricevano più citazioni sul lungo periodo, nel breve periodo quelle green ne ricevono di più. Infatti, quest'ultime hanno un lag medio più basso circa pari a 6,6 anni rispetto a 7,4 anni dei brevetti non green.

	Green	Non green	Diff.
Citazioni ricevute	0.7696 (3.71)	0.7947 (3.194)	-0.025*** [0.007]
Citazioni ricevute entro 5 anni	0.3559 (1.124)	0.3420 (1.073)	0.014*** [0.002]
Citazioni ricevute entro 3 anni	0.1982 (0.725)	0.1944 (0.714)	0.004*** [0.001]
Generalità	0.4532 (0.304)	0.4208 (0.310)	0.032*** [0.001]

Note: Le prime due colonne riportano i valori medi e le variazioni standard in parentesi. L'ultima colonna fa riferimento al test t per le differenze delle medie indicando l'errore standard in parentesi. ***indica un valore di significatività pari al 5%

Tabella 9. Numero medio delle citazioni ricevute

Un altro dato rilevante è la generalità, e quindi se le citazioni future dei brevetti sono sparse in diversi ambiti tecnologici. Dall'analisi illustrata in tabella 9 risulta che i brevetti green sono significativamente più generali rispetto a quelli non green.

Importante è anche notare come le differenze tra green e non green possono variare in base al settore. Infatti, se si considerano tutte le citazioni i brevetti di alcuni settori – tra cui quello delle biotecnologie, farmaceutico e delle nanotecnologie – presentano una differenza significativa a favore dei brevetti green. Allo stesso modo non è vero che considerando le citazioni entro i 5 o 3 anni i brevetti tradizionali di tutti i settori ricevono meno citazioni come si può notare dal settore delle telecomunicazioni, delle tecnologie medicali e dei semiconduttori (Appendice B).

4.2 Risultati delle analisi econometriche

La tabella 10 riporta i risultati del modello di regressione lineare inerente al conteggio delle citazioni entro 5 anni (i risultati inerenti anche alle altre variabili dipendenti sono riportati in Appendice A). Osservando le statistiche relative alla bontà del modello il valore R^2 mostra che viene spiegata circa il 6% della variabilità del numero di citazioni. I risultati mostrano come, a parità delle caratteristiche dei brevetti, le invenzioni green aumentano di circa il 7% il numero medio di citazioni rispetto a quelle inquinanti. Questo va a contrasto con le affermazioni riportate sopra con l'analisi del t-test e risulta statisticamente significativo.

Osservando la colonna 1 si può notare come i brevetti che derivano dalla ricerca cooperativa ottengono meno citazioni e quindi risulterebbero essere brevetti qualitativamente inferiori. Inoltre, osservando la colonna 7 si nota come l'effetto dei brevetti co-assegnati è irrilevante quando si confrontano solo le innovazioni green. Tuttavia, se si considerano tutte le citazioni, è possibile osservare che nel green si genera un impatto ancora più negativo (tabella in Appendice C).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Green	0.071*** (0.002)	0.068*** (0.002)	0.069*** (0.003)	0.079*** (0.003)	0.079*** (0.003)	0.073*** (0.004)	0.074*** (0.004)	0.062*** (0.004)	0.074*** (0.006)	0.086*** (0.009)
Green # Coassigned							-0.009 (0.013)			
Green # Granted								0.021*** (0.007)		
Green # Number of inventors									-0.000 (0.002)	
Green # Number of sections										-0.009 (0.006)
Coassigned	-0.044*** (0.002)	-0.037*** (0.002)	-0.037*** (0.004)	-0.044*** (0.004)	-0.044*** (0.004)	-0.030*** (0.004)	-0.029*** (0.004)	-0.030*** (0.004)	-0.030*** (0.004)	-0.030*** (0.004)
Number of claims	0.013*** (0.000)	0.012*** (0.000)	0.014*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)
Number of inventors	0.019*** (0.000)	0.017*** (0.000)	0.023*** (0.001)	0.023*** (0.001)	0.025*** (0.001)	0.023*** (0.001)	0.023*** (0.001)	0.023*** (0.001)	0.023*** (0.001)	0.023*** (0.001)
Number of sections	0.021*** (0.001)	0.019*** (0.001)	0.026*** (0.002)	0.019*** (0.002)	0.024*** (0.002)	0.020*** (0.003)	0.020*** (0.003)	0.020*** (0.003)	0.020*** (0.003)	0.021*** (0.003)
Count of backward citations		0.069*** (0.002)	0.049*** (0.002)	0.043*** (0.002)	0.044*** (0.002)	0.044*** (0.002)	0.044*** (0.002)	0.044*** (0.002)	0.044*** (0.002)	0.044*** (0.002)
Average backward citation lag			-0.013*** (0.000)							
Originality index				0.049*** (0.004)	0.057*** (0.004)	0.049*** (0.004)	0.049*** (0.004)	0.049*** (0.004)	0.049*** (0.004)	0.049*** (0.004)
Number of family countries					-0.008*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)
Granted	0.075*** (0.001)	0.065*** (0.001)	0.085*** (0.002)	0.085*** (0.002)	0.096*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.096*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.098*** (0.002)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	3846019	3846019	1743863	1743683	1743682	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677
R-squared	0.053	0.061	0.068	0.065	0.065	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069
Adjusted R-squared	0.053	0.061	0.068	0.065	0.065	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,001). La variabile dipendente è il numero totale di citazioni ricevute entro 5 anni dalla pubblicazione.

Tabella 10. Regressione OLS per le citazioni entro 5 anni

Se si osservano il numero di inventori e il numero di settori si può notare che entrambi riportano un valore positivo e statisticamente significativo. Pertanto, i brevetti con più innovatori tendono ad essere più complessi. L'idea di fondo è che le tecnologie che coinvolgono una quantità maggiore di risorse tendono ad essere più complesse e ad avere un impatto significativo nel futuro. Tuttavia, se si guarda al sottoinsieme dei brevetti green si può notare che sia il numero di inventori che il numero di settori non hanno un impatto significativo sulle citazioni (colonna 9 e 10).

Inoltre, si può notare come il numero di rivendicazioni presenta un valore positivo e statisticamente significativo. Di conseguenza, a parità di altre condizioni, i brevetti con più rivendicazioni risultano essere qualitativamente migliori. In colonna 2 si è indagato anche sulle citazioni a ritroso che rappresentano un altro indicatore della qualità. Di conseguenza, si osserva che i brevetti che citano innovazioni precedenti ricevono più citazioni. Tuttavia, si può notare che quanto più recenti sono i brevetti citati, tanto maggiori sono le citazioni ottenute. Questo potrebbe essere spiegato dal fatto che i brevetti più recenti tendono ad essere più rilevanti o sintonia con le attuali esigenze del mercato, beneficiando così di un rapido processo di apprendimento. Inoltre, osservando la colonna 4 è possibile affermare l'esistenza di una relazione positiva tra l'originalità del brevetto e il numero di citazioni. Questo conferma quanto dimostrato da Barbieri et al. (2020) in base al quale le innovazioni green derivano da campi di conoscenza più diversificati.

L'effetto maggiore si ottiene quando, oltre ad aggiungere tutte le misure di qualità, si considerano le dummy dei settori. Si osserva, quindi, che la variabile green subisce una riduzione ma rimane positiva e significativa.

In questo caso è stata utilizzata una regressione OLS per il conteggio delle citazioni in avanti. Tuttavia, considerando il fatto che la variabile dipendente mostra una distribuzione dei dati molto dispersa ed eteroschedastica, per ottenere stime più accurate, le analisi sono state condotte anche utilizzando la regressione binomiale negativa. In tabella 11 si può notare come avere un brevetto green fa variare di circa 0,2 unità il logaritmo del numero di citazioni. Confrontando questi risultati con quelli presenti in tabella 10 si osserva un coefficiente Green maggiore, sempre positivo e significativo. Di conseguenza la regressione binomiale negativa mostra una maggiore capacità di adattamento al modello rispetto alla regressione lineare (OLS).

Osservando la colonna 1, come affermato con i risultati precedenti (Tabella 10), i brevetti co-assegnati a parità di altre condizioni generano un effetto negativo sulle citazioni dei brevetti e questo è ancor più valido se si fa riferimento ai brevetti green. Inoltre, si è indagato sulla complessità delle invenzioni attraverso il numero di inventori. I risultati risultano in linea con gli studi di Breitzman e Thomas (2015) che dimostrano una relazione positiva significativa tra il numero di inventori e le citazioni future.

