



**Politecnico
di Torino**

Facoltà di ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Studio empirico delle esternalità di conoscenza
internazionali tramite le citazioni brevettuali: il caso del
solare fotovoltaico in Europa**

Relatore

prof. Luigi Buzzacchi

Correlatore

prof. Antonio De Marco

Candidato

Michela Borzillo

Anno Accademico 2023-2024

Abstract

L'adozione delle energie rinnovabili, sostenuta da incentivi e costi competitivi, è divenuta sempre più interessante anche sul piano commerciale, data la possibilità di svincolarsi dalla dipendenza energetica da Paesi esportatori di combustibili fossili. Tuttavia, investire in tecnologie rinnovabili incontra ostacoli per le imprese private, come le esternalità ambientali e di conoscenza. Queste difficoltà rendono indispensabile l'intervento delle politiche pubbliche. La conoscenza tecnologica può trasferirsi da un'area geografica all'altra, creando effetti di spillover. Questi effetti potrebbero influenzare lo sviluppo e l'adozione di innovazioni nelle regioni vicine, e quindi rappresentano un'area di ricerca interessante per i governi al fine di allocare meglio le risorse per ricerca e sviluppo (R&D). Studiare come la conoscenza generata in un paese possa influenzare i vicini potrebbe aiutare a definire politiche collaborative a livello europeo, supportando una maggiore interconnessione e diffusione delle innovazioni. L'elaborato esamina il settore dell'energia solare, con l'obiettivo di comprendere l'evoluzione dell'innovazione in questo campo tramite l'analisi dei brevetti. Per l'indagine viene utilizzato un dataset di 25.439 brevetti di tecnologie solari depositati tra il 1978 e il 2021, conducendo analisi descrittive ed empiriche a livello nazionale, regionale e provinciale.

L'analisi mira a comprendere quali aree geografiche in Europa possano concentrarsi sul miglioramento tecnologico del solare e quali fattori determinano questo comportamento. Inoltre, viene valutata l'influenza della vicinanza geografica sugli spillover di conoscenza e se la presenza di conoscenza in una regione possa favorire l'innovazione anche nelle aree limitrofe. Lo stock viene rappresentato dalle citazioni brevettuali e viene, inoltre, valutato quanto la distanza geografica impatta sulla diffusione degli spillover. Le citazioni hanno quindi una duplice funzione: oltre a rappresentare lo stock di conoscenza disponibile, permettono di comprendere il valore dell'innovazione, anche con l'ausilio di alcuni indicatori. I risultati possono delineare un quadro tale per cui si possa comprendere quali sono le aree geografiche che anche nel futuro potranno focalizzarsi maggiormente sullo sviluppo e il miglioramento della tecnologia e quali potrebbero essere i determinanti di tali comportamenti identificando se gli spillover possono avere un impatto nella produzione di brevetti.

Indice

Elenco delle tabelle	5
Elenco delle figure	7
Introduzione	9
1 L'innovazione tecnologica	13
1.1 Il concetto di innovazione	13
1.2 L'innovazione green	15
1.3 Leadership tecnologica e il first mover advantage	16
2 Il concetto di spillover	19
2.1 Knowledge spillover: le due facce della stessa medaglia	20
2.2 Gli spillover geografici	21
2.3 Gli spillover tecnologici	22
2.4 Knowledge spillover nel settore delle energie rinnovabili: studi precedenti	22
2.5 Absorptive capacity	25
2.6 Free riding	25
2.7 I brevetti per il cambiamento tecnologico	27
2.7.1 Generalità	27
2.7.2 L'iter di brevettazione e la domanda di brevetto	28
3 Il solare: stato dell'arte e motivazioni di ricerca	31
3.1 La nascita del fotovoltaico e del solare termico	32
3.2 Domanda di ricerca	34
3.3 Metodologia utilizzata	36
3.3.1 Misurare le esternalità tramite le citazioni e il numero di inventori	37
4 Misure e analisi descrittive	39
4.1 Metodologie di costruzione del dataset	39
4.1.1 Classificazione dei brevetti	40
4.1.2 I livelli NUTS	44
4.2 Struttura del database	45
4.3 I brevetti green	47
4.3.1 I brevetti fotovoltaici	50

4.3.2	Il fotovoltaico in Europa	53
4.3.3	Localizzazione geografica dei brevetti fotovoltaici al livello NUTS2 e NUTS3	56
4.4	Analisi delle citazioni	62
4.4.1	Misura delle citazioni nei brevetti	64
4.5	Le citazioni dei brevetti green e non green	67
4.5.1	Le citazioni nel fotovoltaico	69
4.6	Analisi della complessità dei brevetti	77
4.6.1	La complessità dei brevetti fotovoltaici	79
4.7	Risultati dell'analisi descrittiva	81
5	Analisi econometrica	85
5.1	Descrizione delle variabili	85
5.1.1	Limiti di utilizzo delle variabili	87
5.2	Specifiche del modello	88
5.3	Modello econometrico	90
5.4	Risultati	92
5.5	Discussione	95
	Conclusione	97
	Appendice	101
	Bibliografia	107
	Sitografia	117

Elenco delle tabelle

2.1	Esempi di flussi di ricadute di conoscenza in settori esterni	23
4.1	Esempio IPC divisions. Fonte <i>WIPO</i>	41
4.2	Classificazione Y02. Fonte: <i>Espacenet-EPO</i>	43
4.3	Classificazione Y02E. Fonte: <i>Espacenet-EPO</i>	44
4.4	Metodologie di classificazione dei brevetti verdi	44
4.5	Statistiche riassuntive per la variabile <code>grnt_dm</code> nei due gruppi e per la variabile <code>grnt_lg</code>	45
4.6	Statistiche riassuntive per il numero di inventori e il numero di applicants.	46
4.7	Percentili per la variabile <code>apct_nb</code>	46
4.8	Tabella di Correlazione tra <code>invt_nb</code> e <code>apct_nb</code>	46
4.9	Frequenza dei brevetti per intervallo di 3 anni	48
4.10	Rank dei primi 5 paesi europei per produzione di brevetti con almeno una tecnologia green	49
4.11	Classificazione Y02E10/50	51
4.12	Top 20 regioni per numero di brevetti PV.	58
4.13	Top 30 province per numero di brevetti PV	60
4.14	Produzione di brevetti per regioni NUTS	62
4.15	Numero di brevetti che hanno almeno una citazione forward e numero di brevetti che hanno almeno una citazione backward	64
4.16	Analisi delle citazioni forward	65
4.17	Statistiche dell'indice di generalità	66
4.18	Statistiche descrittive delle citazioni backward	66
4.19	Statistiche dell'indice di originalità	66
4.20	Analisi delle citazioni forward per i brevetti Green	67
4.21	Analisi delle citazioni forward per i brevetti Brown	68
4.22	Indice di generalità nei brevetti green e brown	68
4.23	Tabella dell'età media delle citazioni forward e dell'anno medio di domanda	70
4.24	Indice di generalità del settore fotovoltaico e dell'EPO PATSTAT	71
4.25	Dati relativi alle citazioni backward e all'originalità per categorie	72
4.26	Test T per campioni indipendenti: media di citazioni forward tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO, considerando anche i brevetti che non hanno alcuna citazione	74

4.27	Test T per campioni indipendenti: media di citazioni forward tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO, considerando solo i brevetti che hanno almeno una citazione	74
4.28	Test T per campioni indipendenti: media di citazioni backward tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO	75
4.29	Test T per campioni indipendenti: generalità tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO	76
4.30	Test T per campioni indipendenti: originalità tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO	77
4.31	Distribuzione del numero di inventori	78
4.32	Statistiche descrittive	83
5.1	Specifiche dei modelli stimati della produzione di brevetti	90
5.2	Tabella riepilogativa del conteggio dei brevetti per i diversi livelli NUTS.	91
5.3	Analisi di regressione dei modelli I-VI al livello NUTS1	93
5.4	Analisi di regressione dei modelli I-VI al livello NUTS3	94
5.5	Analisi di regressione dei modelli I-VI al livello NUTS3	95
6	Matrice di correlazione per le variabili indipendenti al livello NUTS1	103

Elenco delle figure

1.1	Curva ambientale di Kuznets.	15
3.1	Le principali milestone dell'industria solare. Fonte: <i>IRENA [2019]</i>	33
4.1	Andamento temporale dei brevetti nel corso del tempo, raggruppati per 3 anni	47
4.2	Confronto dell'andamento dei brevetti green	49
4.3	Numero di brevetti per tecnologia di energia pulita, periodo 1990-2015. Fonte: <i>European Commission</i>	50
4.4	Numero di brevetti con tecnologie fotovoltaiche raggruppate per 3 anni	52
4.5	Percentuale di brevetti associati al solare e ad un'altra categoria Y02	53
4.6	Distribuzione del numero di brevetti relativi al fotovoltaico nei Paesi Europei	55
4.7	Suddivisione del numero di brevetti fotovoltaici in Europa	56
4.8	Concentrazione del numero di regioni che producono fotovoltaico, per Paese .	57
4.9	Concentrazione del numero di province che producono fotovoltaico, per Paese	59
4.10	Somma della percentuale di brevetti di NUTS3 per NUTS2.	62
4.11	Citazioni backward nel green	69
4.12	Numero medio di citazioni forward per le diverse categorie	70
4.13	Distribuzione dell'indice di generalità nei brevetti relativi al fotovoltaico e in tutto il database EPO	71
4.14	Distribuzione dell'indice di originalità nei brevetti relativi al fotovoltaico e in tutto il database EPO	72
4.15	Andamento del numero di inventori medi raggruppati per 3 anni	78
4.16	Andamento nel tempo del numero di inventori nei 3 diversi database	80
4.17	Inventori medi delle diverse tecnologie solari	80
4.18	Confronto della proporzione del numero di inventori medi tra i brevetti solari e l'EPO PATSTAT	81
5.1	Somma dei brevetti totali dei Paesi per anno	91
5.2	Frequenza del conteggio di brevetti	92

Introduzione

Nel corso degli ultimi anni l'impatto del cambiamento climatico sulla vita umana e sugli aspetti naturali è aumentato. Il Report sul riscaldamento globale dell'IPCC ([The Intergovernmental Panel on Climate Change](#)) ribadisce come le attività umane abbiano causato un incremento della temperatura media globale di 1°C rispetto ai livelli pre-industriali, e se le emissioni di gas serra continueranno con i ritmi attuali, si arriverà a valori di 1,5°C tra il 2030 e il 2052.

Un contributo consistente del raggiungimento di tali valori è determinato dall'incremento della domanda di energia, in concomitanza con lo sviluppo economico.

Di conseguenza, hanno preso piede investimenti nelle energie rinnovabili in quanto viene riconosciuta loro l'importanza nella riduzione dei livelli di emissioni di gas serra.

L'aumento di soluzioni che prevedono l'utilizzo di fonti alternative ai combustibili fossili potrebbe ridurre sostanzialmente le emissioni di gas serra. L'adozione di queste fonti alternative è sicuramente incentivata da un prezzo competitivo delle risorse green rispetto alle tecnologie basate su combustibili fossili, per cui, al fine di abbattere i costi dell'energia rinnovabile, risultano fondamentali l'innovazione e il progresso.

In aggiunta investire sulle fonti rinnovabili, oltre che un guadagno economico diretto, permette di ottenere anche un guadagno dal punto di vista commerciale con la possibilità di potersi svincolare dalla dipendenza dal Medio Oriente o dalla Russia.

L'innovazione può comportare barriere e fallimenti di mercato rendendo necessario un sostegno da parte delle politiche pubbliche. L'impegno delle politiche pubbliche messe in campo nel settore risulta cruciale, si pensi ad esempio alla crescita prodotta a seguito dell'emanazione del Green Deal europeo o, in Italia, del PNRR. Inoltre, la necessità di un intervento è dovuta al fatto che le organizzazioni private hanno scarsi incentivi ad investire in questi settori sia per la presenza delle esternalità ambientali, in cui le ricadute dell'inquinamento non sono dirette sull'azienda, sia per le esternalità di conoscenza che consentono anche ad altre imprese di beneficiare delle innovazioni.

Lo studio delle ricadute di conoscenza nell'ambito dell'energia ha da sempre costituito un interessante campo di studi. Infatti, studiare gli spillover potrebbe fornire una guida da seguire per i governi nell'ambito della destinazione delle spese di ricerca e sviluppo o di politiche volte ad incentivare il campo in questione. Se la conoscenza in un paese è in grado di creare degli spillover ai paesi più vicini, potrebbe fungere da presupposto per stilare delle policy ad hoc a livello europeo ed internazionale. Inoltre, dato lo sviluppo tecnologico e l'interconnessione sempre maggiore, risulta interessante studiare quanto la vicinanza geografica

possa impattare sullo sviluppo di conoscenza. Tuttavia, nel caso in cui si verificassero degli spillover potrebbe nascere il disincentivo per i Paesi, le regioni o le province ad investire, adottando un comportamento da free-riders portando, quindi, ad un fallimento di mercato.

Il focus del presente elaborato è il settore solare in quanto negli ultimi anni lo sviluppo delle innovazioni in tale ambito è cresciuto esponenzialmente. In contemporanea all'evoluzione della tecnologia si è verificato un accrescimento dell'interesse da parte della politica e dei cittadini che sempre di più si avvicinano all'utilizzo dell'energia che deriva da queste fonti.

Il solare infatti è una risorsa inesauribile, molto versatile e presenta applicazioni in vari ambiti, con un enorme impatto nella riduzione delle emissioni prodotte dall'utilizzo dell'energia in quanto sostituto dei combustibili fossili, principali fonti di CO₂.

Nonostante ci siano i presupposti tali per cui il solare possa diventare una risorsa determinante nella lotta al cambiamento climatico e contemporaneamente essere fonte di guadagno per le organizzazioni, la maturazione del settore e le crescenti installazioni prevedono la necessità dello sviluppo di nuove tecnologie. In effetti, non sarebbe possibile eliminare completamente le fonti fossili a favore di un sistema energetico interamente rinnovabile, sebbene ne esista la capacità produttiva necessaria. È pertanto fondamentale concentrare gli sforzi sullo sviluppo e sull'innovazione nei settori del trasporto e dell'accumulo di energia.

Ciò che si propone è un'analisi che riassume la situazione Europea relativa alle innovazioni del settore, indagando su quelli che, ad oggi, sono i leader nelle innovazioni, effettuando uno studio dei principali indicatori che consentono di delinearne le caratteristiche, permettendo di determinare le motivazioni dell'interesse crescente.