Successivamente, l'attenzione è stata rivolta agli indicatori che misurano la qualità.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Green	0.277*** (0.006)	0.278*** (0.006)	0.214*** (0.008)	0.245*** (0.008)	0.239*** (0.008)	0.194*** (0.008)	0.194*** (0.008)	0.193*** (0.013)	0.179*** (0.014)	0.263*** (0.019)	0.289*** (0.013)	0.265*** (0.014)
Green # Coassigned							-0.001 (0.030)					
Green # Granted								0.001 (0.016)				
Green # Number of inventors									0.005 (0.004)			
Green # Number of sections										-0.047*** (0.012)		
Clean # Count of backward citations											-0.052*** (0.005)	
Clean # Originality index												-0.153*** (0.025)
Coassigned	-0.146*** (0.007)	-0.127*** (0.007)	-0.096*** (0.009)	-0.111*** (0.009)	-0.112*** (0.009)	-0.082*** (0.009)	-0.082*** (0.010)	-0.082*** (0.009)	-0.082*** (0.009)	-0.082*** (0.009)	-0.082*** (0.009)	-0.083*** (0.009)
Number of claims	0.045*** (0.000)	0.043*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.037*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.038*** (0.000)
Number of inventors	0.039*** (0.001)	0.031*** (0.001)	0.032*** (0.001)	0.034*** (0.001)	0.043*** (0.001)	0.040*** (0.001)	0.040*** (0.001)	0.040*** (0.001)	0.040*** (0.001)	0.040*** (0.001)	0.040*** (0.001)	0.040*** (0.001)
Number of sections	0.028*** (0.003)	0.017*** (0.003)	0.029*** (0.003)	0.022*** (0.004)	0.040*** (0.004)	0.036*** (0.006)	0.036*** (0.006)	0.036*** (0.006)	0.036*** (0.006)	0.041*** (0.006)	0.036*** (0.006)	0.036*** (0.006)
Count of backward citations		0.195*** (0.001)	0.118*** (0.002)	0.108*** (0.002)	0.112*** (0.002)	0.110*** (0.002)	0.110*** (0.002)	0.110*** (0.002)	0.110*** (0.002)	0.110*** (0.002)	0.115*** (0.002)	0.110*** (0.002)
Average backward citation lag			-0.046*** (0.001)									
Originality index				0.052*** (0.007)	0.079*** (0.007)	0.071*** (0.007)	0.071*** (0.007)	0.071*** (0.007)	0.071*** (0.007)	0.071*** (0.007)	0.071*** (0.007)	0.084*** (0.008)
Number of family countries					-0.029*** (0.001)	-0.024*** (0.001)	-0.024*** (0.001)	-0.024*** (0.001)	-0.024*** (0.001)	-0.024*** (0.001)	-0.024*** (0.001)	-0.024*** (0.001)
Granted	0.361*** (0.003)	0.326*** (0.003)	0.304*** (0.004)	0.307*** (0.004)	0.353*** (0.004)	0.339*** (0.005)	0.339*** (0.005)	0.339*** (0.005)	0.339*** (0.005)	0.339*** (0.005)	0.339*** (0.005)	0.340*** (0.005)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Alfa	1.313*** (0.003)	1.266*** (0.003)	1.091*** (0.004)	1.128*** (0.004)	1.120*** (0.004)	1.101*** (0.004)	1.101*** (0.004)	1.101*** (0.004)	1.101*** (0.004)	1.101*** (0.004)	1.101*** (0.004)	1.101*** (0.004)
Observations	3846019	3846019	1743863	1743863	1743863	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677
Pseudo R-squared	0.059	0.065	0.060	0.056	0.057	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
Log-likelihood	-2534300.940	-2518130.213	-1383403.844	-1390230.077	-1388087.627	-1384486.698	-1384486.697	-1384486.693	-1384485.577	-1384476.353	-1384431.392	-1384462.529

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,001). La variabile dipendente è il numero totale di citazioni ricevute entro 5 anni dalla data di deposito.

Tabella 11. Regressione Binomiale Negativa

Il numero di rivendicazioni presenta coefficienti positivi e significativi. Pertanto, i brevetti con tante rivendicazioni sono più complessi generando un impatto maggiore sulla diffusione della conoscenza. Un altro fattore rilevante è il numero di settori. Si può osservare che i brevetti con un ambito di applicazioni più ampio sono correlati positivamente con il numero di citazioni future, dimostrando di essere un buon indicatore della qualità del brevetto. Tuttavia, dalla colonna 10 emerge che i brevetti con un ambito di applicazione più ampio influiscono positivamente sulle citazioni ma questo impatto si riduce se i brevetti sono orientati verso tematiche green. Allo stesso modo, se si osserva il numero di citazioni indietro risulta essere positivo e significativo ma se i brevetti citati sono green generano un effetto negativo sulle citazioni (Colonna 11). Lo stesso effetto si può notare per l'originalità (colonna 4 e 12). Questo può essere attribuito al fatto che i brevetti green spesso ricombinano una vasta gamma di conoscenze eterogenee, rendendo la loro applicazione più complessa in altre tecnologie o settori.

Successivamente si è indagato sull'indice di generalità (Tabella 12). I risultati mostrano che i brevetti green sono significativamente più generali delle loro controparti inquinanti. L'effetto dei brevetti co-assegnati che genera un impatto negativo per le citazioni future

(Tabella 11) diventa positivo quando la variabile dipendente è l'indice di generalità. Tuttavia, se i brevetti co-assegnati sono orientati verso tecnologie green influiscono negativamente sulle citazioni.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Green	0.082*** (0.002)	0.082*** (0.002)	0.082*** (0.003)	0.066*** (0.003)	0.067*** (0.003)	0.055*** (0.003)	0.057*** (0.003)	0.058*** (0.006)	0.080*** (0.006)	0.130*** (0.008)	0.075*** (0.006)	0.118*** (0.008)
Green # Coassigned							-0.025** (0.011)					
Green # Granted								-0.005 (0.006)				
Green # Number of inventors									-0.008*** (0.001)			
Green # Number of sections										-0.047*** (0.004)		
Clean # Count of backward citations											-0.010*** (0.002)	
Clean # Originality index												-0.118*** (0.012)
Coassigned	0.018*** (0.003)	0.020*** (0.003)	0.020*** (0.004)	0.014*** (0.004)	0.015*** (0.004)	0.016*** (0.004)	0.019*** (0.004)	0.016*** (0.004)	0.016*** (0.004)	0.016*** (0.004)	0.016*** (0.004)	0.016*** (0.004)
Number of claims	0.003*** (0.000)	0.003*** (0.000)	0.003*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)
Number of inventors	0.026*** (0.001)	0.025*** (0.001)	0.024*** (0.000)	0.019*** (0.000)	0.018*** (0.000)	0.011*** (0.000)	0.011*** (0.000)	0.011*** (0.000)	0.012*** (0.000)	0.011*** (0.000)	0.011*** (0.000)	0.011*** (0.000)
Number of sections	0.257*** (0.001)	0.256*** (0.001)	0.253*** (0.001)	0.171*** (0.001)	0.169*** (0.001)	0.091*** (0.002)	0.091*** (0.002)	0.091*** (0.002)	0.091*** (0.002)	0.095*** (0.002)	0.091*** (0.002)	0.091*** (0.002)
Count of backward citations		0.022*** (0.000)	0.020*** (0.001)	-0.016*** (0.001)	-0.017*** (0.001)	-0.018*** (0.001)	-0.018*** (0.001)	-0.018*** (0.001)	-0.018*** (0.001)	-0.018*** (0.001)	-0.017*** (0.001)	-0.018*** (0.001)
Average backward citation lag			-0.002*** (0.000)									
Originality index				0.711*** (0.004)	0.708*** (0.004)	0.606*** (0.004)	0.606*** (0.004)	0.606*** (0.004)	0.606*** (0.004)	0.605*** (0.004)	0.606*** (0.004)	0.616*** (0.004)
Number of family countries					0.003*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)
Granted	-0.009*** (0.001)	-0.012*** (0.001)	-0.015*** (0.002)	-0.005*** (0.002)	-0.012*** (0.002)	-0.003 (0.002)	-0.003 (0.002)	-0.002 (0.002)	-0.003 (0.002)	-0.003 (0.002)	-0.003 (0.002)	-0.003 (0.002)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Alfa	-40.978 (.)	-40.978 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)	-21.101 (.)
Observations	1072069	1072069	580735	580735	580735	580735	580735	580735	580735	580735	580735	580735
Pseudo R-squared	0.014	0.014	0.015	0.026	0.026	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
Log-likelihood	-758646.390	-758437.966	-414853.830	-410093.738	-410073.136	-408405.593	-408405.197	-408405.550	-408402.908	-408395.414	-408403.739	-408395.159

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,001). La variabile dipendente è l'indice di generalità

Tabella 12. indice di generalità

I risultati presenti in tabella 11 permettono di rispondere alla prima domanda di ricerca (“qual è l’impatto delle tecnologie green sulle invenzioni future rispetto quelle non green?”). Si scopre che i brevetti green hanno un effetto positivo e significativo sulle tecnologie future. Infatti, i brevetti green ricevono più citazioni rispetto a quelli non green, il che implica che hanno una maggiore probabilità di diffondere conoscenze per le future invenzioni. Questo modello converge con quello suggerito da Dechezleprêtre et al. (2013).