Avendo analizzato la situazione europea, sia a livello nazionale che regionale e provinciale, si è cercato di determinare se l'esistenza di una maggiore concentrazione di innovazione in una zona potesse essere motivo di sviluppo nelle altre aree geografiche e anche nelle limitrofe.

Per comprendere meglio il panorama delle innovazioni nel campo del solare il lavoro proposto prevede un'analisi brevettuale, in quanto ritenute uno strumento di misura delle innovazioni. L'elaborato è sviluppato mediante un'analisi descrittiva ed empirica basata sui brevetti nel settore solare depositati tra gli anni 1978-2021, comprendente 25.439 brevetti.

Nell'analisi descrittiva vengono esaminate le principali caratteristiche del dataset, confrontandole con i brevetti aventi tecnologia green e brown. Da tale analisi emerge che il settore solare è relativamente giovane e che, nonostante la saturazione, l'impatto di queste tecnologie è ancora forte, con uno sviluppo sempre maggiore della complessità e con indicatori di originalità e generalità maggiori degli altri settori. Si evidenzia, dunque, una notevole versatilità d'impiego della tecnologia che giustifica le spese sostenute in questo settore.

Emerge, inoltre, una divergenza sostanziale tra i diversi Paesi Europei sottolineando quanto l'Occidente sia più sviluppato rispetto alla controparte orientale.

Si conclude poi con un'analisi empirica relativa all'impatto delle citazioni brevettuali sugli spillover geografici. La produzione di conoscenza può essere influenzata dalla produzione brevettuale interna o esterna, e tale informazione può influenzare le politiche decisionali che siano da supporto congiunto. Lo studio cerca di analizzare, effettuando l'analisi per

diversi livelli di aggregazione, quali possono essere i fattori in comune e quali le divergenze che possono emergere. Alcuni fattori, infatti, possono risultare rilevanti solo in alcuni casi, dunque si esaminano eventuali motivazioni ed implicazioni.

Capitolo 1

L'innovazione tecnologica

L'innovazione viene riconosciuta come motore principale dello sviluppo economico e sociale. Tuttavia, la sua definizione in termini teorici risulta complessa. Grazie alle caratteristiche di rilevanza strategica rappresenta un ampio campo di indagine e, allo stesso tempo, articolato. La spinta verso l'innovazione è ulteriormente rafforzata dal fenomeno della globalizzazione che garantisce la possibilità di reperire informazioni e di accedere a capitali anche al di fuori dei confini nazionali, rendendo necessaria la costante ricerca di soluzioni innovative e la crescita delle collaborazioni.

In questo contesto, l'innovazione viene vista come l'attività tramite cui vengono sviluppate nuove idee che possono portare allo sviluppo di nuovi prodotti, servizi o processi.

1.1 Il concetto di innovazione

Nell'ultimo secolo, l'innovazione ha assunto un ruolo cruciale nel determinare lo sviluppo economico di un paese. È infatti nel XX secolo che gli studiosi hanno iniziato ad analizzare gli effetti dell'innovazione.

Joseph Schumpeter, pioniere dell'economia dell'innovazione, definisce la nozione di innovazione come un processo in cui le nuove tecnologie rimpiazzano quelle obsolete.

[Schumpeter \[1939\]](#) fonda la sua analisi partendo dal concetto di sviluppo economico, definito come l'insieme dei cambiamenti strutturali che emergono all'interno del sistema economico in seguito alle iniziative imprenditoriali. Questi mutamenti derivano dalla capacità degli imprenditori di introdurre nuove combinazioni di fattori produttivi e tecnologie esistenti le quali, nella maggior parte dei casi, conducono alla produzione di un nuovo bene o servizio sul mercato. Nello stesso studio definisce, inoltre, i concetti di innovazione e di invenzione che, pur essendo distinti, risultano strettamente interconnessi.

Nelle economie moderne l'innovazione è considerata come il principale motore della crescita economica, la quale permette di innescare un effetto a catena che influenza positivamente altre variabili macroeconomiche agendo su un aumento di consumi, della produttività e dell'occupazione.

Mentre l'invenzione è legata alla creazione di un nuovo prodotto, l'innovazione apporta una modifica al prodotto esistente aggiungendone valore.

La crescente importanza dell'innovazione ha, negli anni, portato molti paesi ad operare delle politiche che potessero stimolarla attraverso incentivi.

Nella teoria dello sviluppo economico di [Schumpeter \[1939\]](#), l'innovazione viene descritta come il mezzo tramite il quale è possibile prolungare le condizioni di monopolio in quanto garantisce un profitto che le grandi imprese possono reinvestire in strutture di ricerca. [Schumpeter \[1939\]](#) descrive anche il concetto di "distruzione creatrice" riferendosi all'innovazione. Riguarda il processo per cui le innovazioni sostituiscono le vecchie tecnologie e le vecchie forme di organizzazione aziendale. La distruzione creatrice viene vista come una forza positiva in grado di stimolare il progresso tecnologico e l'efficienza economica.

[Aghion \[1990\]](#) riprende il concetto di [Schumpeter \[1939\]](#) sviluppando una teoria sullo sviluppo economico che spiega come il processo di distruzione creatrice è in grado di favorire la crescita, stimolando le imprese ad aumentare gli investimenti in ricerca e sviluppo in modo da innovare e creare tecnologie che superino l'efficienza di quelle attuali. Le nuove imprese con tecnologie all'avanguardia sconvolgono il mercato, superando quelle di vecchia data, favorendo quindi un'espansione economica. Gli autori, inoltre, sottolineano il ruolo della concorrenza nel promuovere l'innovazione, correlata all'innovazione e allo sviluppo economico.

[Fagerberg \[1987\]](#) svolgendo un'analisi comparativa nazionale sui tassi di crescita, esplora come l'innovazione abbia contribuito alla crescita dei paesi. In questa ricerca sottolinea che l'innovazione rappresenta un fattore chiave per lo sviluppo economico, sia che i paesi siano grandi attori che emergenti. I paesi che investono denaro nella ricerca, nella formazione della popolazione e nell'uso di nuove tecnologie possono concorrere con economie più importanti e ridurre pertanto il divario con le economie dominanti mettendo in luce il ruolo cruciale dell'innovazione nella riduzione delle disuguaglianze di reddito.

Secondo l'attuale Manuale di Oslo dell'[OECD and Eurostat \[2018\]](#) (OCSE¹), che detta le linee guida per la misurazione dell'innovazione tra i paesi dell'OCSE, l'innovazione è definita come "un prodotto o processo nuovo o migliorato (o una combinazione di entrambi) che differisce in modo significativo dai prodotti o processi precedenti dell'unità e che è stato reso disponibile agli utenti potenziali (nel caso di prodotto) o messo in uso dall'unità (nel caso di processo)".

Tale definizione amplia l'ambito di interesse rispetto alle precedenti, estendendo pertanto il potenziale uso dell'innovazione anche al di fuori del mercato economico.

Il focus del processo di innovazione può essere rivolto allo studio degli input, degli output oppure degli outcome (effetti degli output), e quindi essere misurato tramite le statistiche sui brevetti oppure tramite gli sforzi nella R&D.

Le attività di ricerca e sviluppo infatti sono un importante input per l'innovazione, ma rappresentano solitamente solo un prerequisito.

¹Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico

1.2 L'innovazione green

In un mondo in continua evoluzione, nel passato, è venuta meno l'attenzione verso la sostenibilità. Infatti, tra i temi più dibattuti degli ultimi anni vi è la necessità di conciliare le possibilità di crescita che l'innovazione comporta e cercare di fermare i mutamenti ambientali che rischiano di causare danni economici e sociali.

In questo contesto si inserisce l'innovazione verde che riguarda l'utilizzo efficace delle risorse in modo da ridurre al minimo i possibili danni ambientali.

Il settore richiede però degli ingenti investimenti. Grazie all'intensificarsi dell'attenzione sul tema, negli ultimi anni è emerso un crescente interesse verso uno sviluppo tecnologico ed economico, affiancato ad un approccio sostenibile. A differenza delle epoche passate, il primo passo è stato segnato da una maggiore sensibilità verso la sostenibilità ambientale, ora considerata un potenziale punto di forza e un vantaggio competitivo.

Tale predisposizione è stata sicuramente agevolata dalle politiche mondiali messe in atto, come ad esempio l'Agenda 2030 o il "Green Deal".

Tuttavia, la relazione tra performance economica e ambientale è un tema dibattuto.

Da un lato vi è la descrizione della [Curva ambientale di Kuznets](#)²(EKC) che illustra la relazione tra la crescita economica (misurata dal reddito pro-capite) e il degrado ambientale (misurato dalla quantità di emissioni inquinanti); la teoria suggerisce una relazione a forma di U rovesciata indicando che il degrado ambientale aumenta nelle fasi iniziali dello sviluppo economico di un paese, per poi diminuire man mano che l'economia si sviluppa.

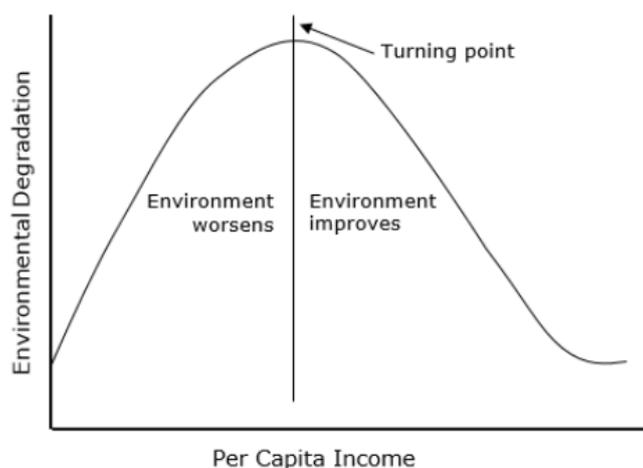


Figura 1.1. Curva ambientale di Kuznets.

Al contempo, si prevede che il degrado ambientale e il cambiamento climatico possano

²Fonte: [Kuznets \[1955\]](#).

influire negativamente sulle performance economiche. Pertanto, le innovazioni rivestono un ruolo cruciale nella relazione tra economia ed ambiente: esse facilitano la performance economica, ma possono anche indirizzare al miglioramento della performance ambientale.

La tesi generale secondo cui le politiche ambientali promuovono l'innovazione e pertanto aumentano il numero di brevetti è supportata da alcune evidenze empiriche (Jaffe et al. [2003]).

Molti studi (ad es. Mohamued et al. [2021], Paramati et al. [2021]) si sono soffermati sull'impatto delle innovazioni studiando le statistiche derivanti dai brevetti o dall'R&D, sulla performance ambientale, ma i risultati delle performance economiche sono rimasti poco approfonditi.

Lo studio di Aldieri et al. [2023] si propone di colmare il gap sopra menzionato indagando sul ruolo delle innovazioni ambientali sulle performance economiche. I risultati mostrano che le innovazioni sono riconosciute come un fattore chiave nella crescita economica e che, quando focalizzate sulle tecnologie ambientali, possono apportare un contributo ancor più significativo alla crescita economica.

Brunnermeier and Cohen [2003] hanno esaminato i fattori che influenzano l'innovazione tecnologica ambientale utilizzando i dati sull'industria manifatturiera degli Stati Uniti. La soluzione ha suggerito che il numero di invenzioni legate all'ambiente aumenta con l'aumento delle spese per la riduzione dell'inquinamento. Inoltre, hanno dimostrato che la competizione internazionale stimola l'innovazione ambientale.

A livello mondiale non tutti i paesi hanno approcciato allo stesso modo e con la stessa intensità il mondo dell'innovazione green. Infatti, a seconda delle diverse possibilità economiche e culturali, ma anche politiche, i paesi industrializzati e quelli in via di sviluppo hanno avuto un approccio diverso (Dechezleprêtre et al. [2013]).

Come precedentemente affermato, poichè la transizione verso un mondo più sostenibile a livello ambientale richiede investimenti importanti, soprattutto nelle fasi iniziali, i paesi più economicamente agiati hanno mostrato uno sviluppo maggiore.

Riprendendo l'approccio della Curva Ambientale di Kuznets (EKC), Munasinghe [1999] afferma che i paesi ancora in via di sviluppo possono sfruttare le conoscenze e le competenze dei paesi industrializzati, sfruttando il cosiddetto "tunnel", che permette di inserire questi paesi in una posizione tale da evitare di attraversare le stesse fasi di crescita perseguite dai paesi più sviluppati e trovarsi, quindi, in una situazione avvantaggiata dall'inizio.

1.3 Leadership tecnologica e il first mover advantage

I ritorni medi privati delle aziende derivanti dall'uso della scienza pubblica sono relativamente limitati. Infatti, nel caso in cui un input sia di facile fruizione per i concorrenti, ne risulta un profitto atteso basso. I ritorni saranno maggiori quando un'azienda è la prima a utilizzare un nuovo prodotto o a scoprire un nuovo campo tecnologico.

Un modo per le aziende di catturare valore dalla scienza pubblica è di sfruttare l'innovazione

prima della concorrenza, beneficiando quindi del vantaggio del first mover ([Marvin Lieberman \[1998\]](#)). Mediante l'introduzione di un nuovo servizio le aziende possono acquisire una posizione da primatista all'interno del mercato.

Il vantaggio del first mover consente di guadagnare una forte loyalty da parte dei clienti, di fissare il prezzo di mercato e di avere più tempo per implementare economie di scala; d'altra parte esistono anche degli svantaggi determinati da investimenti elevati e conseguenti rischi che derivano dall'introduzione di un nuovo prodotto, nonché potenziali problemi relativi all'inerzia della popolazione.

È possibile applicare lo stesso concetto per i Paesi che decidono di adottare per primi le innovazioni di successo. I Paesi che per primi adottano e sviluppano una tecnologia sono considerati lead market, poiché possono acquisire vantaggi in termini di costo e qualità, oltre a ottenere una leadership tecnologica. Ciò che permette il mantenimento della leadership tecnologica è la diffusione della tecnologia e della conoscenza. Quest'ultimo aspetto, sebbene da un lato è in grado di favorire la crescita economica complessiva, può anche ridurre i vantaggi del first mover.

Un esempio di leadership tecnologica è la Danimarca che è pioniere nella realizzazione di parchi eolici, risultato raggiunto tramite gli investimenti nella ricerca e nello stoccaggio dell'elettricità, rispondendo alla necessità di garantire l'indipendenza energetica dal Medio Oriente.

L'innovazione tecnologica è influenzata dall'interconnessione tra alcuni fattori: implementazione tecnologica, disponibilità di capitale umano specializzato, investimenti in R&D pubblici e privati, effetti degli spillover tra settori e nazioni e l'esperienza accumulata nella produzione di tecnologie avanzate.

Secondo [Beise and Rennings \[2005\]](#) affinché un Paese possa emergere come leader di mercato dipende principalmente dai seguenti fattori: competitività in termini di prezzo e qualità, dinamiche di esportazione, capacità di apprendimento, di innovazione ed di assorbimento, domanda interna, quadro istituzionale.

L'EU [\[2017\]](#) ha condotto delle valutazioni sul potenziale vantaggio del first mover. La conclusione dell'analisi ha confermato l'esistenza di impatti positivi nell'incoraggiamento dell'innovazione, ma è contemporaneamente necessario che si inserisca in un piano più ampio e di lungo termine per incoraggiare lo sviluppo tecnologico.

Nello stesso report viene analizzato anche il lavoro di [Karakatsoulis et al. \[2013\]](#), che esamina gli effetti di un'azione anticipata dell'Unione Europea in relazione al cambiamento climatico. I risultati indicano che un'azione unilaterale da parte dell'UE potrebbe comportare effetti negativi sul PIL, senza risolvere necessariamente le problematiche esistenti. Tuttavia, i risultati suggeriscono che l'Europa potrebbe trarre vantaggio dal ruolo di first mover, a condizione che anche il resto del mondo promuova misure di mitigazione.

Al contrario, l'adozione di un approccio che preveda il rinvio dell'azione fino a quando gli altri Paesi non intraprendano misure equivalenti risulterebbe svantaggiosa. Questa strategia, infatti, comporterebbe costi maggiori per l'Europa, la quale necessiterebbe ingenti spese per la decarbonizzazione.

Capitolo 2

Il concetto di spillover

Le esternalità di rete favoriscono la diffusione dell'innovazione, esse si manifestano quando un'innovazione diventa più preziosa e utile quanto più viene adottata da altri attori nel mercato. Pertanto, studiare le esternalità permette di comprendere come l'innovazione influenzi l'adozione su larga scala delle tecnologie e come riescono a stimolare ulteriori innovazioni. Gli spillover e le esternalità derivanti dai campi della ricerca e sviluppo hanno rappresentato i settori di interesse più attivi in economia degli ultimi trent'anni. Il motivo di tale focus risiede nella loro importanza volta ad incentivare la teoria della crescita e lo sviluppo della produttività.

In economia, con il termine spillover, si intende il fenomeno per cui un'attività economica, progettata per generare benefici ad un determinato settore, produce effetti positivi anche oltre tale ambito.

Invece, le esternalità (positive o negative) si generano da comportamenti messi in atto da un gruppo di persone (imprese) o da singoli individui.

Gli spillover sono suddivisi in tre macro categorie: knowledge spillovers, industry spillovers e network spillovers.

Nel primo gruppo rientrano tutti i casi in cui nuove scoperte, idee o tecnologie che vengono sviluppate nei reparti di R&D si diffondono per essere utilizzate anche oltre i propri confini, generando quindi ricadute positive nell'ambito dell'innovazione e della produttività.

Si hanno industry spillovers quando i beni e i servizi aumentano la domanda di prodotti complementari in altri settori.

Il network spillovers si manifesta quando la presenza di industrie creative in un determinato territorio apporta benefici anche alle altre imprese locali.

Esistono degli spillover che sono legati alla localizzazione geografica e i loro effetti sulla generazione di innovazione sono riconosciuti e studiati. Tale principio deriva dalla capacità delle industrie di generare le esternalità positive che possono essere trasmesse.

D'altra parte risulta di fondamentale importanza il concetto di capacità assorbente che è determinante per comprendere quanto rapidamente una tecnologia è in grado di diffondersi.

2.1 Knowledge spillover: le due facce della stessa medaglia

In generale, gli spillover di conoscenza si verificano quando l'idea di un inventore ha effetto anche sui competitors, su altri settori dell'economia o su altri paesi arricchendo così il patrimonio di conoscenze disponibile.

L'ipotesi fondamentale è che, una volta prodotta, la conoscenza tende a diffondersi, risultando difficile da contenere e generando benefici ampiamente distribuiti. Griliches [1979, 1991] definisce un "puro spillover di conoscenza", ossia quando la conoscenza rilevante viene trasferita da un'azienda ad un'altra senza che il destinatario della conoscenza paghi direttamente il produttore.

Questo fenomeno può manifestarsi a livello geografico, all'interno dello stesso settore economico o campo tecnologico, oppure in tecnologie o settori correlati.

La diffusione tecnologica può pertanto comportare una maggiore produttività, innovazione e competitività e inoltre può migliorare il benessere sociale.

L'esistenza degli spillover di conoscenza e di tecnologia rappresenta un canale fondamentale per alimentare la possibilità di innovazione tecnologica, sia in termini di qualità sia al fine di ridurre i tempi necessari per la produzione di nuova tecnologia.

Nel contesto attuale di espansione dei mercati, le imprese, al fine di rafforzare il proprio vantaggio competitivo e di guadagnare quote di mercato, anche in risposta alla concorrenza internazionale e all'integrazione europea, concentrano i loro sforzi sull'innovazione tecnologica e sull'investimento nella conoscenza.

Lo stock di conoscenza è considerato come un bene pubblico impuro, responsabile sia di benefici privati che benefici pubblici.

Lo studio delle ricadute di conoscenza nell'innovazione è rilevante in quanto permette di comprendere le logiche secondo cui i fondi vengono stanziati. Infatti, il sostegno risulta maggiore nel caso in cui un'area tecnologica possa generare o meno una maggiore ricaduta. Dechezleprêtre et al. [2014], ad esempio, determinano che nell'ambito delle tecnologie pulite le ricadute di conoscenza sono maggiori, attraendo così maggiori sovvenzioni. Nella ricerca viene sottolineato come la portata delle ricadute di conoscenza nell'ambito del green sia paragonabile agli spillover generati a campi emergenti dell'IT e delle nanotecnologie¹.

La presenza o l'assenza di processi di spillover di conoscenza tra i confini dei paesi può influenzare significativamente le politiche governative in materia di spesa per ricerca e sviluppo. La mancata diffusione della conoscenza potrebbe portare un governo nazionale ad investire nella creazione di industrie domestiche ed approfittare degli sforzi altrui. Di contro, se si dimostra che la conoscenza si propaga tra i paesi vicini, potrebbe risultare efficace ed efficiente progettare e attuare politiche di ricerca e sviluppo comuni (Grafström [2018]).

Il fenomeno per cui gli spillover di conoscenza stimolano altri paesi e la tecnologia, può, quindi, non essere sempre soltanto positivo. Infatti, questi spillover possono agire come

¹Si noti che tale settore ha rappresentato il motore della terza rivoluzione industriale.

disincentivo per i decisori nazionali che potrebbero essere spinti ad adottare un approccio da free-rider ([Peters et al. \[2012\]](#)).

L'importanza di tali tematiche ha motivato una serie di studi empirici nel campo dei flussi di conoscenza e delle relative esternalità di rete. I contributi in tale ambito di ricerca differiscono tra di loro per il modo in cui i flussi di conoscenza vengono interpretati e per il livello di aggregazione e di utilizzo dei dati nell'analisi.

2.2 Gli spillover geografici

Nel capitolo precedente si è menzionato come la globalizzazione abbia comportato un interesse sempre crescente nell'innovazione in modo da riuscire ad avere sempre di più un vantaggio competitivo.

Anche nell'ambito degli spillover la globalizzazione e la riduzione delle distanze hanno avuto un impatto fondamentale. Infatti, spesso si ritiene che tale fenomeno abbia comportato un declino relativo all'importanza della localizzazione come determinante delle diversità sociali e culturali di un Paese.

Sebbene la localizzazione spaziale risulti rilevante per le nuove ricerche in quanto luogo di aggregazione di università, servizi, centri di ricerca, ecc., sempre di più emerge la necessità di collaborazioni tra un insieme di attori anche aventi background diversi. L'interazione è agevolata dalla prossimità territoriale, ma con l'aumento dell'efficacia dei mezzi di comunicazione e di trasporto, le distanze geografiche si stanno riducendo sempre di più, così come le differenze, in quanto risulta più o meno facilitata la diffusione di cultura e conoscenza tra paesi geograficamente distanti.

[Aldieri et al. \[2023\]](#) affermano che, nel considerare la performance economica, risulta importante la misura degli spillover geografici. La relazione positiva tra innovazioni ambientali e PIL è, infatti, accentuata dalla vicinanza geografica e dalle esternalità che generano gli altri Paesi.

Di conseguenza, sono molti gli studi sugli spillover spaziali, che alcuni ritengono determinanti per la diffusione della conoscenza, gli studi evidenziano l'importanza della vicinanza geografica. In realtà, il tema rimane oggetto di dibattito².

Uno dei primi articoli riguardante questo tema è stato elaborato da [Jaffe et al. \[1993\]](#), i quali dimostrano che le ricadute che genera la ricerca sulle imprese sono maggiori quanto maggiore è la vicinanza dell'impresa dal centro di ricerca. [Jaffe and Trajtenberg \[1996, 1999\]](#) dimostrano che gli spillover, in prima battuta, tendono a manifestarsi tra imprese che sono geograficamente vicine e, successivamente, raggiungono aree geografiche più ampie; gli spillover tra regioni si verificheranno più frequentemente quando le regioni appartengono allo stesso paese e sono tra loro vicine ([Maurseth and Verspagen \[2002\]](#)).

In altre ricerche, condotte da [Lychagin et al. \[2016\]](#), si dimostra che, nonostante la crescita

²Gli articoli che seguono riguardanti lo studio degli spillover geografici si fondano sugli indicatori relativi alle citazioni dei brevetti; [sezione 4.4](#)

delle comunicazioni e delle interconnessioni, l'aumento degli spillover è proporzionale alla riduzione della distanza geografica.

D'altra parte, negli anni più recenti si inizia a verificare un'inversione di tale tendenza. [Griffith et al. \[2011\]](#) osservano che i trasferimenti tecnologici hanno subito cambiamenti nel corso del tempo, riducendo la loro dipendenza dalla prossimità geografica. L'indipendenza dalla vicinanza geografica riflette un ridimensionamento dalle barriere geografiche, reso possibile dal progresso delle comunicazioni e dalla facilità di spostamento.

2.3 Gli spillover tecnologici

La letteratura sull'innovazione ha anche studiato questioni riguardanti la direzione dei flussi di conoscenza, quindi focalizzandosi sulla provenienza della conoscenza che contribuisce allo sviluppo di una tecnologia. Alcuni autori hanno sostenuto che basarsi su esperienze pregresse, specifiche ad un determinato campo tecnologico, possa comportare maggiori spillover di conoscenza. Ciò è giustificato dal fatto che la ricerca e l'apprendimento locale possono trarre vantaggio dal carattere cumulativo incrementale e della conoscenza nello sviluppo tecnologico ([Dosi \[1982\]](#), [Cohen et al. \[1990\]](#)).

Il tipo di conoscenza può dipendere dalle caratteristiche intrinseche di ciascun campo tecnologico. Si distinguono, quindi gli spillover intra-tecnologici³, e gli spillover inter-tecnologici⁴. Pertanto, possono verificarsi spillover tra tecnologie diverse in modo da usufruire delle conoscenze pregresse.

[Jaffe et al. \[2005\]](#) sostengono che la conoscenza genera spillover ad altri paesi spingendo quindi verso la crescita economica; tuttavia, sono anche le imprese a beneficiare di tale conoscenza in quanto le innovazioni nei settori green si diffondono a settori esterni.

L'utilizzo di spillover tecnologici riduce il rischio di generare un lock-in tecnologico; ciò che influenza gli spillover tra diverse tecnologie risiede in due caratteristiche: la diversità dello stato dell'arte precedente e il grado di centralità tecnologica ([Battke et al. \[2016\]](#)).

Esempi di flussi di spillover di conoscenza in settori esterni si possono visualizzare nella [Tabella 2.1](#).

2.4 Knowledge spillover nel settore delle energie rinnovabili: studi precedenti

A causa del crescente aumento delle emissioni di carbonio e il futuro climatico incerto determinato dal cambiamento in atto, c'è stata una spinta verso le tecnologie rinnovabili. Nel campo delle energie rinnovabili, le evidenze concrete di esistenza di spillover di conoscenza internazionale sono ancora esigue, ma risultano essere estremamente rilevanti da studiare.

³Si riferiscono a flussi di conoscenza all'interno dello stesso campo delle tecnologie energetiche rinnovabili.

⁴Si riferiscono ai flussi di conoscenza verso altre tecnologie di generazione di energia, si tratta di campi tecnologici correlati.

Esempi di flussi di ricadute di conoscenza esterna	Settore
Vento	Ala di aeroplano Aeromobile con controllo dello sbandamento tramite resistenza differenziale Impianto eolico
Idroelettrico	Turbina Venturi a energia eolica
Fotovoltaico (PV)	Dispositivi elettrodi biologicamente integrati Unità di condizionamento di potenza con convertitori di tensione Sistemi di circuiti di alimentazione a interruttore alternativo
CCS (Cattura e stoccaggio del carbonio)	Processo per purificare un flusso di gas dalle sue impurità di N ₂ O
Biodiesel	Lubrificanti e fluidi per pozzi Metodo per processare materiali lipidici Sistema chiuso per apparati bioreattori
Bioetanolo	Metodo per raffinazione dello zucchero degradando rapidamente le fibre di canna Composizione a basso contenuto di aromatici
Nucleare	Sistemi e metodi per controllare a distanza una macchina Sviluppo di dati di processo e sistema di analisi Metodi per produrre fibre di carburo di silicio Dispositivo di ricombinazione e metodo per ricombinare cataliticamente l'idrogeno
Veicoli elettrici	Silenziatore radiale controflusso per riduzione di NO e raccolta di inquinanti Rimborso in contanti durante la transazione al distributore Pompa di calore con collettore solare integrato Condizionatore d'aria per veicoli

Tabella 2.1. Esempi di flussi di ricadute di conoscenza in settori esterni

Negli anni recenti i costi di produzione dell'energia sono diminuiti grazie all'adozione di varie tecnologie sostenibili, in particolare l'energia eolica on-shore e il solare fotovoltaico. L'innovazione tecnologica si rivela quindi cruciale per abbassare i costi dell'energia rinnovabile.