4.2.1. Direzione della conoscenza nel settore dei trasporti

Per rispondere alla seconda domanda di ricerca (“dove confluiscono gli spillover di conoscenza generati dalle tecnologie provenienti dal settore dei trasporti?”) in tabella 13 sono state considerate le citazioni nel settore dei trasporti confrontando quelle intra-tecnologiche con quelle esterne.

	Citazioni in avanti (5 anni)		
	(1) Citazioni totali	(2) Citazioni intra-tecnologiche	(3) Citazioni tecnologie esterne
Green	0.277*** (0.006)	0.230*** (0.019)	0.260*** (0.017)
Coassigned	-0.146*** (0.007)	-0.139*** (0.024)	-0.129*** (0.022)
Number of claims	0.045*** (0.000)	0.032*** (0.001)	0.034*** (0.001)
Number of inventors	0.039*** (0.001)	0.047*** (0.004)	0.052*** (0.003)
Number of sections	0.028*** (0.003)	-0.173*** (0.009)	0.102*** (0.008)
Granted	0.361*** (0.003)	0.439*** (0.013)	0.392*** (0.012)
Years dummy	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	Yes	No	No
Alfa	1.313*** (0.003)	1.209*** (0.011)	1.083*** (0.010)
Observations	3.846.019	254.426	254.426
Pseudo R-squared	0.059	0.045	0.047
Log-likelihood	-2534300.940	-159005.861	-182318.390

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,001).

Tabella 13. Spillover intra-tecnologici ed esterni nel settore dei trasporti

Dai risultati risulta che le innovazioni green nei trasporti sono più citate all'interno di domini tecnologici esterni (colonna 3). Questo indica che tali innovazioni trovano un'applicazione più ampia rispetto alle loro controparti non green. Tuttavia, le tecnologie nei trasporti green risultano anch'esse significativamente più citate all'interno dello stesso campo tecnologico. Inoltre, come nel caso generale i brevetti co-assegnati, a parità di altre condizioni, generano effetti significativi e negativi. Pertanto, la probabilità di ricevere una citazione intra-settoriale (o esterna) diminuisce se i brevetti derivano da ricerche cooperative. Al contrario il numero di rivendicazioni e di inventori generano un effetto significativamente positivo sulle citazioni dei trasporti. Risulta interessante come nelle tecnologie intra-settoriali il numero di settori assegnati ad un brevetto ha un impatto significativo ma negativo rispetto alle tecnologie esterne (colonna 2). Di conseguenza la probabilità di ricevere una citazione da brevetti provenienti dal settore dei trasporti diminuisce quando il brevetto citato è associato ad un numero crescente di settori. Al contrario, un crescente numero di domini tecnologici associati ad un brevetto incrementa la sua probabilità di ricevere una citazione in tecnologie esterne al medesimo settore.

Si può, quindi, affermare che le tecnologie nel campo dei trasporti hanno un ampio ambito di applicazione ma la combinazione di più domini tecnologici diversi comporta un impatto negativo per le tecnologie successive all'interno dello stesso dominio tecnologico.

4.3 Limitazioni

Questo studio presenta diverse limitazioni. Innanzitutto, a causa di problemi di disponibilità dei dati il dataset analizzato non esclude le autocitazioni. Le citazioni a brevetti appartenenti allo stesso assegnatario rappresentano trasferimenti di conoscenza per lo più interiorizzati, mentre le citazioni a brevetti di altri inventori sono più vicine alla pura nozione di spillover. Inoltre, le aziende possono includere autocitazioni per ragioni strategiche. Di conseguenza, la presenza delle autocitazioni potrebbe influenzare i risultati ottenuti, in particolare, sovrastimandoli. Tuttavia, effettuando un confronto tra i risultati ottenuti dalle analisi e quelli di altri studi (Dechezleprêtre et al. 2013, Barbieri et al. 2020) non mostra distorsioni significative.

Inoltre, questo elaborato esplora principalmente il settore dei trasporti in generale senza soffermarsi su un particolare campo tecnologico. Pertanto, le conclusioni tratte hanno una valenza a livello macro del settore. In particolare, si è vista la differenza tra le citazioni intra-tecnologiche ed esterne ma non descrive cosa accade se le tecnologie citano brevetti appartenenti a domini correlati.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si è concentrato sull'entità degli spillover di conoscenza provenienti dalle tecnologie green e non green soffermandosi sul settore dei trasporti. Per effettuare queste analisi sono stati utilizzati i dati sulle citazioni di oltre 3 milioni di brevetti depositati in Europa dal 1978 al 2021.

L'analisi empirica dimostra che le tecnologie green generano un impatto maggiore sulle innovazioni future rispetto alle loro controparti non green. I risultati, infatti, suggeriscono che le tecnologie green sono caratterizzate da un maggior numero di citazioni in avanti che coprono un ampio range diversificato di domini tecnologici. Pertanto, le innovazioni green, essendo più generali, offrono possibilità di progresso tecnologico in vari settori generando delle ricadute economiche e ambientali che si basano sulla sinergia tra diverse tecnologie all'interno dei diversi ambiti di applicazione (Barbieri et al. 2020).

Successivamente il focus è stato quello di studiare la direzione degli spillover di conoscenza nel settore dei trasporti confrontando le citazioni intra-tecnologiche con quelle esterne. I risultati mostrano che i brevetti green nel settore dei trasporti hanno una portata di applicazione maggiore rispetto alle loro controparti non green. Inoltre, sono rilevanti non solo all'interno del proprio dominio tecnologico ma anche in altri campi tecnologici. Le tecnologie nei trasporti risultano avere, quindi, un elevato impatto sulle innovazioni future generando spillover di conoscenza trasversali.

Questi risultati portano a delle implicazioni politiche. Il presente studio dimostra che le innovazioni ambientali sono un fattore chiave nell'influenzare i successivi sviluppi tecnologici. Questo rappresenta, quindi, una giustificazione valida per l'attuazione di sostegni alla ricerca e sviluppo nel settore ambientale e l'aumento delle sovvenzioni. Inoltre, i governi dovrebbero perseguire e potenziare le politiche adottate negli ultimi anni, come il Green Deal. Tuttavia, risulta più appropriato effettuare dei sostegni e delle politiche specifiche per determinati settori come nel caso dei trasporti come anche dimostrato da Aghion et al. (2012) per l'industria automobilistica.

Infine, la ricerca futura potrebbe studiare la diffusione spaziale della conoscenza delle tecnologie green e come si differenzia all'interno dei paesi dell'Unione Europea. Inoltre, una direzione interessante è quella di confrontare le citazioni intra-settoriali con quelle inter-

settoriali focalizzandosi su un settore in particolare come ad esempio quello automobilistico o dell'aviazione.