[Nelson \[1985\]](#) descrive l'innovazione come una nuova combinazione di materiali concettuali e fisici già esistenti, evidenziando l'importanza delle imprese nel fondere conoscenze tecniche, organizzative e di mercato già acquisite.

Poichè la conoscenza è un bene pubblico, parte dell'idea originale compromette anche altre aziende, altri settori ma anche altri campi tecnologici, generando quindi delle esternalità

positive per l'economia.

Le politiche pubbliche intervengono in quanto le conseguenze dell'inquinamento non sono a carico solo della stessa azienda, ma saranno di dominio pubblico e quindi a carico di terzi (si parla di esternalità ambientale).

I fallimenti di mercato, barriere (ad esempio vincoli nel mercato dei capitali, asimmetrie informative ed esternalità legate alla sicurezza nazionale, come illustrato da [Gillingham and Sweeney \[2012\]](#)), ma anche le caratteristiche intrinseche che comporta il cambiamento tecnologico (feedback di conoscenza, esternalità di apprendimento, path dependence, lock-in; [Arthur \[1989\]](#), [Nelson \[1985\]](#), [Mowery and Rosenberg \[1999\]](#)), giustificano l'intervento del governo nel campo delle energie rinnovabili. Lo studio di [Dechezleprêtre et al. \[2014\]](#) mostra come la maggiore intensità di brevetti green potrebbe indicare maggiori spillover di conoscenza motivando un incremento dell'investimento pubblico nell'R&D pulita.

Studi precedenti di [Peters et al. \[2012\]](#) hanno trovato prove di spillover legati all'impatto delle politiche pubbliche sullo sviluppo del settore solare fotovoltaico. Infatti, viene dimostrato che le politiche pubbliche svolgono un ruolo importante nella stimolazione all'innovazione, le imprese private, invece, hanno incentivi troppo esigui per investire in tecnologie pulite.

Altri studi, che hanno puntato il focus a livello aziendale, hanno indagato su spillover di conoscenza e sui determinanti dei brevetti per le energie rinnovabili. Ad esempio, [Aldieri and Cincera \[2009\]](#) hanno adottato un approccio basato sullo stock di conoscenza per esaminare gli spillover derivanti dalla crescita della produttività nelle grandi aziende internazionali di ricerca e sviluppo.

[Corradini et al. \[2015\]](#) hanno, invece, analizzato le decisioni delle aziende riguardanti gli investimenti in innovazione nell'ambito della fornitura di beni pubblici misti utilizzando un modello basato sullo stock di conoscenza. I risultati mostrano una correlazione positiva tra le prestazioni ambientali e quelle innovative che possono essere amplificati da vari meccanismi di spillover.

Per l'analisi degli spillover geografici si riporta il risultato di [Grafström \[2018\]](#), la cui ricerca si basa sullo studio di come uno stock di conoscenza e il suo accumulo in un determinato paese influenza la produzione inventiva in altri paesi, focalizzandosi su brevetti riguardanti l'energia eolica. Nel paper vengono indagati gli effetti della distanza geografica sul processo di spillover di conoscenza e quindi gli stock sono ponderati in base alla distanza geografica tra i vari paesi.

Ciò che emerge da tale studio rivela che lo stock di conoscenza di un paese ha un impatto positivo sulla futura produzione di brevetti e vi è conferma sull'esistenza di spillover di conoscenza tra paesi nell'ambito dell'energia eolica. Tuttavia tale studio si discosta da quello ottenuto da [Braun et al. \[2010\]](#), la loro conclusione suggerisce che gli spillover internazionali non sembrano avere effetto sulle invenzioni nel settore dell'energia eolica. Una possibile spiegazione per il limitato spillover di conoscenza internazionale osservato in tali studi potrebbe essere da attribuire al fatto che molti dei paesi coinvolti non disponevano di adeguate capacità di assorbimento, ovvero della capacità di assimilare conoscenze provenienti dall'esterno ([Cohen and Levinthal \[1989\]](#)).

L'aumento della sensibilizzazione da parte dei cittadini nei confronti del cambiamento climatico ha comportato, negli Stati Uniti, un aumento delle installazioni di pannelli fotovoltaici installati sui tetti (aumento del circa 60%). Tuttavia Irwin [2021] ritiene che tale aumento è determinato anche dagli spillover spaziali generati da un residente nei confronti del suo vicino.

Nell'ambito delle tecnologie energetiche, ricerche precedenti si sono soffermate sullo studio del contributo dell'energia pulita in diversi campi tecnologici. Utilizzando degli indicatori specifici relativi alle citazioni dei brevetti (sezione 4.4), Popp and Newell [2012] dimostrano che i brevetti green contribuiscono ad un insieme più ampio di classi di brevetti. Allo stesso modo Dechezleprêtre et al. [2013] mostra che la generalità è maggiore nel caso di tecnologie pulite, quindi hanno un maggior spettro di applicazione.

2.5 Absorptive capacity

Le esternalità positive derivanti dalla tecnologia generata all'estero e che confluiscono in un'impresa domestica dipendono dalle capacità del paese di destinazione di comprendere e sfruttare tale conoscenza esterna (Aldieri and Cincera [2009], Mancusi [2008]).

Secondo Engelbrecht [1997] e Nelson and Phelps [1966] le caratteristiche della capacità di assorbimento determinano l'efficacia di un paese nel convertire la tecnologia importata in aumenti di produttività nella propria produzione.

In assenza di capacità di assorbimento, un flusso di spillover potrebbe non essere compreso e sfruttato e, di conseguenza, non comporterebbe i benefici degli sforzi effettuati da altri paesi (Cohen and Levinthal [1989]).

Il legame tra gli spillover e la capacità di assorbimento indica che gli incentivi per i paesi di sfruttare i progressi tecnologici altrui e, quindi, ridurre gli investimenti nella propria ricerca e sviluppo, sono più deboli rispetto a quanto sarebbero senza spillover. Questo perché gli spillover possono comportare una riduzione di incentivo ad investire in tecnologia, contribuendo così al rallentamento della diffusione dello sviluppo delle energie rinnovabili. Tuttavia, se i paesi approfittano dei benefici senza aumentare la loro capacità di investimento, potrebbero incorrere in una situazione in cui la scarsità di absorbtive capacity comporta una difficile installazione e comprensione di nuove tecnologie (Fischer [2008], Jaffe et al. [2005], Popp [2005]).

Le nazioni devono pertanto essere dotate di conoscenze scientifiche e tecniche necessarie per affrontare i cambiamenti indotti dalle condizioni esterne.

2.6 Free riding

I beni economici possono essere divisi in due categorie: beni pubblici e beni privati. Mentre i beni privati permettono al proprietario di godere di tutti i benefici del consumo e contemporaneamente prevedere al sostenimento di tutti i costi, i beni pubblici godono di caratteristiche di non rivalità e non escludibilità.

Per un bene pubblico quindi, il consumo del bene da parte di una persona, non limita la capacità degli altri al consumo dello stesso bene; la non escludibilità prevede invece l'impossibilità di impedire la fruizione a soggetti non paganti.

Alcuni studi ([Stiglitz et al. \[1999\]](#)) all'interno di questa distinzione netta affermano l'esistenza di beni pubblici impuri. In questa classificazione ricade ad esempio la conoscenza, la quale genera effetti positivi, in quanto bene pubblico e, contemporaneamente, crea una sottoproduzione poiché gli individui hanno forti incentivi a non contribuire, ma sfruttare gli sforzi degli altri, questo fenomeno viene chiamato free-riding.

Tuttavia, un bene pubblico impuro genera anche dei benefici privati, che derivano dal consumo del bene, ma la mancata esistenza di protezione della conoscenza può determinare una diffusione di benefici.

Quanto affermato sottolinea che la conoscenza risulta accessibile a livello globale, ma l'esistenza di un certo grado di escludibilità e quindi la possibilità di appropriazione di parte di alcuni benefici, classifica la conoscenza come bene pubblico.

Un recente studio di [Baudry and Bonnet \[2019\]](#) analizza il free riding nell'eolico in cui viene dimostrata riduzione di diffusione di energia eolica in presenza di comportamenti opportunistici da parte dei paesi.

La minaccia del free riding potrebbe comportare una deterrenza da parte delle aziende all'investimento in nuove tecnologie, incorrendo nel rischio di essere copiati, senza incorrere nei medesimi costi.

La diffusione della conoscenza può portare a un sotto-investimento nello sviluppo di nuove innovazioni e, come evidenziato da [Gerarden et al. \[2015\]](#), nel caso delle innovazioni energetiche efficienti, tale sotto-investimento può aumentare il divario di efficienza energetica con impatti negativi sull'economia complessiva.

Il problema del free-riding genera un fallimento di mercato. Nell'ambito del green il fallimento riguarda un trattato internazionale significativo sul clima, ovvero il Protocollo di Kyoto, rendendo complicato il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'accordo.

Come descritto in precedenza, gli spillover di conoscenza possono fungere da aiuto agli altri paesi, tuttavia tale aspetto potrebbe anche fungere da disincentivo per i responsabili politici alla creazione di mercati domestici. La presenza di effettivi comportamenti di free-riding dovrebbe incentivare la nascita di policy che permettano di scoraggiare tale comportamento.

[Corradini et al. \[2015\]](#) dimostrano l'esistenza del problema del free-riding nelle imprese. Quanto emerge sottolinea che le imprese reagiscono positivamente agli investimenti di altre imprese nella riduzione delle emissioni e che l'investimento di un'azienda è aumentato dalle spese di altre. Ciò comporta una riduzione delle emissioni che, nonostante un'esistenza di obblighi legali, viene aggirata. Il paper analizza anche eventuali soluzioni, suggerendo che un approccio che permetterebbe di scoraggiare tale comportamento prevederebbe un aumento di obiettivi ambientali stringenti.

La minaccia del free-riding prevede pertanto un rallentamento nello sviluppo delle nuove tecnologie. Infatti, [Bosetti et al. \[2008\]](#) sottolineano che gli spillover internazionali tendono ad aumentare il rischio di free-riding e ridurre gli investimenti in R&D nel campo energetico

e, nel caso specifico, alla riduzione dell'inquinamento. Dall'[IEA](#) vengono varate, quindi, delle misure che permettono di trarre vantaggio dalle nuove innovazioni.

2.7 I brevetti per il cambiamento tecnologico

Tutti gli studi relativi alla letteratura precedentemente menzionata fanno uso dei brevetti e delle statistiche che è possibile ricavare dalle analisi brevettuali.

Nel corso degli ultimi decenni è stato evidenziato che i processi di creazione di nuove conoscenze sono fondamentali per lo sviluppo, la crescita e il cambiamento socio-economico.

I dati sulla ricerca e sviluppo offrono una misura diretta dell'attività innovativa a differenza dei dati brevettuali che non risultano essere altrettanto diretti. Approssimativamente si potrebbe prevedere una correlazione tra l'aumento di brevetti e dell'attività di R&D, inoltre, l'esistenza di un brevetto non implica necessariamente l'adozione di tale tecnologia.

Tuttavia, i dati brevettuali risultano utili nello studio del cambiamento tecnologico e dell'effetto prodotto sull'ambiente. L'utilizzo dei brevetti come misura di attività inventiva nasce con [Schmookler \[1951\]](#). Nel corso del tempo la letteratura si è interrogata sull'uso dei brevetti come mezzo per valutare i progressi tecnologici. Infatti, anche le ricerche precedentemente enunciate relative allo studio degli spillover e alla misura delle innovazioni, si fondano sui dati brevettuali.

Tramite gli studi empirici condotti da [Levin et al. \[1987\]](#), si è dimostrato che la propensione a brevettare varia a seconda dei diversi settori industriali. Di conseguenza, nell'analizzare le tendenze innovative utilizzando dati brevettuali, è essenziale considerare tale variazione. La relazione tra output innovativo è misurato dal numero di domande di brevetto di una tecnologia e gli input sono determinati dalle spese di R&D, dal capitale umano, da strumenti di politica e da fonti di spillover.

Le variabili di input per gli spillover nazionali, internazionali, inter- e intra-settoriali sono anch'esse determinate dal numero di domande di brevetto.

2.7.1 Generalità

Secondo la definizione della World Intellectual Property Organization ([WIPO](#)) i brevetti forniscono un resoconto dettagliato di ogni invenzione, si tratta di un documento che viene autorizzato da un'agenzia governativa e conferisce al titolare un monopolio temporaneo, concede il diritto di escludere altri soggetti dall'utilizzo dell'invenzione per un periodo di tempo limitato (20 anni). Sono un meccanismo di protezione di titoli di proprietà intellettuale a tutela dell'inventore.

Il processo di brevettazione può essere influenzato da diversi fattori, ma talvolta alcuni inventori potrebbero decidere di non divulgare pubblicamente la propria innovazione⁵.

⁵La protezione su un'innovazione brevettata ha una durata massima di 20 anni, dopo tale periodo il diritto dell'inventore scade e l'invenzione diventa di dominio pubblico, diversamente accade per il segreto industriale, che, se correttamente conservato e non divulgato, ha durata illimitata.

Un aspetto fondamentale nel monitoraggio dell'attività innovativa è la sua misurazione. I brevetti sono un potente indicatore nell'analisi degli spillover, in quanto promotori di idee realmente nuove, pertanto, sono spesso utilizzati per monitorare gli sviluppi tecnologici in campi specifici.

Inoltre, assicurano il confronto tra i paesi e permettono di effettuare analisi temporali. L'analisi è possibile grazie alle informazioni che accompagnano la domanda di brevetto, vi sono infatti indicazioni sugli inventori, classificazione tecnologica, copertura della protezione per monitorare le innovazioni tecnologiche, tempistica dell'invenzione e anche informazioni sulla distribuzione geografica. L'ulteriore motivazione che spinge all'utilizzo dei brevetti risiede nella facilità di accesso a tali dati.

Da un lato, [Schumpeter \[1939\]](#) e altri autori considerano le statistiche sui brevetti una misura rigorosa di invenzione che si differenzia dall'innovazione. L'invenzione pertanto è definita come l'idea o la conoscenza che precede lo sviluppo, lo sfruttamento commerciale e la diffusione di prodotti e processi nuovi e migliori, che costituiscono l'innovazione. In altri casi ([Griliches \[1990\]](#)) l'attività di brevettazione è vista come un prodotto intermedio derivante dall'impiego di risorse nelle attività di ricerca e sviluppo. Griliches e i suoi colleghi adottano quindi il concetto di "funzione di produzione della conoscenza" in cui l'input è la R&D e l'output intermedio sono le invenzioni brevettate.