APPENDICE

APPENDICE A – Settori WIPO (Schmoch 2008)

	SETTORE	DESCRIZIONE
1	Electrical machinery, apparatus, energy	Il campo copre principalmente la parte non elettronica dell'ingegneria elettrica, ad esempio la generazione, conversione e distribuzione di energia elettrica, macchine elettriche ma anche elementi elettrici di base come resistori, magneti, condensatori, lampade o cavi.
2	Audio-visual technology	la tecnologia audiovisiva è in gran parte equivalente all'elettronica di consumo.
3	Telecommunications	le telecomunicazioni sono un campo molto vasto che copre una varietà di tecniche e prodotti. I codici IPC sono spesso piuttosto orientati alla tecnologia, per cui è difficile separare aree di prodotto/applicazioni rilevanti come la comunicazione mobile in un campo ben definito
4	Digital communication	Attualmente si tratta di una tecnologia autonoma al confine tra telecomunicazioni e informatica. Un'applicazione fondamentale di questa tecnologia è Internet.
5	Basic communication processes	Copre tecnologie di base come oscillazione, modulazione, circuiti risonanti, tecnica dell'impulso, codifica/decodifica. Queste tecniche sono utilizzate nelle telecomunicazioni, nell'informatica, nella misurazione, nel controllo.
6	Computer technology	L'area centrale è rappresentata dai processi elettronici digitali come le modalità di conversione dei dati e la composizione dei programmi di controllo
7	IT methods for management	Questo campo rappresenta il software per scopi come metodi di elaborazione dei dati, appositamente adattati per scopi amministrativi, commerciali, finanziari, gestionali, di vigilanza o di previsione
8	Semiconductors	il settore comprende i semiconduttori compresi i metodi per la loro produzione. Appartengono a questo campo i circuiti integrati o gli elementi fotovoltaici.
9	Optics	questo campo comprende tutte le parti degli elementi e degli apparecchi ottici tradizionali, ma anche le sorgenti di raggi laser.
10	Measurement	Copre un'ampia varietà di tecniche e applicazioni diverse
11	Analysis of biological materials	Si riferisce principalmente all'analisi del sangue per scopi medici. In molti casi vengono affrontati metodi biotecnologici.
12	Control	Il campo copre elementi per il controllo e la regolazione di sistemi elettrici e non elettrici e relative disposizioni di prova, sistemi di controllo del traffico o di segnalamento, ecc.
13	Medical technology	si riferisce all'alta tecnologia medica ma soprattutto a prodotti e tecnologie meno sofisticati come tavoli operatori, dispositivi per

		massaggi, bende ecc. Questi sottocampi meno complessi rappresentano un gran numero di domande di brevetto
14	Organic fine chemistry	le applicazioni in chimica organica si riferiscono principalmente al settore farmaceutico.
15	Biotechnology	è collegata a una varietà di applicazioni diverse ed è una tecnologia trasversale o generica.
16	Pharmaceuticals	rappresenta un'area di applicazione e non una tecnologia. Sono esclusi i cosmetici
17	Macromolecular chemistry, polymers	in questo campo sono contenuti gli aspetti chimici dei polimeri.
18	Food chemistry	è uno dei campi più piccoli in questa classificazione e non include i macchinari per la produzione alimentare
19	Basic materials chemistry	questo campo copre principalmente i tipici prodotti chimici di massa come erbicidi, fertilizzanti, vernici, petrolio, gas, detersivi, ecc.
20	Materials, metallurgy	questo campo copre tutti i tipi di metalli, ceramica, vetro o processi per la produzione di acciaio.
21	Surface technology, coating	questo campo ricopre soprattutto i rivestimenti in metallo con metodi avanzati ma include anche i processi elettrolitici, la crescita dei cristalli e gli strumenti per l'applicazione di liquidi sulle superfici
22	Micro-structural and nano-technology	questo campo comprende dispositivi o sistemi microstrutturali, comprendenti almeno un elemento o una formazione essenziale caratterizzata da dimensioni molto ridotte.
23	Chemical engineering	questo campo copre le tecnologie al confine tra chimica e ingegneria. Si riferisce ad apparecchi e processi per la produzione industriale di prodotti chimici.
24	Environmental technology	questo campo comprende una varietà di tecnologie e applicazioni diverse, in particolare filtri, smaltimento dei rifiuti, depurazione dell'acqua (un'area piuttosto vasta), silenziatori del flusso di gas e apparecchi di scarico, combustione dei rifiuti o pareti fonoassorbenti.
25	Handling	questo campo comprende ascensori, gru o robot, ma anche dispositivi di imballaggio.
26	Machine tools	il settore è dominato da domande di brevetto relative a tornitura, alesatura, rettifica, saldatura o taglio con particolare attenzione ai metalli.
27	Engines, pumps, turbines	questo campo comprende i motori non elettrici per tutti i tipi di applicazioni.
28	Textile and paper machines	riguardano macchine per scopi produttivi specifici
29	Other special machines	
30	Thermal processes and apparatus	il campo copre applicazioni quali la generazione di vapore, la combustione, il riscaldamento, la refrigerazione, il raffreddamento o lo scambio di calore.
31	Mechanical elements	il campo comprende elementi di circuiti fluidi, giunti, alberi, giunti, valvole, sistemi di tubazioni o dispositivi di controllo meccanico. L'attenzione si concentra sugli elementi ingegneristici delle macchine come giunti o accoppiamenti.

32	Transport	il campo copre tutti i tipi di tecnologia e applicazioni di trasporto con predominanza della tecnologia automobilistica.
33	Furniture, games	rappresenta il campo con più domande di brevetto con riferimento ai beni di consumo e comprende i mobili e i giochi
34	Other consumer goods	questo campo rappresenta principalmente sottocampi a minore intensità di ricerca.
35	Civil engineering	il campo copre applicazioni quali la generazione di vapore, la combustione, il riscaldamento, la refrigerazione, il raffreddamento o lo scambio di calore.

APPENDICE B – Differenze tra le citazioni green e non green all'interno di ogni settore

	Green
Electrical machinery, apparatus, energy	0.020*** (0.004)
Audio-visual technology	-0.158*** (0.014)
Telecommunications	-0.071*** (0.016)
Digital communication	-0.029*** (0.011)
Basic communication processes	-0.131*** (0.022)
Computer technology	-0.079*** (0.012)
IT methods for management	0.055* (0.033)
Semiconductors	-0.118*** (0.009)
Optics	-0.104*** (0.027)
Measurement	0.002 (0.010)
Analysis of biological materials	-0.041* (0.025)
Control	-0.029** (0.012)
Medical technology	-0.019 (0.019)
Organic fine chemistry	-0.033*** (0.011)
Biotechnology	-0.050*** (0.011)
Pharmaceuticals	-0.011 (0.012)
Macromolecular chemistry, polymers	-0.119*** (0.014)
Food chemistry	-0.135*** (0.015)
Basic materials chemistry	-0.190*** (0.009)
Materials, metallurgy	-0.032*** (0.008)

Surface technology, coating	-0.015 (0.012)
Micro-structural and nano-technology	0.047 (0.030)
Chemical engineering	0.061*** (0.008)
Environmental technology	0.129*** (0.008)
Handling	0.037*** (0.014)
Machine tools	0.066*** (0.012)
Engines, pumps, turbines	0.091*** (0.006)
Textile and paper machines	-0.171*** (0.017)
Other special machines	-0.016** (0.008)
Thermal processes and apparatus	-0.019*** (0.007)
Mechanical elements	0.085*** (0.010)
Transport	0.026*** (0.006)
Furniture, games	0.060** (0.025)
Other consumer goods	0.096*** (0.026)
Civil engineering	0.029*** (0.009)

APPENDICE C – Regressione OLS

I seguenti risultati sono stati calcolati considerando come variabile dipendente rispettivamente il numero di citazioni in totale, il numero di citazioni entro 3 anni e la generalità