[Jaffe \[1983\]](#), in lavori di ricerca, ha sviluppato l'idea che il modello di brevetti aziendali può essere utilizzato per valutare la posizione di un'azienda nello "spazio tecnologico", usando gli spillover della ricerca e sviluppo. Questo metodo dimostra che la ricerca e l'innovazione condotta da altri, valutata in base alla distanza dalla posizione tecnologica dell'azienda, ha un impatto evidente sul suo successo.

I dati sui brevetti sono anche stati utilizzati da Pavitt e Soete ([Pavitt and Soete \[1980\]](#), [Pavitt and Patel \[1988\]](#)) per analizzare la competitività di vari paesi e per descrivere e confrontare la localizzazione internazionale dell'attività inventiva in diverse industrie. D'altra parte gli svantaggi dell'utilizzo dei brevetti come proxy per il risultato innovativo sono determinati da alcune asimmetrie: la propensione a brevettare, a seconda delle diverse normative, può variare tra imprese ed industrie, inoltre non tutte le innovazioni hanno un grande valore economico. Un ulteriore aspetto da monitorare è determinato dal lag temporale che intercorre tra la presentazione della domanda di brevetto e il tempo necessario affinché tale brevetto venga pubblicato (18 mesi).

A causa del ritardo che intercorre tra la data di domanda di brevetto, data di pubblicazione e quella di eventuale concessione, potrebbero presentarsi delle distorsioni nelle analisi e quindi osservare una contrazione del numero di brevetti; la distorsione che emerge viene identificata come troncamento.

2.7.2 L'iter di brevettazione e la domanda di brevetto

Affinchè un'invenzione venga brevettata è necessario che vengano rispettati i seguenti requisiti definiti dal [Codice civile](#):

- novità: un'invenzione è considerata nuova se non è già compresa nello stato della tecnica (Art 46 CPI);
- attività inventiva: un'invenzione implica attività inventiva quando, per una persona esperta del campo, non risulti in modo evidente dallo stato della tecnica (Art 48 CPI);
- industrialità: un'invenzione ha applicazione industriale se l'oggetto può essere fabbricato o usato in ogni genere di industria, compresa quella agricola (Art 49 CPI).

L'ufficio incaricato ad esaminare le domande di brevetto europeo e la relativa concessione di titoli è l'[EPO](#) (European Patent Office).

La valutazione di nuove domande di brevetti tiene conto del monitoraggio quotidiano di un gran numero di brevetti già concessi.

La procedura di brevettazione inizia nel momento in cui viene depositata una domanda di brevetto presso uno degli uffici preposti. Dopo 18 mesi dalla data di deposito la domanda di brevetto viene pubblicata e resa disponibile. Successivamente, l'Ufficio esegue una ricerca sullo stato dell'arte e si propone di rintracciare documenti che sono correlati all'innovazione in modo da garantire il requisito relativo alla novità. Al termine della fase di esame, è prevista una fase di concessione del brevetto (se l'esaminatore ha deciso positivamente per la concessione) e l'Ufficio procederà alla pubblicazione del testo.

Il brevetto è composto da alcuni elementi fondamentali: titolo, dati anagrafici del richiedente⁶, dati anagrafici dell'inventore⁷, documenti brevettuali⁸. Nella descrizione dell'invenzione deve essere contenuto il settore specifico del campo di ricerca e inoltre deve contenere lo stato della tecnica pre-esistente (include le citazioni ai brevetti esistenti).

I diritti conferiti dal brevetto sono di due diverse nature: patrimoniali e morali. I primi sono alienabili e trasmissibili, spettano all'autore dell'invenzione e ai suoi aventi causa. Tuttavia il diritto sull'invenzione può essere trasferito; infatti, i diritti sul brevetto possono essere assegnati all'inventore, oppure all'azienda in cui lavora, o talvolta può essere ceduta la licenza. In quest'ultima casistica il proprietario (licenziante) concede il permesso ad un soggetto terzo (licenziatario) ad utilizzare l'invenzione brevettata. La cessione della licenza concede al proprietario di ricevere periodicamente delle retribuzioni sottoforma di royalty ([Ministero delle Imprese e del Made in Italy](#)), nella maggior parte dei casi invece viene ceduta la titolarità e quindi la proprietà, pertanto il cedente non ha alcun potere. Il diritto morale, invece, è inalienabile ed è unicamente posseduto dal padre dell'invenzione.

⁶Il richiedente può essere rappresentato da una persona fisica o giuridica.

⁷L'inventore è rappresentato da una persona fisica.

⁸Riassunto, descrizione, rivendicazioni ed eventuali disegni.

Capitolo 3

Il solare: stato dell'arte e motivazioni di ricerca

I problemi relativi al riscaldamento globale e al cambiamento climatico sono tra i più urgenti per le economie di tutto il mondo. Le ripercussioni climatiche relative all'aumento di anidride carbonica e dei gas serra in generale sono evidenti e causano aumenti di temperatura e criticità nello sviluppo delle nazioni.

[Appolloni et al. \[2021\]](#) sostengono che aziende, centri di ricerca e la politica cercano iniziative e regolamenti che riducano e mitighino le emissioni di gas serra. Dal lato della domanda vengono individuati miglioramenti nell'efficienza energetica in modo da garantire che le esigenze energetiche delle economie vengano ridotte o l'energia disponibile venga usata in modo più efficiente. Dal lato dell'offerta, la migliore strategia è combinare le preoccupazioni ambientali con la conservazione delle risorse naturali per migliorare l'efficienza.

Per raggiungere questo obiettivo, ovvero la sostituzione delle fonti fossili, dovrebbe essere presa in considerazione la produzione di energia basata su combustibili con forme di energia alternative, rinnovabili e rispettose dell'ambiente ([Ding et al. \[2022\]](#), [Moutinho et al. \[2018\]](#)). Una fonte di energia rinnovabile è definita come l'energia prodotta dalle risorse rinnovabili¹; questa energia rinnovabile è sicura, relativamente illimitata e pulita, pertanto cresce sempre più rapidamente e si ritiene la più plausibile per la sostituzione delle fonti energetiche tradizionali.

Si stima che più del 70% delle emissioni di gas serra provengono dal settore energetico, suddiviso tra trasporto, energia per uso industriale ed energia per uso domestico.

Negli ultimi anni, la ricerca alle fonti energetiche sostenibili ha visto una crescita significativa per il solare fotovoltaico. Il solare risulta una delle misure più adeguate per contrastare le emissioni, infatti, nel 2022, la capacità installata di energia solare ha superato i 1.200 gigawatt (GW), diventando quindi la seconda più grande fonte di energia rinnovabile², con

¹Ad esempio sono considerate risorse rinnovabili la biomassa, i rifiuti, il legno, le onde, il mare, il geotermico, il vento e il sole.

²La prima è l'energia eolica.

una crescita prevista di circa 350-400 GW ogni anno fino al 2027. Ogni gigawatt di energia solare può evitare l'emissione di circa 1,5 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno, rendendo possibile una riduzione complessiva delle emissioni di miliardi di tonnellate da qui al 2030, se la crescita continua a questo ritmo ([International Energy Agency \[2022\]](#)).

Le tecnologie energetiche nuove e rinnovabili coprono vari campi, ma tra questi l'energia solare (che include l'energia termica solare e il fotovoltaico) è considerata l'alternativa più conveniente ai combustibili fossili, in quanto fonte inesauribile di energia, accompagnata dalla capacità di non produrre gas climalteranti.

L'importanza di tale fonte è il prezzo competitivo, a differenza di altre energie rinnovabili, è, infatti, tra le più economiche a disposizione su scala globale e gli esperti prevedono che i costi rimarranno bassi per molto tempo ([Inspire Clean Energy, 2021](#)). L'economia di scala sta portando il costo del solare a prezzi contenuti, permettendo, quindi, un vantaggio nelle installazioni. Tuttavia, nonostante i numeri raggiunti nella produzione di energia da questa fonte, non sarebbe possibile un'alimentazione che preveda lo spegnimento delle fonti fossili a favore di un sistema energetico totalmente basato sul solare. Il problema è determinato dal fatto che questa fonte non è programmabile, pertanto sono necessarie sempre più innovazioni che puntino all'utilizzo di sistemi di accumulo e di trasporto di energia, in modo da renderla indipendente dalle fonti fossili.

L'energia solare può essenzialmente essere sfruttata in tre modi: energia solare concentrata, riscaldamento e raffreddamento solare, e fotovoltaico. Mentre i primi due utilizzano il calore solare per il riscaldamento dell'acqua nei sistemi di riscaldamento e raffreddamento solare o per alimentare le turbine elettriche tradizionali nelle centrali a energia solare concentrata, i fotovoltaici usano un metodo elettronico che permette di creare elettricità direttamente dalla luce solare.

La sfida però non riguarda soltanto la generazione di più energia ma anche un trasporto e uno stoccaggio efficiente.

3.1 La nascita del fotovoltaico e del solare termico

L'energia solare³ può essere utilizzata per generare elettricità (fotovoltaico) o per generare calore (solare termico).

Per quanto riguarda i moduli fotovoltaici si fa riferimento a celle fotovoltaiche in grado di convertire la luce solare in energia elettrica. La tecnologia fondamentale del fotovoltaico è la cella fotovoltaica che permette di convertire l'energia luminosa in energia elettrica ([IRENA \[2019\]](#)). La composizione prevede l'utilizzo di un materiale semiconduttore come il silicio.

Il fisico Alexandre Edmond Becquerel, nel 1839, scoprì l'effetto fotovoltaico: era generato

³I tipi di tecnologie relative alle categorie dell'energia solare sono elencate nella [Sottosezione sottosezione 4.3.1](#).

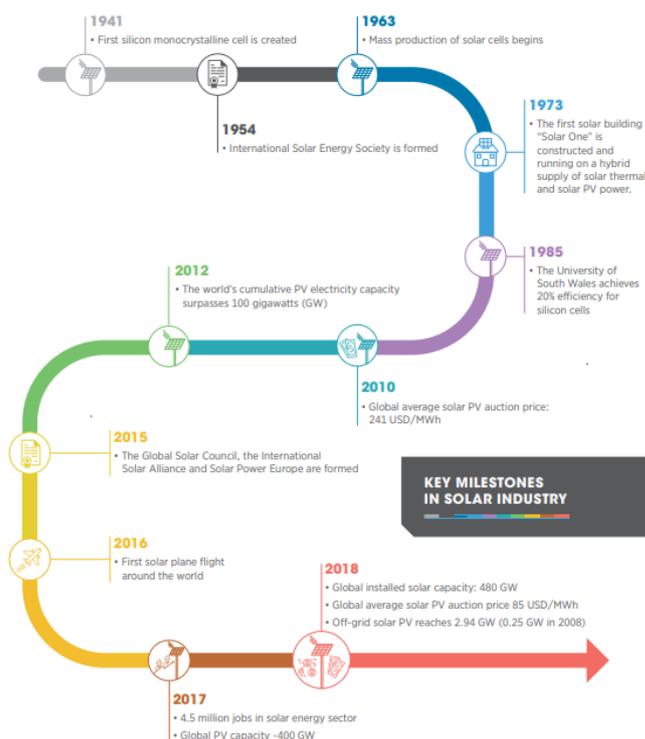


Figura 3.1. Le principali milestone dell'industria solare. Fonte: [IRENA \[2019\]](#)

un piccolo flusso di corrente tramite l'esposizione solare degli elettrodi⁴. Questo fenomeno fu successivamente approfondito nel 1876 da Smith, Adams ed Evans studiando l'effetto della luce su determinati materiali (come il selenio).

Nel 1879 Charles Fritts costruì la prima cella fotovoltaica in selenio e nel 1909 Albert Einstein sviluppò la teoria che gli permise di vincere il Nobel nel 1921: "L'effetto Fotoelettrico". Nel 1954 Pearson, Chapin e Fuller dei Laboratori Bell riuscirono a sviluppare la prima cella solare al silicio, capace di generare una quantità di energia elettrica sufficiente ad alimentare una piccola ricetrasmittente. Tale invenzione fu brevettata l'anno successivo che determinò, secondo il *New York Times*, l'inizio di una nuova era ([The New York Times \[1954\]](#)). Infatti a seguito di queste scoperte, l'impiego pratico del fotovoltaico aumentò⁵.

Il pannello solare termico (collettore solare) sfrutta l'intensità delle radiazioni solari per la produzione di calore. L'energia termica viene prodotta tramite la presenza di un liquido all'interno del sistema, e, se riscaldati, permettono di scambiare calore. A differenza dei

⁴Il termine fotovoltaico significa letteralmente "elettricità della luce", indica pertanto il fenomeno tale per cui le radiazioni solari cedono parte della loro energia quando interagiscono con alcuni materiali.

⁵Ad esempio furono montati su un satellite mandato in orbita.

pannelli fotovoltaici sono realizzati in metallo. La nascita dei pannelli solari termici è molto antica, risalente infatti all'impero romano e successivamente ampliati con lo studio di Leonardo Da Vinci.

Il primo brevetto relativo a questo settore risale al 1891, quando Clarence Kemp brevettò il primo pannello solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria. Il sistema si diffuse rapidamente, avvantaggiato dalla crisi energetica del 1973.

Durante gli anni '80 sono stati poi promossi dei programmi di finanziamento che hanno contribuito lo sviluppo del settore e l'espansione in tutto il mondo.

Esistono, poi, i pannelli solari ibridi, in grado di integrare entrambe le funzionalità, ottimizzando l'utilizzo dell'energia solare⁶. Questi tipi di pannelli sono composti da un modulo fotovoltaico e da un collettore solare termico. Permettono lo sfruttamento dell'irraggiamento solare per generare elettricità e riscaldare l'acqua.

3.2 Domanda di ricerca

È ampiamente riconosciuto che i benefici ricavati dagli spillover di conoscenza delle attività innovative sono motivo di intervento del governo nel mercato, in quanto potrebbero determinare le allocazioni dei fondi derivanti dalla ricerca e sviluppo. Tuttavia, non tutte le innovazioni sono in grado di creare ricadute nella stessa misura, infatti la ricerca si concentra su settori che possono generare spillover maggiori.