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Green	0.161*** (0.007)	0.155*** (0.007)	0.176*** (0.012)	0.186*** (0.012)	0.186*** (0.012)	0.161*** (0.014)	0.168*** (0.014)	0.127*** (0.008)	0.168*** (0.020)	0.167*** (0.020)
Green # Coassigned							-0.098*** (0.032)			
Green # Granted								0.060*** (0.022)		
Green # Number of inventors									-0.002 (0.007)	
Green # Number of sections										-0.004 (0.018)
Coassigned	-0.059*** (0.008)	-0.047*** (0.008)	-0.031* (0.017)	-0.043** (0.017)	-0.043** (0.017)	-0.041** (0.017)	-0.031* (0.019)	-0.041** (0.017)	-0.041** (0.017)	-0.041** (0.017)
Number of claims	0.027*** (0.000)	0.026*** (0.000)	0.030*** (0.001)	0.030*** (0.001)	0.030*** (0.001)	0.030*** (0.001)	0.030*** (0.001)	0.030*** (0.001)	0.030*** (0.001)	0.030*** (0.001)
Number of inventors	0.042*** (0.001)	0.038*** (0.001)	0.049*** (0.002)	0.048*** (0.002)	0.047*** (0.002)	0.042*** (0.002)	0.042*** (0.002)	0.042*** (0.002)	0.042*** (0.002)	0.042*** (0.002)
Number of sections	0.080*** (0.003)	0.075*** (0.003)	0.099*** (0.006)	0.075*** (0.006)	0.071*** (0.006)	0.003 (0.010)	0.003 (0.010)	0.003 (0.010)	0.003 (0.010)	0.003 (0.011)
Count of backward citations		0.134*** (0.003)	0.092*** (0.004)	0.079*** (0.004)	0.078*** (0.004)	0.074*** (0.003)	0.074*** (0.003)	0.074*** (0.003)	0.074*** (0.003)	0.074*** (0.003)
Average backward citation lag			-0.018*** (0.000)							
Originality index				0.193*** (0.010)	0.188*** (0.010)	0.133*** (0.009)	0.133*** (0.009)	0.133*** (0.009)	0.133*** (0.009)	0.133*** (0.009)
Number of family countries					0.006*** (0.001)	0.005*** (0.001)	0.005*** (0.001)	0.005*** (0.001)	0.005*** (0.001)	0.005*** (0.001)
Granted	0.215*** (0.003)	0.197*** (0.003)	0.249*** (0.005)	0.252*** (0.005)	0.244*** (0.005)	0.235*** (0.006)	0.235*** (0.006)	0.230*** (0.006)	0.235*** (0.006)	0.235*** (0.006)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	3846019	3846019	1743863	1743683	1743682	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677
R-squared	0.051	0.054	0.054	0.054	0.054	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Adjusted R-squared	0.051	0.054	0.054	0.054	0.054	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,001). La variabile dipendente è il numero totale di citazioni totale

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Green	0.037*** (0.001)	0.035*** (0.001)	0.035*** (0.002)	0.041*** (0.002)	0.041*** (0.002)	0.039*** (0.002)	0.039*** (0.002)	0.031*** (0.003)	0.044*** (0.004)	0.041*** (0.006)
Green # Coassigned							-0.009 (0.009)			
Green # Granted								0.014*** (0.004)		
Green # Number of inventors									-0.002 (0.001)	
Green # Number of sections										-0.001 (0.004)
Coassigned	-0.032*** (0.001)	-0.028*** (0.001)	-0.030*** (0.003)	-0.035*** (0.003)	-0.035*** (0.003)	-0.027*** (0.003)	-0.026*** (0.003)	-0.027*** (0.003)	-0.027*** (0.003)	-0.027*** (0.003)
Number of claims	0.008*** (0.000)	0.007*** (0.000)	0.008*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.009*** (0.000)
Number of inventors	0.013*** (0.000)	0.012*** (0.000)	0.016*** (0.000)	0.016*** (0.000)	0.017*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)	0.015*** (0.000)
Number of sections	0.012*** (0.001)	0.011*** (0.001)	0.016*** (0.001)	0.012*** (0.001)	0.014*** (0.001)	0.015*** (0.002)	0.015*** (0.002)	0.015*** (0.002)	0.015*** (0.002)	0.015*** (0.002)
Count of backward citations		0.042*** (0.001)	0.030*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.027*** (0.001)
Average backward citation lag			-0.009*** (0.000)							
Originality index				0.030*** (0.002)	0.034*** (0.002)	0.027*** (0.002)	0.027*** (0.002)	0.027*** (0.002)	0.027*** (0.002)	0.027*** (0.002)
Number of family countries					-0.004*** (0.000)	-0.003*** (0.000)	-0.003*** (0.000)	-0.003*** (0.000)	-0.003*** (0.000)	-0.003*** (0.000)
Granted	0.043*** (0.001)	0.038*** (0.001)	0.049*** (0.001)	0.049*** (0.001)	0.055*** (0.001)	0.058*** (0.001)	0.058*** (0.001)	0.056*** (0.001)	0.058*** (0.001)	0.058*** (0.001)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	3846019	3846019	1743863	1743683	1743682	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677
R-squared	0.041	0.047	0.055	0.052	0.053	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
Adjusted R-squared	0.041	0.047	0.055	0.052	0.053	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,001). La variabile dipendente è il numero totale di citazioni ricevute entro 3 anni dalla pubblicazione

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Green	0.035*** (0.001)	0.035*** (0.001)	0.036*** (0.001)	0.028*** (0.001)	0.028*** (0.001)	0.024*** (0.001)	0.024*** (0.002)	0.024*** (0.002)	0.033*** (0.002)	0.050*** (0.003)
Green # Coassigned							-0.008 (0.005)			
Green # Granted								-0.001 (0.003)		
Green # Number of inventors									-0.003*** (0.001)	
Green # Number of sections										-0.018*** (0.002)
Coassigned	0.007*** (0.001)	0.008*** (0.001)	0.009*** (0.002)	0.006*** (0.002)	0.006*** (0.002)	0.006*** (0.002)	0.007*** (0.002)	0.006*** (0.002)	0.006*** (0.002)	0.006*** (0.002)
Number of claims	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)
Number of inventors	0.012*** (0.000)	0.011*** (0.000)	0.011*** (0.000)	0.009*** (0.000)	0.008*** (0.000)	0.004*** (0.000)	0.004*** (0.000)	0.004*** (0.000)	0.005*** (0.000)	0.004*** (0.000)
Number of sections	0.123*** (0.000)	0.122*** (0.000)	0.123*** (0.001)	0.087*** (0.001)	0.086*** (0.001)	0.037*** (0.001)	0.037*** (0.001)	0.037*** (0.001)	0.037*** (0.001)	0.039*** (0.001)
Count of backward citations		0.010*** (0.000)	0.009*** (0.000)	-0.006*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)
Average backward citation lag			-0.001*** (0.000)							
Originality index				0.281*** (0.001)	0.280*** (0.001)	0.232*** (0.001)	0.232*** (0.001)	0.232*** (0.001)	0.232*** (0.001)	0.231*** (0.001)
Number of family countries					0.002*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)
Granted	-0.003*** (0.001)	-0.005*** (0.001)	-0.006*** (0.001)	-0.002** (0.001)	-0.005*** (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	1072069	1072069	580735	580675	580675	580672	580672	580672	580672	580672
R-squared	0.092	0.094	0.103	0.171	0.171	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204
Adjusted R-squared	0.092	0.094	0.103	0.171	0.171	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,001). La variabile dipendente è l'indice di generalità

APPENDICE D – Regressione Binomiale Negativa

I seguenti risultati sono stati calcolati considerando come variabile dipendente rispettivamente il numero di citazioni in totale, il numero di citazioni entro 3 anni.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Green	0.295*** (0.006)	0.296*** (0.006)	0.240*** (0.008)	0.262*** (0.008)	0.258*** (0.008)	0.189*** (0.009)	0.192*** (0.009)	0.195*** (0.011)	0.181*** (0.014)	0.281*** (0.018)	0.261*** (0.014)	0.259*** (0.013)
Green # Coassigned							-0.034 (0.029)					
Green # Granted								-0.009 (0.015)				
Green # Number of inventors									0.003 (0.004)			
Green # Number of sections										-0.062*** (0.012)		
Clean # Count of backward citations											-0.039*** (0.007)	
Clean # Originality index												-0.147*** (0.026)
Coassigned	-0.111*** (0.008)	-0.094*** (0.008)	-0.070*** (0.011)	-0.080*** (0.012)	-0.079*** (0.012)	-0.067*** (0.013)	-0.064*** (0.014)	-0.067*** (0.013)	-0.067*** (0.013)	-0.067*** (0.013)	-0.067*** (0.013)	-0.067*** (0.013)
Number of claims	0.045*** (0.000)	0.043*** (0.000)	0.037*** (0.000)	0.038*** (0.000)	0.039*** (0.000)	0.039*** (0.000)	0.039*** (0.000)	0.039*** (0.000)	0.039*** (0.000)	0.039*** (0.000)	0.039*** (0.000)	0.039*** (0.000)
Number of inventors	0.030*** (0.001)	0.023*** (0.001)	0.026*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.033*** (0.001)	0.034*** (0.001)	0.034*** (0.001)	0.034*** (0.001)	0.033*** (0.001)	0.034*** (0.001)	0.034*** (0.001)	0.034*** (0.001)
Number of sections	0.041*** (0.003)	0.031*** (0.003)	0.044*** (0.004)	0.034*** (0.004)	0.046*** (0.004)	0.005 (0.007)	0.005 (0.007)	0.005 (0.007)	0.005 (0.007)	0.011* (0.007)	0.005 (0.007)	0.005 (0.007)
Count of backward citations		0.176*** (0.001)	0.108*** (0.002)	0.099*** (0.002)	0.102*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.098*** (0.002)	0.101*** (0.002)	0.098*** (0.002)
Average backward citation lag			-0.033*** (0.000)									
Originality index				0.081*** (0.007)	0.097*** (0.007)	0.082*** (0.007)	0.081*** (0.007)	0.082*** (0.007)	0.082*** (0.007)	0.081*** (0.007)	0.081*** (0.007)	0.093*** (0.008)
Number of family countries					-0.017*** (0.001)	-0.015*** (0.001)	-0.015*** (0.001)	-0.015*** (0.001)	-0.015*** (0.001)	-0.015*** (0.001)	-0.015*** (0.001)	-0.015*** (0.001)
Granted	0.429*** (0.003)	0.397*** (0.003)	0.382*** (0.004)	0.385*** (0.004)	0.416*** (0.004)	0.389*** (0.005)	0.389*** (0.005)	0.390*** (0.005)	0.389*** (0.005)	0.389*** (0.005)	0.389*** (0.005)	0.389*** (0.005)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Alfa	1.006*** (0.003)	0.971*** (0.003)	0.873*** (0.004)	0.888*** (0.004)	0.887*** (0.004)	0.875*** (0.004)	0.875*** (0.004)	0.875*** (0.004)	0.875*** (0.004)	0.875*** (0.004)	0.875*** (0.004)	0.875*** (0.004)
Observations	3846019	3846019	1743863	1743863	1743863	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677
Pseudo R-squared	0.091	0.096	0.086	0.083	0.084	0.086	0.086	0.086	0.086	0.030	0.086	0.086
Log-likelihood	-3816985.049	-3797396.532	-2020081.058	-2024989.438	-2023778.964	-2019679.408	-2019678.214	-2019679.140	-2019678.938	-408395.414	-2019635.974	-2019648.055