Nel contesto del settore fotovoltaico, [Fischer \[2008\]](#), [Jaffe et al. \[2005\]](#) e [Popp \[2005\]](#) mostrano che gli spillover di conoscenza tendono a correlarsi con un sotto-investimento nella R&D poichè il beneficio non è interamente trattenuto. Pertanto i benefici sociali pubblici degli investimenti sono superiori ai benefici individuali ottenuti dall'azienda, tale divario rischia di riversarsi in un sotto-investimento.

Riprendendo degli studi effettuati in Cina da [Gao and Meng \[2023\]](#), si sottolinea la presenza di diffusione dell'innovazione ancora prevalentemente a livello regionale.

Studi precedenti relativi all'innovazione nel campo del settore solare, non riferito alle installazioni ma ai determinanti dello sviluppo della tecnologia, ad esempio [Johnstone et al. \[2010\]](#), esaminano gli effetti delle politiche pubbliche sull'innovazione nel settore. La ricerca sottolinea una crescita nell'innovazione di tale campo; i risultati empirici indicano che ciò che ha contribuito ad un aumento è determinato dall'influenza significativa sullo sviluppo delle tecnologie nel settore. Anche le spese pubbliche e la R&D hanno effetto positivo e significativo sull'innovazione del solare.

[Hoppmann \[2013\]](#) studia gli spillover di conoscenza tra le imprese per l'innovazione delle tecnologie ambientali prodotte in massa⁷, puntando il focus sul settore PV come tecnologia

⁶Possono essere utilizzati per ottenere elettricità ed aria calda, oppure elettricità ed acqua calda, a seconda del tipo di installazione.

⁷Le tecnologie ambientali prodotte in massa hanno un elevato grado di standardizzazione. La produzione di tecnologia su larga scala offre la possibilità di diffusione e la riduzione di costi ([Huenteler et al. \[2016\]](#)).

ambientale chiave e la loro produzione nelle imprese quotate in borsa che producono celle solari in silicio cristallino. Gli spillover si propagano tra imprese del settore che guidano l'innovazione.

Nonostante il crescente interesse nell'ambito, il fattore determinante dell'innovazione di tecnologie come il solare e l'eolico è un campo ancora poco esplorato. Braun et al. [2010] mirano a colmare tale lacuna, esaminando i fattori che guidano l'attività inventiva e soffermandosi sugli spillover di conoscenza di simili tecnologie. Le analisi empiriche dimostrano che gli spillover di conoscenza rappresentano un input cruciale nel processo di generazione di conoscenza, ma relegato ancora ad un fenomeno prevalentemente nazionale. Nella stessa ricerca i risultati mostrano che le ricadute domestiche all'interno della stessa tecnologia sono i motori dell'output innovativo solare ma che le ricadute intra-settoriali relative alla R&D nel solare sono minori rispetto al settore eolico. Dimostrano, inoltre, che l'innovazione solare ed eolica beneficiano maggiormente degli spillover intra-tecnologici. Infatti tali spillover inter-settoriali si sono verificati nel settore del fotovoltaico correlato all'industria dei semiconduttori, in particolare, in Giappone, utilizzando sottoprodotti del silicio per la produzione di celle solari e sfruttando il know-how dei processi.

Tali tecnologie subiscono però ancora uno svantaggio in termini di costo, necessitano infatti di un sostegno ingente da parte di finanziamenti pubblici per la R&D per stimolarne lo sviluppo.

Inoltre, gli studi della ricerca rilevano che i trasferimenti di conoscenza nazionali nella tecnologia solare sono i driver principali per lo sviluppo dell'output innovativo del campo stesso. Le conclusioni emerse, lasciavano aperta la possibilità che tali risultati potessero essere stati influenzati anche dall'immatunità del settore, suggerendo l'ipotesi che, con una maturazione tecnologica i trasferimenti di conoscenze internazionali potrebbero assumere un ruolo più rilevante ed influente.

Lo studio di Braun et al. [2010] è del 2010 e quindi agli albori della ricerca sul fotovoltaico.

Come precedentemente suggerito, quanto più un settore risulta importante e determinante, tanto più sarà utilizzato nel futuro e genererà spillover, pertanto risulta necessaria anche un'analisi e un'esplorazione, utilizzando i dati disponibili, delle caratteristiche della tecnologia.

Il settore sta acquisendo un'importanza rilevante a causa del crescente interesse mondiale in sviluppo di energie alternative e anche grazie agli investimenti promossi in tale settore.

In questo ambito, le nuove innovazioni risultano fondamentali per garantire una produzione efficiente di energia alternativa, pertanto viene illustrata una panoramica che permette di delineare un quadro sulla situazione in Europa.

Oltre alle tecnologie già esistenti, una comprensione approfondita delle innovazioni nei diversi contesti geografici può chiarire l'approccio adottato nel settore solare. Questo consente non solo di consolidare le tecnologie attuali, ma anche di creare le condizioni per lo sviluppo di nuove soluzioni, fondamentali per migliorare l'efficienza delle risorse già in uso.

A causa degli studi ancora esigui in materia, questo elaborato cerca di fornire una panoramica completa dello stato attuale della tecnologia solare, utilizzando i dati più recenti mediante l'analisi sui brevetti.

Inoltre, una lacuna importante per la comprensione dello sviluppo economico sostenibile è determinata dagli esigui studi dei potenziali effetti degli spillover di conoscenza determinati dalle innovazioni ambientali. Questo lavoro riconosce la capacità degli spillover di generare valore economico e si impegna ad analizzare il contributo a tale ricchezza del settore riguardante il fotovoltaico.

Alla luce di quanto accennato, uno studio sul settore fotovoltaico consente di valutare quanto gli spillover siano presenti nello sviluppo di nuove tecnologie tra le diverse zone geografiche, analizzando l'impatto, positivo o negativo, che possono avere gli spillover, studiando la dimensione del settore, ovvero comprendere se nel solare il trasferimento di conoscenze è ancora un fenomeno prevalentemente nazionale o in grado di propagarsi anche oltre i confini.

Grazie ai dati brevettuali più recenti, la presente domanda di ricerca cerca di indagare l'esistenza di spillover geografici ad un livello nazionale, regionale e provinciale nel settore del solare utilizzando le citazioni dei brevetti. L'elaborato, inoltre, esplora anche le principali caratteristiche del settore, la crescita nel tempo, la collaborazione tra le persone, la distribuzione in Europa e lo stato dell'arte utilizzato per le innovazioni, confrontando alcuni di questi indicatori con il più generico settore green o con le informazioni disponibili relative alle innovazioni di altri settori.

3.3 Metodologia utilizzata

Secondo quanto affermato nel capitolo precedente, i brevetti sono in grado di fotografare un'innovazione, secondo la loro definizione, potranno delineare se vi è effettiva crescita dell'interesse in tale ambito. Pertanto, ai fini dell'analisi descrittiva, il database utilizzato comprenderà un insieme di brevetti del settore la cui classificazione è riportata nella [sottosezione 4.1.1](#). Mediante l'utilizzo di questi dati sarà possibile determinare quali sono le aree geografiche che sono maggiormente impegnate nella crescita del settore. È, inoltre, possibile determinare quali sono le sotto categorie maggiormente utilizzate e se è presente un utilizzo congiunto di più tecnologie. Nel capitolo successivo verrà analizzata la crescita dei brevetti del settore, confrontata alla crescita del settore green e del database EPO.

Il database è costruito per rispondere all'analisi su tre diversi livelli di aggregazione geografica distinti, i cui dati saranno determinati dalle indicazioni relative alla localizzazione dell'inventore dei brevetti.

Inoltre, gli indicatori relativi alle citazioni e al numero di inventori sono fondamentali nel sistema brevettuale e sono, inoltre, di facile fruizione in quanto reperibili da informazioni riportate nelle domande di brevetto.

La categoria di informazione relativa alle citazioni risulta importante per poter accedere allo stato dell'arte precedente, dimostrare quindi quanto la nuova invenzione sia originale ed innovativa rispetto alle scoperte precedenti.

Le citazioni nascono per garantire una completa valorizzazione del mercato interno dei prodotti e servizi innovativi, per questo motivo si considera essenziale, durante il processo di

diffusione della conoscenza tecnologica, l'adozione di misure volte al miglioramento dell'efficienza e dell'accessibilità per gli utenti, nel settore della proprietà industriale. Questo principio era precedentemente riconosciuto nel Piano di Azione per il mercato unico, adottato dal Consiglio Europeo di Amsterdam nel giugno 1997. Nel piano la Comunità ha espresso la consapevolezza dell'importanza del legame tra innovazione, crescita ed occupazione in materia di proprietà industriale.

A seconda del sistema brevettuale possono esistere responsabilità diverse: nei brevetti presentati presso l'EPO i riferimenti ai brevetti preesistenti possono essere aggiunti dall'esaminatore del brevetto o dal richiedente⁸. Tendenzialmente, il numero di riferimenti nei brevetti EPO è inferiore rispetto al numero riscontrato nei brevetti statunitensi (Agyeman and LLC [2021]).

L'analisi delle citazioni dei brevetti si basa sull'idea che i brevetti citati hanno avuto un'influenza sullo sviluppo del brevetto corrente ed ha avuto anche ampio utilizzo nel tracciamento dei progressi tecnologici.

Relativamente l'utilizzo del numero di inventori, da studi di Luo and Wood [2017] sui brevetti statunitensi, sono state reperite informazioni che hanno permesso di definire che le innovazioni tecnologiche, nel tempo, hanno richiesto team sempre più ampi e un crescente impiego di tecnologie associate a brevetti precedenti. Questo ha portato all'identificazione di tendenze utili a determinare la complessità e l'importanza dei brevetti. Affermano, inoltre, che il processo di invenzione è un sistema in cui gli inventori collaborano al fine di integrare le conoscenze per creare nuove tecnologie. Gli inventori vengono considerati come gli elementi generici dei processi di invenzione. L'invenzione è l'output che risulta tra le interazioni tra gli inventori e l'elaborazione di conoscenza, pertanto la produzione di invenzione degli inventori è il risultato che emerge dal processo di invenzione.

Nonostante sia nota l'esistenza di altre misurazioni per la complessità del processo di invenzione, utilizzano il numero di inventori in quanto ritenuti dati pratici e di facile fruizione. Nonostante ciò, Luo and Wood [2017] nella loro ricerca ritengono che non sempre è presente un'effettiva collaborazione, ma talvolta gli inventori tendono ad inserire co-inventori per questioni strategiche. Inoltre, occasionalmente, alcuni avvocati brevettuali ed esaminatori potrebbero aggiungere ex post, rispetto all'attività inventiva, creando rumore nell'interpretazione delle tendenze.

3.3.1 Misurare le esternalità tramite le citazioni e il numero di inventori

Il database è stato costruito tenendo conto dell'importanza delle citazioni e del numero di inventori anche per l'analisi econometrica. L'utilizzo delle citazioni risulta rilevante sia per analizzare l'effettiva esistenza dello stato dell'arte precedente ma anche come misura dello stock di conoscenza.

⁸Per i brevetti presentati nel sistema statunitense è compito dei richiedenti del brevetto inserire le informazioni relative all'arte pre-esistente. Diversamente avviene per i brevetti presentati in Cina, Giappone e Corea per cui non esiste alcuna lista di riferimenti allo stato dell'arte precedente.

Secondo quanto affermato nei capitoli introduttivi l'utilizzo delle citazioni ha un'importanza rilevante per determinare la conoscenza accumulata. Pertanto, in letteratura, vengono utilizzate molto spesso per la determinazione degli spillover. Tramite la geolocalizzazione dei brevetti è possibile determinare la geografia dei brevetti citati grazie alle informazioni relative alla localizzazione degli inventori. Risulta inoltre utile, grazie alle informazioni sulle localizzazioni, determinare le distanze geografiche tra le località. Maggiore distanza potrebbe infatti essere più rilevante ai fini della diffusione di conoscenza. Nell'analisi econometrica verrà, infatti, utilizzata l'informazione sulla distanza geografica pesata.

Allo stesso modo, anche il numero di inventori può essere utilizzato come proxy per la definizione del numero di risorse che vengono allocate per la creazione di innovazione. La determinazione del numero di inventori per brevetto può risultare determinante al fine di definire gli spillover generati dai brevetti fotovoltaici, infatti una maggiore complessità potrebbe determinare una visibilità maggiore nel mercato. Indica, inoltre, un'espansione maggiore soprattutto se gli inventori provengono da zone di analisi diverse. Inoltre, in base alla correlazione tra paesi ([Allegato 2](#)) è possibile determinare l'estensione di un'invenzione. Infatti, il numero di inventori associati ad un brevetto potrebbe riflettere l'investimento di risorse di R&D. Le informazioni relative al personale di ricerca e sviluppo non sono direttamente disponibili.

Nonostante i vantaggi, l'utilizzo di questi dati potrebbe avere dei limiti in quanto non rappresenta fedelmente tutto il personale R&D; molte persone infatti potrebbero non figurare come inventori. In alcuni casi, come vedremo, i brevetti possono essere creati da un singolo inventore e pertanto sottostimare il vero livello del personale impiegato.

Un ulteriore dato che permette di spiegare la generazione delle innovazioni riguarda le spese di ricerca e sviluppo (come effettuato da [Grafström \[2018\]](#)). I dati relativi alle spese di ricerca e sviluppo nel settore dell'energia solare provengono da [IEA Energy Technology Research and Development](#), tuttavia la granularità si ferma ad un livello nazionale. Pertanto, per effettuare una ricerca a livello regionale e provinciale, con il GDP, si utilizza anche il valore del GERD (Gross Domestic Expenditure on R&D) che include le spese per la ricerca e sviluppo effettuate sul territorio nazionale in un periodo di riferimento, considerato un indicatore primario della spesa di R&D di un paese⁹.

⁹Viene riportata in [Allegato 3](#) la matrice di correlazione tra spesa in R&D e il GERD nazionale.

Capitolo 4

Misure e analisi descrittive

I dati necessari per l'analisi sui brevetti sono estratti dall'[EPO PATSTAT](#) istituito e gestito dall'European Patent Office ([EPO](#)). L'EPO è dedicato a cittadini ed imprese e fornisce procedure uniformi in materia di protezione di brevetti, comprende 38 Paesi europei. Tramite la procedura dell'EPO viene data la possibilità di effettuare un'unica procedura di deposito che garantisce la protezione del titolo in 44 Paesi Europei.

Sulla base del database EPO vengono estratte le informazioni necessarie per l'analisi del presente elaborato, per la creazione del database utilizzato.