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (* $p < 0,10$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,001$). La variabile dipendente è il numero totale di citazioni totale

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Green	0.256*** (0.007)	0.255*** (0.007)	0.191*** (0.009)	0.226*** (0.009)	0.222*** (0.009)	0.185*** (0.009)	0.187*** (0.010)	0.167*** (0.015)	0.178*** (0.016)	0.227*** (0.023)	0.276*** (0.014)	0.252*** (0.017)
Green # Coassigned							-0.025 (0.036)					
Green # Granted								0.028 (0.018)				
Green # Number of inventors									0.002 (0.004)			
Green # Number of sections										-0.028** (0.014)		
Clean # Count of backward citations											-0.049*** (0.006)	
Clean # Originality index												-0.141*** (0.029)
Coassigned	-0.187*** (0.008)	-0.168*** (0.008)	-0.131*** (0.011)	-0.149*** (0.011)	-0.149*** (0.011)	-0.117*** (0.011)	-0.115*** (0.011)	-0.117*** (0.011)	-0.117*** (0.011)	-0.117*** (0.011)	-0.117*** (0.011)	-0.118*** (0.011)
Number of claims	0.043*** (0.000)	0.041*** (0.000)	0.034*** (0.000)	0.035*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.036*** (0.000)	0.036*** (0.000)
Number of inventors	0.049*** (0.001)	0.041*** (0.001)	0.041*** (0.001)	0.044*** (0.001)	0.052*** (0.001)	0.046*** (0.001)	0.046*** (0.001)	0.046*** (0.001)	0.046*** (0.001)	0.046*** (0.001)	0.046*** (0.001)	0.046*** (0.001)
Number of sections	0.030*** (0.003)	0.017*** (0.003)	0.032*** (0.004)	0.024*** (0.004)	0.041*** (0.004)	0.050*** (0.007)	0.050*** (0.007)	0.049*** (0.007)	0.050*** (0.007)	0.052*** (0.007)	0.049*** (0.007)	0.049*** (0.007)
Count of backward citations		0.203*** (0.001)	0.125*** (0.002)	0.112*** (0.002)	0.116*** (0.002)	0.113*** (0.002)	0.113*** (0.002)	0.113*** (0.002)	0.113*** (0.002)	0.113*** (0.002)	0.117*** (0.002)	0.113*** (0.002)
Average backward citation lag			-0.054*** (0.001)									
Originality index				0.059*** (0.008)	0.085*** (0.008)	0.074*** (0.009)	0.074*** (0.009)	0.074*** (0.009)	0.074*** (0.009)	0.073*** (0.009)	0.074*** (0.009)	0.086*** (0.009)
Number of family countries					-0.027*** (0.001)	-0.022*** (0.001)	-0.022*** (0.001)	-0.022*** (0.001)	-0.022*** (0.001)	-0.022*** (0.001)	-0.022*** (0.001)	-0.022*** (0.001)
Granted	0.356*** (0.004)	0.322*** (0.004)	0.299*** (0.005)	0.300*** (0.005)	0.343*** (0.005)	0.335*** (0.005)	0.335*** (0.005)	0.332*** (0.006)	0.335*** (0.005)	0.335*** (0.005)	0.335*** (0.005)	0.335*** (0.005)
Years dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sectors dummy	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Alfa	1.484*** (0.004)	1.429*** (0.004)	1.224*** (0.005)	1.274*** (0.005)	1.269*** (0.005)	1.241*** (0.005)	1.241*** (0.005)	1.241*** (0.005)	1.241*** (0.005)	1.241*** (0.005)	1.241*** (0.005)	1.241*** (0.005)
Observations	3846019	3846019	1743863	1743863	1743863	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677	1743677
Pseudo R-squared	0.056	0.062	0.061	0.055	0.056	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
Log-likelihood	-1788313.061	-1775514.907	-992572.076	-998881.068	-997580.202	-994257.197	-994256.883	-994255.717	-994257.019	-994254.526	-994219.071	-994242.401

Nota: Errori standard robusti tra parentesi (* $p < 0,10$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,001$). La variabile dipendente è il numero totale di citazioni entro 3 anni dalla data di deposito

BIBLIOGRAFIA

- A. Dechezleprêtre, R. Martin, M. Mohnen. Knowledge Spillovers from Clean and Dirty Technologies: A Patent Citation Analysis, Working Paper, LSE (2013).
- Agustí Segarra-Blasco, Josep-Maria Arauzo-Carod & Mercedes Teruel. Innovazione e ricadute geografiche: nuovi approcci ed evidenze empiriche, *Studi regionali*, 52 (5), pp. 603-607 (2018).
- Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hemous, D., Martin, R., and Van Reenen, J. Carbon taxes, path dependency and directed technical change: Evidence from the auto industry. NBER Working Papers 18596, National Bureau of Economic Research, Inc (2012).
- Antonelli, C., and F. Quatraro. “The Effects of Biased Technological Change on Total Factor Productivity: Empirical Evidence from a Sample of OECD Countries.” *Journal of Technological Transfer* 35 (4): 361–383 (2010).
- Arundel A, Kemp R. Measuring eco-innovation. United Nations University Working Paper Series, pp. 1–40 (2009).
- Benedikt Battke, Tobias S. Schmidt, Stephan Stollenwerk, Volker H. Hoffmann. Internal or external spillovers—Which kind of knowledge is more likely to flow within or across technologies. *Research Policy*, 45 (1), 27-41 (2016).
- Blum-Kusterer M, Hussain SS. Innovation and corporate sustainability: an investigation into the process of change in the pharmaceuticals industry. *Business Strategy and the Environment*, 10(5), pp. 300–316 (2001).
- Boschma, R., and S. Iammarino. “Related Variety, Trade Linkages, and Regional Growth in Italy.” *Economic Geography* 85 (3): 289–311 (2009).
- Braun, E.; Wield, D., Regulation as a Means for TheSocial-Control of Technology. *Technol. Anal. Strateg.Manage*, 6, (3), 259-272 (1994).
- Breitzman, A., Thomas, P. Inventor team size as a predictor of the future citation impact of patents. *Scientometrics* 103, 631–647 (2015)
- B.R. Staats, K.L. Milkman, C.R. Fox. The team scaling fallacy: Underestimating the declining efficiency of larger teams. *Organizat. Behav. Human Decis. Process.*, 118 (2), pp. 132-142 (2012).
- C. Lettl, K. Rost, I. von Wartburg. Why are some independent inventors heroes and others hobbyists? The moderating role of technological diversity and specialization. *Res. Policy*, 38, pp. 243-254 (2009).