4.1 Metodologie di costruzione del dataset

Il database utilizzato per questo elaborato viene costruito tenendo conto dei dati relativi al numero di citazioni (backward e forward), agli inventori, al numero di inventori, agli applicants e ai relativi settori di riferimento, all'anno di deposito del brevetto, all'anno di concessione del brevetto.

L'analisi avviene su dati brevettuali depositati nel periodo 1978-2021, consentendo di analizzare l'evoluzione tecnologica nel tempo e il processo di sostituzione delle tecnologie obsolete con quelle più recenti. Questa scelta si ispira allo studio di [Grafström \[2018\]](#), ma si distingue per l'inclusione degli ultimi dieci anni, considerati rilevanti alla luce di eventi che potrebbero aver avuto un impatto sull'innovazione brevettuale.

Le informazioni riguardanti i brevetti fanno anche riferimento alla data di deposito e all'indicazione sull'eventuale avvenuta della concessione, definito tramite una dummy. Nel caso di concessione del brevetto, vi è anche riferimento alla data. Per quanto riguarda le analisi effettuate vengono però prese in considerazione tutte le domande di brevetto depositate in Europa, considerando anche i brevetti non ancora concessi, in quanto ritenuti importanti per la determinazione del contributo all'analisi della conoscenza disponibile.

Al fine di analizzare l'esistenza degli spillover e la diffusione a livello europeo della tecnologia, bisogna considerare la distribuzione geografica. Poiché l'inventore e il richiedente

potrebbero non coincidere e vivere in luoghi diversi, è fondamentale stabilire su quale delle due informazioni focalizzarsi per l'analisi. Seguendo quanto utilizzato in letteratura, nelle analisi successive, i dati sui brevetti saranno esaminati sulla posizione geografica dell'inventore, piuttosto che su quella del richiedente. Si è preferito proseguire per questa soluzione in quanto il richiedente potrebbe essere un'azienda avente sede legale in un luogo diverso da dove è stata generata la conoscenza.

Tuttavia, come vedremo in seguito, è possibile che un brevetto posseda più di un inventore, in questo caso si applica il seguente criterio: se tutti gli inventori appartengono alla stessa nazionalità, il brevetto viene conteggiato come 1 per quella nazione; se invece gli inventori sono di nazionalità differenti, il brevetto viene suddiviso proporzionalmente in base al numero di inventori per ciascuna nazionalità¹. Una possibile metodologia alternativa avrebbe considerato il conteggio di un brevetto aggiuntivo per ciascun inventore di nazionalità diversa, duplicando così i brevetti e rischiando di sovrastimare la presenza di inventori in una specifica area geografica. Tuttavia, l'approccio adottato evita questa sovrastima, registrando semplicemente se vi è o meno attività inventiva in un determinato Paese o zona.

Un'ulteriore caratteristica necessaria inserita all'interno del database che permette di rispondere alle domande di ricerca preposte è relativa alle citazioni. Questi dati permettono di conoscere lo stato dell'arte precedente e dimostrare quanto la nuova invenzione sia originale ed innovativa rispetto alle scoperte esistenti. I dati relativi alle citazioni saranno anche necessari per misurare gli spillover. Come anticipato precedentemente, in letteratura tale misura avviene attraverso il conteggio delle citazioni, si considereranno le citazioni forward e backward, non vengono prese come indicatori invece le autocitazioni degli inventori che potrebbero non catturare le ricadute esterne di conoscenza ([Dechezleprêtre et al. \[2014\]](#)).

4.1.1 Classificazione dei brevetti

Al fine di effettuare un'analisi a livello settoriale dei brevetti, è necessario un raggruppamento. I brevetti relativi alle diverse aree tematiche possono essere identificati usando i codici della [IPC](#) (International Patent Classification), sviluppata presso la WIPO. Questo sistema di classificazioni è presentato sottoforma di gerarchia di codici, strutturata su livelli diversi. Le tecnologie brevettabili sono suddivise in 8 sezioni (A-H), tale suddivisione permette di effettuare scelte mirate:

- A. bisogni umani;
- B. esecuzione di operazioni e di trasporto;
- C. chimica metallurgica;
- D. tessili e carta;
- E. costruzioni di immobili;

¹Viene utilizzato l'approccio seguito da [Grafström \[2018\]](#)

F. industria meccanica, illuminazione, riscaldamento, armi e sabbiatura;

G. fisica;

H. energia elettrica.

Le tecnologie per i pannelli solari sono incluse nei settori F e H, con particolare riferimento alle sottoclassi "F24S" e "H02S".

La [Tabella 4.1](#) rappresenta un esempio di classificazione gerarchica dei brevetti relativi a pannelli fotovoltaici che utilizzano fluidi di lavoro, specificatamente negli elementi di assorbimento racchiusi da contenitori trasparenti.

Level	Symbol	Description
Section	F	Ingegneria meccanica; illuminazione; riscaldamento; armi; esplosivi
Subsection	F2	Illuminazione; Riscaldamento
Class	F24	Riscaldamento; unità di riscaldamento; ventilazione
Subclass	F24S	Pannelli solari termici; sistemi di riscaldamento solare
Main Group	F24S 10/00	Collettori termici solari che utilizzano fluidi di lavoro
Subgroup	F24S 10/40	Elementi di assorbimento racchiusi da contenitori trasparenti (ad esempio collettori di calore solare a vuoto)

Tabella 4.1. Esempio IPC divisions. Fonte [WIPO](#)

A seguito dello sviluppo di tecnologie green, si visualizza un aumento di brevetti in questo ambito, pertanto nasce la necessità di raccogliarli in un'unica libreria.

Nel 2010 la collaborazione tra [WIPO](#) e [UNFCCC](#) ha prodotto una metodologia chiamata [IPC Green Inventory I](#) che comprende le "Tecnologie Ambientali Sostenibili" (ESTs) definita come "tecnologie che hanno il potenziale per migliorare significativamente le performance ambientali". Le ESTs sono in grado di ridurre l'impatto ambientale, riducendo l'inquinamento e i rifiuti e aumentando il riciclo.

L'IPC Green può essere applicato solo ai brevetti classificati con i codici IPC e viene aggiornato ogni 1° Gennaio.

Nello specifico, la Green Inventory contiene circa 200 voci ed è fornito un elenco di circa 1180 codici IPC associati a tecnologie green e raggruppati in sette aree tecnologiche che si suddividono a loro volta in sottogruppi:

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

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

Il database dell'EPO fornisce un'ulteriore informazione relativa alla presenza o meno di tecnologie relative al cambiamento climatico.

Tale informazione viene definita come CCMT definita dalla UNFCCC come "tecnologie che possono essere collegate a un intervento umano volto a ridurre le fonti o aumentare i pozzi di gas serra" (Veefkind et al. [2012]) e tale metodologia è applicabile ai brevetti con codici CPC.

Per la classificazione CCMT si considerano 35 campi tecnologici. Tramite questa metodologia è possibile definire quali sono i brevetti green².

Nel 2013, l'EPO, in collaborazione con l'Ufficio Statunitense dei brevetti e marchi, introduce un'ulteriore metodologia: CPC (Classifica cooperativa dei brevetti). Questa classificazione è un ampliamento della metodologia IPC. Viene introdotta una nuova sezione Y (che indica gli sviluppi tecnologici) e che comprende tutti i brevetti CCMTs. Lo schema è denominato "Y02-Y04S tagging scheme", tramite il quale è possibile mappare le tecnologie sostenibili.

Il gruppo Y02 si riferisce alle "tecnologie o applicazioni di mitigazione o adattamento per il cambiamento climatico". Il gruppo Y04S è uno schema dedicato alle reti intelligenti, è strettamente connesso ad Y02 in quanto contiene le tecnologie di natura informatica che esercitano un impatto green sulle altre tecnologie. È suddiviso in 5 gruppi principali³

L'EPO definisce la classe "Y02" come comprendente le tecnologie che riducono, controllano o prevengono le emissioni antropiche di gas serra [GHG] e tecnologie che permettono di adattarsi agli effetti negativi del cambiamento climatico, nel contesto del protocollo di Kyoto e dell'Accordo di Parigi. Definisce, inoltre, la seguente suddivisione e descrizione e per lo schema Y02-Y04S riportata in [Tabella 4.2](#).

Nell'elaborato trattato verrà preso in considerazione il codice Y02E a sua volta composto da 7 gruppi, riportati nella [Tabella 4.3](#)

²Saranno definiti green i brevetti aventi almeno uno dei 35 campi tecnologici appartenenti alla classificazione CCMT.

³Sistemi che supportano la generazione, trasmissione o distribuzione di energia elettrica (Y04S10/00), sistemi che supportano la gestione o il funzionamento di applicazioni dell'utente finale (Y04S20/00), applicazioni utente nel settore dei trasporti (Y04S30/00) e comunicazioni specifiche o tecnologie dell'informazione (Y04S40/00).

Simbolo	Titolo	Descrizione
Y02A	Tecnologie o applicazioni per la mitigazione o adattamento contro il cambiamento climatico	Copre le tecnologie per l'adattamento al cambiamento climatico (ad esempio tecnologie che permettendo di adattarsi agli effetti avversi del cambiamento nell'uomo, nell'industria e nelle attività economiche)
Y02B	Tecnologie di mitigazione del cambiamento climatico relative agli edifici	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	Tecnologie di mitigazione del cambiamento climatico nelle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT), volte alla riduzione del loro stesso consumo	Tecnologie dell'informazione e della comunicazione [ICT] il cui scopo è minimizzare l'uso di energia durante il funzionamento delle attrezzature ICT coinvolte.
Y02E	Tecnologie di mitigazione del cambiamento climatico nella generazione di energia, trasmissione o distribuzione	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 beni	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

Tabella 4.2. Classificazione Y02. Fonte: *Espacenet-EPO*

L'[OECD](#) ha sviluppato l'ENV-TECH ossia una serie di strategie di ricerca sui brevetti per identificare le tecnologie ambientali selezionate, combina sia i codici IPC che i codici CPC.

Codice Y02E	Descrizione
10/00	Produzione di energia attraverso fonti di energia rinnovabile
20/00	Tecnologie di combustione con potenziale di mitigazione
30/00	Produzione di energia di origine nucleare
40/00	Tecnologie per una generazione, trasmissione o distribuzione di energia elettrica
50/00	Tecnologie per la produzione di combustibili non fossili
60/00	Tecnologie con contributo potenziale o indiretto alla mitigazione delle emissioni di gas serra
70/00	Altri sistemi di conversione o gestione dell'energia che riducono le emissioni di gas serra

Tabella 4.3. Classificazione Y02E. Fonte: *Espacenet-EPO*

Le classi IPC/CPC selezionate sono raggruppate in 80 campi tecnologici che appartengono ad 8 famiglie ambientali e sono separati in 5 aree diverse. Le famiglie appartengono ad un primo livello di aggregazione (1 cifra), sono divise in gruppi (2 cifre) e sottogruppi (3 cifre)(OECD [2017]).

Favot et al. [2023] hanno schematizzato le metodologie di classificazione dei brevetti verdi nella Tabella 4.4.

Organisation	Codification technology	CPC codes	IPC codes
EPO	Y02/Y04S Tagging scheme	✓	Not applicable
WIPO&UNFCC	IPC Green inventory	Not applicable	✓
OECD	ENV-TECH	✓	✓

Tabella 4.4. Metodologie di classificazione dei brevetti verdi

Per lo sviluppo successivo viene utilizzata la classificazione CPC in quanto avente categorie più specifiche che permettono di coprire i vari aspetti della tecnologia dei pannelli fotovoltaici.

4.1.2 I livelli NUTS

La localizzazione degli inventori può essere attribuita su tre diversi livelli di granularità. Per la localizzazione si fa riferimento alla Nomenclatura delle Unità Territoriali Statistiche (NUTS) che suddivide il territorio economico degli Stati membri, permette di rilevare, compilare e diffondere le statistiche regionali. Viene inoltre utilizzato per condurre le analisi socioeconomiche nelle regioni. Si tratta di un sistema gerarchico in cui il territorio degli Stati membri viene suddiviso; le zone geografiche sono comparabili dal punto di vista di dimensioni e di popolazione.

Ogni stato membro viene suddiviso in 3 livelli: NUTS1 (principali regioni socioeconomiche),

NUTS2 (regioni per l'applicazione delle politiche regionali), NUTS3 (piccoli regioni per analisi specifiche) ([Classificazione gerarchica del NUTS](#)). In alcuni casi la suddivisione NUTS potrebbe essere ancora più specifica, suddividendo maggiormente in altre unità territoriali. I dati NUTS identificano univocamente, mediante un codice alfanumerico, ogni zona geografica.

Nell'analisi presentata i dati a disposizione per i paesi europei hanno come granularità minima il terzo livello della classificazione NUTS.

4.2 Struttura del database

Il database attualmente accessibile contiene 3.848.243 richieste di brevetto, tutte presentate tra il 1978 e il 2021. Nella visualizzazione delle statistiche relative alla percentuale di brevetti concessi si riporta la [Tabella 4.5](#).

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
grnt_dm (gruppo 1)	3,848,243	0.5329601	0.4989125	0	1
grnt_lg	2,041,711	5.179713	2.50466	0.6657534	24.91233
grnt_dm (gruppo 2)	3,390,027	0.5793125	0.4936695	0	1

Tabella 4.5. Statistiche riassuntive per la variabile `grnt_dm` nei due gruppi e per la variabile `grnt_lg`

Inevitabilmente, a causa dei requisiti richiesti, non tutti i brevetti richiesti sono stati concessi. In effetti, la percentuale di brevetti concessi è di circa il 53% (gruppo 1).

È da tener presente che esiste però un lag che intercorre tra la domanda di brevetto e l'effettiva concessione, tale lag nel database ha una media di circa 5.18 anni, pertanto, per ottenere una percentuale verosimile sui brevetti effettivamente concessi, sarebbe opportuno escludere i brevetti la cui domanda è stata presentata 5 anni prima (gruppo 2).

In questo caso il numero di brevetti sarà pari a 3.390.027 e la percentuale di brevetti concessi ammonta a circa il 58%.

Come già indicato, per le analisi successive verranno considerati anche i brevetti non concessi.

Riprendendo quanto precedentemente affermato, il numero medio di inventori e depositanti può essere molto diverso ([Tabella 4.6](#)), in quanto i due ruoli non coincidono necessariamente. In effetti, mentre da un lato un'invenzione può avere più inventori in relazione alla diversa complessità del brevetto ([sezione 4.6](#)), dall'altro solo poche entità detengono il diritto legale su un singolo brevetto. Tale risultato si verifica anche nel caso in cui si tratti di progetti di collaborazione internazionale, spesso un unico ente, con sede legale in un solo paese, è detentore legale del brevetto.