- Cainelli, G., Mazzanti, M., & Montresor, S. Environmental innovations, local networks and internationalization. *Industry and Innovation*, 19(8), 697–734 (2012).
- Carlino Gerald, Kerr William R. Agglomeration and innovation. Bank of Finland, Helsinki, Bank of Finland Research Discussion Papers, 27 (2015).
- Coll-Martínez, E., Kedjar, M. & Renou-Maissant, P. (Green) Knowledge spillovers and regional environmental support: do they matter for the entry of new green tech-based firms? *Ann Reg Sci* 69, 119–161 (2022).
- Cozzi T. Theory of economic development. *Review of economic conditions in Italy*, 26 (6), pp. 498-499 (1972).
- D.A. Pacheco, C. ten Caten, C.F. Jung, J.L.D. Ribeiro, H.V.G. Navas, V.A. Cruz-Machado. Eco-innovation determinants in manufacturing SMEs: systematic review and research directions. *J. Clean. Prod.*, 142, pp. 2277-2287 (2017).
- David Popp. International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NOX and SO2 regulation in the US, Japan, and Germany. *Journal of Environmental Economics and Management*, 51 (1), pp. 46-71 (2006).
- De Luca F., Ferri S., *Innovazione e ricerca, tra competitività e governance*, in "L'Italia fra Jobs act ed Europa 2020: rapporto di monitoraggio del mercato del lavoro 2015", Roma, Isfol, 2015.
- del Río P, Peñasco C, Romero-Jordán D. Distinctive features of environmental innovators: an econometric analysis. *Business Strategy and the Environment* (2013).
- Doran, J., and Ryan, G. The Importance of the Diverse Drivers and Types of Environmental Innovation for Firm Performance. *Bus. Strat. Env.*, 25, pp. 102-119 (2016).
- E. Lazear. Balanced skills and entrepreneurship. *Am. Econ. Rev.*, 94, pp. 208-211 (2004).
- EPO. Finding Sustainable Technologies in Patents. European Patent Office papers, Munich, Germany (2013).
- European Environment Agency (EEA). Decarbonising road transport — the role of vehicles, fuels and transport demand. Publications Office of the European Union, Luxembourg (2022).
- G. Cecere, N. Corrocher, C. Gossart, M. Ozman. Lock-in and path dependence: an evolutionary approach to eco-innovations. *J. Evol. Econ.*, 24, pp. 1037-1065 (2014).
- G. Dosi. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested

interpretation of the determinants and directions of technical change. *Res. Policy*, 11, pp. 147-162 (1982).

- G. Grossman, E. Krueger. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper, p. 3914 (1991).
- G.F. Nemet, E. Johnson. Do important inventions benefit from knowledge originating in other technological domains. *Res. Policy*, 41, pp. 190-200 (2012).
- G.F. Nemet. Inter-technology knowledge spillovers for energy technologies. *Energy Economics*, 34, 1259-1270 (2012).
- Gerstlberger W, Præst Knudsen M, Stampe I. Sustainable development strategies for product innovation and energy efficiency. *Business Strategy and the Environment* (2013).
- Ghisetti, C., & Rennings, K. Environmental innovations and profitability: How does it pay to be green? An empirical analysis on the German innovation survey. *Journal of Cleaner Production*, 75, 106–117 (2014).
- Grassano, N., Hernandez Guevara, H., Fako, P., Nindl, E., Georgakaki, A., Ince, E., Napolitano, L., Rentocchini, F. and Tübke, A. The 2022 EU Industrial R&D Investment Scoreboard – Extended Summary. Publications Office of the European Union, Luxembourg (2022).
- Guagnano GA. Altruism and market-like behavior: an analysis of willingness to pay for recycled paper products. *Population and Environment*, 22(4), pp. 425–438 (2001).
- Gwangman Park, Yongtae Park. On the measurement of patent stock as knowledge. pages 793-812 (2006).
- Hall B.H., Jaffe A.B., Trajtenberg M. Market value and patent citations. *Rand Journal of Economics*, 36 (1), pp. 16-38 (2005).
- Hall, Bronwyn H and Jaffe, Adam B and Trajtenberg, Manuel. The NBER Patent Citation Data File: Lessons, Insights and Methodological Tools. National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper, No 8498 (2001).
- Horbach J. Determinants of environmental innovation – new evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), pp. 163–173 (2008).
- Horbach, J. *Neue Politische Ökonomie und Umweltpolitik*, Campus, Frankfurt, New York (1992)
- Hussler, C. “Culture and Knowledge Spillovers in Europe: New Perspectives for Innovation and Convergence Policies?” *Economics of Innovation and New Technology*

- 13 (6): 523–541 (2004).
- International Energy Agency (IEA). Innovation in batteries and electricity storage. A global analysis based on patent data (2020).
 - International Energy Agency, CO2 emissions from Fuel Combustion 2019. IEA, Paris (2019).
 - J. Canon de Francia, C. Garcés-Ayerbe, M. Ramírez-Alesón. Are more innovative firms less vulnerable to new environmental regulation? *Environ. Resour. Econ.*, 36, pp. 295-311(2007).
 - J. Grafström. International knowledge spillovers in the wind power industry: evidence from the European Union. *Economics of innovation and new technology*, 27 (3), pp. 205–224 (2018).
 - J. Horbach, C. Rammer, K. Rennings. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact: the role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *Ecol. Econ.*, 78, pp. 112-122 (2012).
 - J. Horbach. Empirical determinants of eco-innovation in European countries using the community innovation survey. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 19, pp 1-14 (2016).
 - J.C. Guan, Y. Yan. Technological proximity and recombinative innovation in the alternative energy field. *Res. Pol.*, 45 (7), pp. 1460-1473 (2016).
 - J.C.J.M. Van den Bergh. Optimal diversity: increasing returns versus recombinant innovation. *J. Econ. Behav. Organ.*, 68, pp. 565-580 (2008).
 - J.J. Ferreira, C. Fernandes, F.A. Ferreira. Technology transfer, climate change mitigation, and environmental patent impact on sustainability and economic growth: a comparison of European countries. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 150 (2020).
 - J.M. Alston. Spillovers. *Aust. J. Agric. Resour. Econ.*, 46 (3), 315-346 (2002).
 - J.O. Lanjouw, M. Schankerman. Patent quality and research productivity: measuring innovation with multiple indicators. *Economic Journal*, 114 (495), pp. 441-465 (2004).
 - Jaffe, A.B., de Rassenfosse, G. Patent citation data in social science research: Overview and best practices, NBER Working Paper, 21868 (2016).
 - Jaffe, A.B., Newell, R.G., Stavins, R.N. A tale of two market failures: technology and environmental policy. *Ecol. Econ.* 54, 164–174 (2005).
 - James, P. The sustainability circle: A new tool for product development and design. *Journal of Sustainable Product Design*, 2, 52–57 (1997).

- Johnstone N, Hascic I. Indicators of innovation and transfer in environmentally sound technologies: methodological issues. OECD, Paris (2009).
- Kammerer D. The effects of customer benefit and regulation on environmental product innovation: empirical evidence from appliance manufacturers in Germany. *Ecological Economics*, 68(8/9), pp 2285-2295 (2009).
- Kemp R. Eco-innovation: definition, measurement and open research issues. *Economia Politica, Journal of Analytical and Institutional Economics*, pp. 397–420 (2010).
- Kemp R. Technology and Environmental Policy—Innovation Effects of Past Policies and Suggestions for Improvement. In: OECD (ed) *Innovation and the Environment: Paris* (2000).
- Kemp, R., Pearson, P. Final report MEI project about measuring eco-innovation. Maastricht (2008).
- Khanna M, Deltas G, Harrington DR. Adoption of pollution prevention techniques: the role of management systems and regulatory pressures. *Environmental and Resource Economics*, 44(1), pp. 85–106 (2009).
- L. De Dominicis, R.J. Florax, H.L. de Groot. Regional clusters of innovative activity in Europe: are social capital and geographical proximity key determinants? *Appl. Econ.*, 45 (17), pp. 2325-2335 (2013).
- *La ricchezza delle nazioni* (1776), Newton Compton Editori, Roma (1976).
- Lanjouw, J. O. and Schankerman, M. The quality of ideas: measuring innovation with multiple indicators. Technical report, National Bureau of Economic Research (1999).
- Luigi Aldieri, Bruna Bruno, Teemu Makkonen, Concetto Paolo Vinci. Environmental innovations, geographically mediated knowledge spillovers, economic and environmental performance. *Resources Policy*, 81 (2023).
- M. Alpino, L. Citino, G. de Blasio e F. Zeni. Gli effetti del cambiamento climatico sull'economia italiana. *Questioni di Economia e Finanza, Banca d'Italia*, 728 (2022).
- Malerba F. *Economia dell'innovazione*. Carocci (2000).
- Marcus Wagner. On the relationship between environmental management, environmental innovation and patenting: Evidence from German manufacturing firms. *Research Policy*, 36 (10), pp. 1587-1602 (2007).
- Marinella Favot, Leyla Vesnic, Riccardo Priore, Andrea Bincoletto, Fabio Morea. Green patents and green codes: How different methodologies lead to different results. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 18, pp. 2667-3789 (2023).

- Marra, A., Antonelli, P., & Pozzi, C. Emerging green-tech specializations and clusters – A network analysis on technological innovation at the metropolitan level. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 67, 1037–1046 (2017).
- M. Cristina De Stefano, María J. Montes-Sancho, Timo Busch. A natural resource-based view of climate change: Innovation challenges in the automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 139, pp. 1436-1448 (2016).
- Mitic P., Kojic M., Minović J. A Literature Survey of the Environmental Kuznets Curve. *Economic Analysis*, 52, pp109-127 (2019).
- Montesor, S., & Quatraro, F. Green technologies and Smart Specialisation Strategies: a European patent-based analysis of the intertwining of technological relatedness and key enabling technologies. *Regional Studies*, 54(10), pp. 1354-1365 (2020).
- M. Trajtenberg, R. Henderson, A. Jaffe. University versus corporate patents: A window on the basicness of invention. *Econ. Innovat. Technol.*, 5 (1), pp. 19-50 (1997).
- N. Rosenberg. *Exploring the Black Box: Technology, Economics, and History*. Cambridge University Press, Cambridge (1994)
- Noailly J. Shestalova V. Knowledge spillovers from renewable energy technologies: Lessons from patent citations. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 22, pp. 2210-4224 (2017).
- Nicolò Barbieri, Alberto Marzucchi, Ugo Rizzo. Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: Do green technologies differ from non-green ones? *Research Policy*, 49 (2) (2020).
- Philipp Borgstedt, Bastian Neyer, Gerhard Schewe. Paving the road to electric vehicles – A patent analysis of the automotive supply industry. *Journal of Cleaner Production*, 167, pp. 75-87 (2017).
- P. Mohnen. R&D, innovation and productivity. T. ten Raa, W.H. Greene (Eds.), *The Palgrave Handbook of Economic Performance Analysis*, Palgrave Macmillan, Cham, pp. 97-122 (2019).
- Prenzel, P., Ortega-Argilés, R., Cozza, C., & Piva, M. Interazione tra aspetti regionali e industriali nel collegamento R&S-produttività: prove dall'Europa. *Studi regionali* , 52 (5), 659–672 (2018).
- R. Agarwal, D. Audretsch, M.B. Sarkar. Knowledge spillovers and strategic entrepreneurship. *Strateg. Entrep. J.*, 4 (4), pp. 271-283 (2010).
- Rehfeld KM, Rennings K, Ziegler A. Integrated product policy and environmental

- product innovations: an empirical analysis. *Ecological Economics*, 61(1), pp. 91–100 (2007).
- S. Amidi, A. Fagheh Majidi. Geographic proximity, trade and economic growth: a spatial econometrics approach. *Spatial Sci.*, 26 (1), pp. 49-63 (2020).
 - S. Wydra. Measuring innovation in the bioeconomy: conceptual discussion and empirical experiences. *Technol. Soc.*, 61 (2020).
 - Sadao Nagaoka, Kazuyuki Motohashi, Akira Goto. Chapter 25 - Patent Statistics as an Innovation Indicator. Bronwyn H. Hall, Nathan Rosenberg, *Handbook of the Economics of Innovation*, North-Holland, 2, pp. 1083-1127 (2010).
 - Sanso-Navarro, M., & Vera-Cabello, M. La relazione di lungo periodo tra R&S e conoscenza regionale: il caso di Francia, Germania, Italia e Spagna. *Studi regionali* , 52 (5), 619–631 (2018).
 - Scherer, F.M., Harhoff, D. “Technology policy for a world of skew-distributed outcomes”. *Research Policy* 29 (4–5), pp. 559–566 (2000).
 - Schmoch U. Concept of a Technology Classification for Country Comparisons. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Germany (2008)
 - S. Rothenberg, J.E. Ettl. Strategies to cope with regulatory uncertainty in the auto industry. *Calif. Manag. Rev.*, 54, pp. 126-144 (2011).
 - T. Makkonen, R.P. van der Have. Benchmarking regional innovative performance: composite measures and direct innovation counts. *Scientometrics*, 94 (1), pp. 247-262 (2013).
 - Triguero A, Moreno-Mondéjar L, Davia MA. Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. *Ecological Economics*, 92, pp. 25–33 (2013).
 - Tong, X., Frame, J. D. Measuring National Technological Performance with Patent Claims Data. *Research Policy*, 23, pp. 133-141 (1994).
 - Usher A. P. A history of mechanical inventions. McGraw-Hill (1929).
 - V. Veefkind, J. Hurtado-Albir, S. Angelucci, K. Karachalios, N. Thumm, “A new EPO classification scheme for climate change mitigation technologies”. *World Patent Information* (2012)
 - Van Berkel, R. V. Eco-innovation: Opportunities for advancing waste prevention. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 7, 527–550 (2007).
 - Ventriglia F. La Strategia di Innovazione. Opzioni e problematiche valutative.

Giappichelli, pp. 4-24 (2005).

- W. Schoenmakers, G. Duysters. The technological origins of radical inventions. *Res. Policy*, 39, pp. 1051-1059 (2010).
- W.G. Park. International R&D spillovers and OECD economic growth. *Econ. Inq.*, 33 (4), pp. 571-591(1995).
- W.M. Cohen, D.A. Levinthal. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Adm. Sci. Q.*, 35, pp. 128-152 (1990).
- Wesseling J, Niesten E, Faber J, Hekkert M. Business strategies of incumbents in the market for electric vehicles: opportunities and incentives for sustainable innovation. *Business Strategy and the Environment* (2013).
- W. Sierzchula, S. Bakker, K. Maat, B. van Wee. Technological diversity of emerging eco-innovations: a case study of the automobile industry. *J. Clean. Prod.*, 37, pp. 211-220 (2012).
- Xiaodong Yuan, Yuchen Cai. Forecasting the development trend of low emission vehicle technologies: Based on patent data. *Technological Forecasting and Social Change*, 166 (2021)
- Y. Hao, Y. Guo, Y. Guo, H. Wu, S. Ren. Does outward foreign direct investment (OFDI) affect the home country's environmental quality? The case of China. *Struct. Change Econ. Dynam.*, 52, pp. 109-119 (2020).
- Z.S. Ulucak, A.G. Yucel. Can renewable energy be used as an effective tool in the decarbonization of the Mediterranean region: fresh evidence under cross-sectional dependence. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.*, 28 (37), pp. 52082-52092 (2021).
- Zhang T, Gensler S, Garcia R. A study of the diffusion of alternative fuel vehicles: an agent-based modeling approach. *Journal of Product Innovation Management* 28(2), pp. 152–168 (2011).

SITOGRAFIA

- <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/>
- <https://uibm.mise.gov.it/index.php/it/brevetti>
- <https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics/2022.html>
- <https://www.wipo.int/classifications/ipc/green-inventory/home>
- <https://www.statista.com/statistics/1102932/global-research-and-development-spending-automotive/>
- https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/automotive-industry_en
- <https://report-archive.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics/2021/insight-into-smart-urban-mobility.html>
- <https://report-archive.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics/2021/statistics/patent-applications.html#transport>
- https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/transport-sector-economic-analysis_en

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutte le persone che hanno contribuito al completamento di questa tesi e che mi hanno sostenuto lungo il mio percorso accademico.

Innanzitutto, desidero ringraziare il mio relatore Luigi Buzzacchi e correlatore Antonio De Marco che mi hanno guidato e supportato fornendomi preziosi suggerimenti durante l'intero processo di stesura della mia tesi. La vostra competenza e disponibilità sono state fonte di ispirazione e fondamentali per la realizzazione di questo lavoro.

Infine, vorrei esprimere la mia profonda gratitudine alla mia famiglia che mi ha sempre incoraggiato e aiutato a superare i momenti più difficili. Senza il vostro amorevole sostegno non avrei potuto raggiungere questo traguardo.