Quanto mostrato nella [Tabella 4.7](#) rappresenta quanto precedentemente affermato, sottolineando che il 75% delle osservazioni presenta un valore minore o uguale ad 1 e solo il 25% delle osservazioni presenta un valore superiore ad 1.

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
invt_nb	3,848,243	2.655573	1.937479	0	133
apct_nb	3,848,243	1.078257	0.3639165	0	62

Tabella 4.6. Statistiche riassuntive per il numero di inventori e il numero di applicants.

Variable	Obs	Percentile	Centile	[95% conf. interval]
apct_nb	3,848,243	25	1	[1, 1]
		50	1	[1, 1]
		75	1	[1, 1]

Tabella 4.7. Percentili per la variabile apct_nb

A questo punto, poichè considerando soltanto i brevetti aventi numero di depositanti maggiore ad 1 anche la media degli inventori aumenta, è opportuno effettuare delle analisi di correlazione in modo da verificare l'esistenza di una relazione tra le due variabili.

La [Tabella 4.8](#) mostra una correlazione debole tra le due variabili, sebbene sia vero che ad un maggior numero di inventori è associato un maggior numero di applicants, la relazione potrebbe essere influenzata dall'ampiezza dell'azienda, dal tipo di settore.

	invt_nb	apct_nb
invt_nb	1.0000	
apct_nb	0.1247	1.0000

Tabella 4.8. Tabella di Correlazione tra invt_nb e apct_nb

L'analisi delle altre variabili presenti nel dataset, come i trend storici relativi alle date di applications, possono essere misura dell'evoluzione dell'innovazione. La [Figura 4.1](#), realizzata raggruppando il numero di brevetti di 5 anni, dice molto sul ruolo della tecnologia nella società.

Gli studi sui dati rivelano un'evidente crescita delle domande di brevetto. Questa crescita potrebbe essere legata all'introduzione di nuove tecnologie ed invenzioni e all'estensione dei diritti di proprietà intellettuale dei brevetti.

L'analisi dei brevetti ha permesso di valutare la tendenza alla crescita dell'attività di innovazione negli ultimi anni, facendo emergere che lo sviluppo è stato principalmente nella crescita di alcuni settori.

L'ultimo periodo analizzato (2018-2021) sembrerebbe indicare un decremento. Tale calo è attribuito al fatto che il periodo considerato è un triennio (e non un quinquennio), poichè i dati ultimi sono del 2021. In realtà, il report dell'[EPO 2022](#) riporta un numero di domande di brevetto pari a 193.460, confermando il trend crescente precedentemente menzionato.

Periodo	Frequenza	Percentuale
1978-1982	89,500	2.33%
1983-1987	196,790	5.11%
1988-1992	293,715	7.63%
1993-1997	339,949	8.83%
1998-2002	535,193	13.91%
2003-2007	658,497	17.11%
2008-2012	683,374	17.76%
2013-2017	746,693	19.40%
2018-2021	304,532	7.91%
Totale	3,848,243	

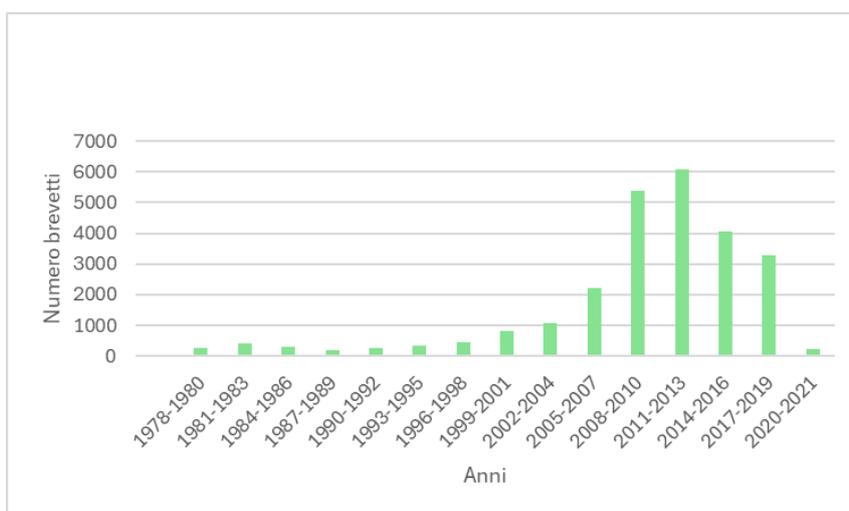


Figura 4.1. Andamento temporale dei brevetti nel corso del tempo, raggruppati per 3 anni

4.3 I brevetti green

Le tecnologie green, grazie alla capacità di sostituire quelle basate sui combustibili fossili, si configurano come radicali e dirompenti all'interno del settore energetico (Geels [2018], Markard and Truffer [2008], Wilson [2018]).

Queste tecnologie si basano su input di conoscenza diverse, possono provenire infatti da tecnologie non correlate e per questo risultare più complesse rispetto alle tecnologie inquinanti (Barbieri et al. [2020]).

Utilizzando la classificazione CPC si può comprendere l'andamento dell'innovazione green e lo sviluppo negli anni recenti.

Dall'analisi risulta che i brevetti che utilizzano almeno una tecnologia green (identificata da uno dei settori Y02) sono 319.329, ossia circa l'8,3% dei brevetti totali.

Il valore, se a primo impatto potrebbe sembrare non elevato, è determinato dal fatto che,

soltanto recentemente è stata introdotta tale classificazione, quindi effettuare una riclassificazione per brevetti più vecchi, a posteriori, potrebbe risultare complicato.

La crescita trova riscontro dall'aumento delle domande di brevetto negli ultimi 15 anni, periodo caratterizzato da investimenti senza precedenti nel settore delle energie rinnovabili. Come evidenziato dalla [Tabella 4.9](#) si osserva un trend crescente nel numero di brevetti che utilizzano una tecnologia green, pur essendoci una lieve decrescita degli ultimi anni attribuibile sia alla pandemia da COVID-19 sia agli effetti della crisi finanziaria del 2010.

Nonostante la fase di decrescita, è attraverso gli incentivi pubblici che si può mirare a un nuovo aumento nello sviluppo delle innovazioni, basti pensare all'incentivo rappresentato dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) in Italia, i cui fondi sono per la maggior parte destinati alla transizione ecologica.

Raggruppamento per tre anni	Freq.	Percentuale
1978-1981	2,124	0,67%
1981-1984	5,078	1,59%
1984-1987	5,942	1,86%
1987-1990	6,787	2,13%
1990-1993	8,799	2,76%
1993-1996	10,330	3,23%
1996-1999	13,407	4,2%
1999-2002	19,137	5,99%
2002-2005	23,605	7,39%
2005-2008	30,838	9,66%
2008-2011	41,964	13,14%
2011-2014	52,631	16,48%
2014-2017	48,883	15,31%
2017-2020	46,195	14,47%
2020-2021	3,609	1,13%

Tabella 4.9. Frequenza dei brevetti per intervallo di 3 anni

È da considerare che la distribuzione dei brevetti assegnati all'EPO potrebbe non essere un indice completo dell'attività inventiva in questo campo, alcuni brevetti potrebbero infatti essere stati depositati presso gli uffici nazionali piuttosto che ricorrere all'Ufficio Europeo dei Brevetti. Pertanto, l'attività di brevettazione effettiva in Europa eccede certamente dalla percentuale a cui si è fatto cenno.

Dall'analisi emerge che l'innovazione e lo sviluppo di brevetti verdi stanno acquisendo crescente importanza e stanno diventando una priorità per i paesi europei.

Tale interesse è supportato dalle ipotesi precedentemente effettuate relative al connubio innovazione ambientale e crescita economica. Uno studio di [Hasna et al. \[2021\]](#) definisce infatti che la combinazione della salvaguardia ambientale comporta una prosperità economica. Le conclusioni della ricerca dimostrano che raddoppiare ogni anno le domande di brevetti verdi comporta un aumento sostanziale nella crescita economica di 4,8 punti percentuali, contro i 3,4 raggiungibili con aumento di brevetti non green.

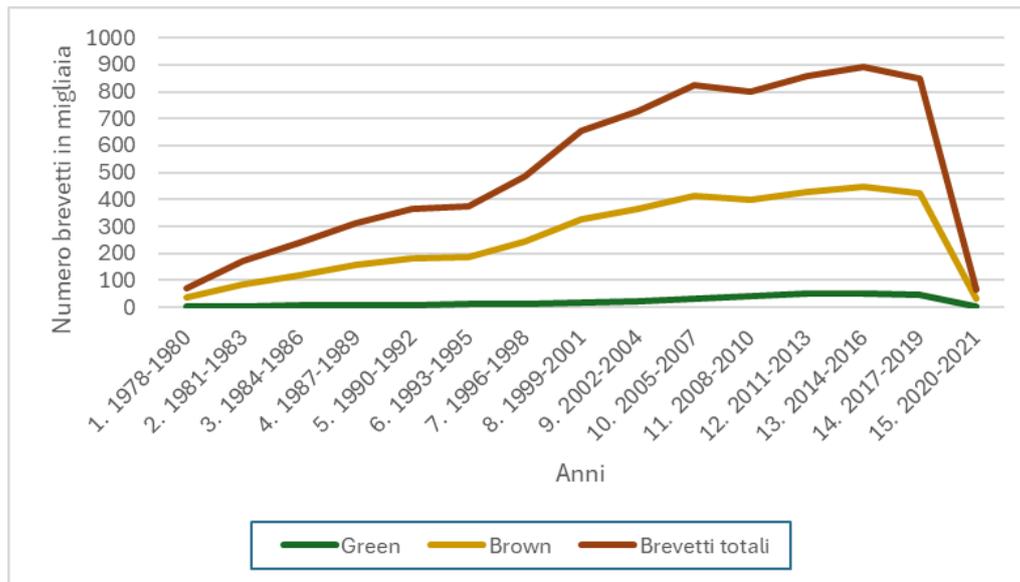


Figura 4.2. Confronto dell'andamento dei brevetti green

Nella [Tabella 4.10](#)⁴ vengono mostrati, mediante l'analisi del database in possesso, i cinque paesi con il più elevato numero di brevetti che includono almeno una tecnologia green. Una volta identificati i codici green, sono stati individuati i primi cinque paesi aventi il più alto numero di inventori di brevetti con almeno una tecnologia green. Nella realizzazione della [Tabella 4.10](#), per i brevetti con più di un inventore viene applicato il criterio di proporzionalità.

Paese	Numero di Brevetti
Germania (DE)	55.406
Francia (FR)	22.083
Gran Bretagna (GB)	14.525
Italia (IT)	7.641
Olanda (NL)	7.075
Other	29.653

Tabella 4.10. Rank dei primi 5 paesi europei per produzione di brevetti con almeno una tecnologia green

La Germania è il paese con il più alto numero di brevetti green. Tale leadership non rimane confinata al contesto europeo, ma, come evidenziato da [Johnstone et al. \[2010\]](#), si estende

⁴In Other vengono sommati tutti i brevetti degli altri paesi dalla sesta posizione.

anche a livello mondiale, dove la Germania si colloca tra i Paesi con il più alto numero di brevetti, insieme a Stati come Giappone e Stati Uniti. Anche Francia e Gran Bretagna a livello mondiale registrano conteggi relativamente alti, sebbene la prima abbia raggiunto valori significativi solo negli anni più recenti.

4.3.1 I brevetti fotovoltaici

Nella [Figura 4.3](#) è mostrato il numero di brevetti per le tecnologie pulite nel periodo compreso tra il 1990 e il 2015. Si nota come, dopo il 2005, è avvenuto un rapido aumento del numero di brevetti nel fotovoltaico solare, eolico e nei veicoli elettrici, le altre tecnologie invece hanno avuto un incremento più moderato.

Il boom avvenuto in questi due ambiti potrebbe essere attribuito allo stimolo ricevuto da politiche favorevoli, ad incentivi economici e ad una richiesta globale sempre maggiore di soluzioni green. L'incremento del numero di brevetti in questo settore riflette l'importanza delle energie rinnovabili nella lotta al cambiamento climatico e l'importanza che queste due tecnologie rappresentano come soluzione alle risorse "brown".

Tra le tecnologie di fornitura low carbon energy, quelle relative all'energia solare risultano dominanti.

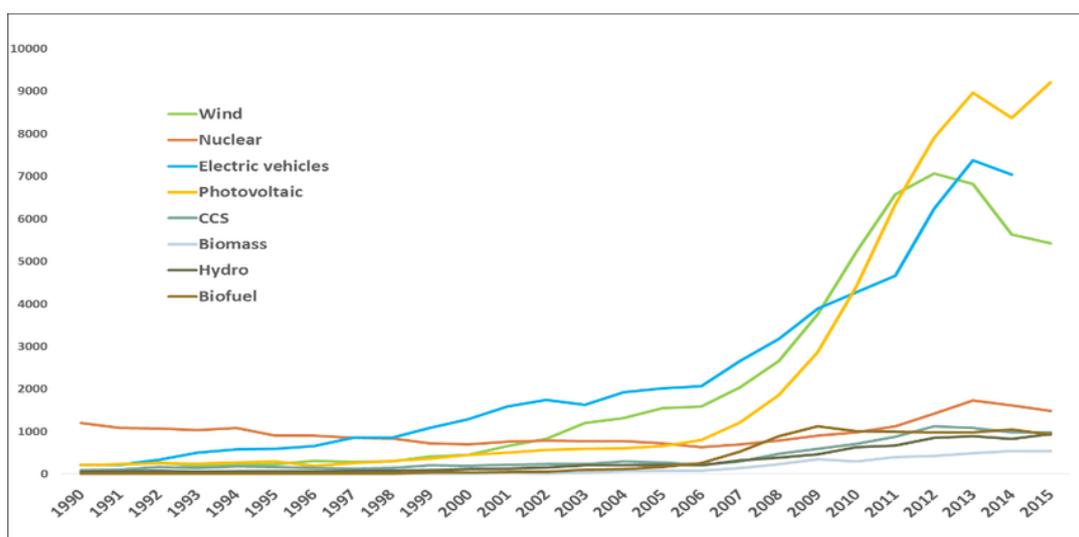


Figura 4.3. Numero di brevetti per tecnologia di energia pulita, periodo 1990-2015.
Fonte: [European Commission](#)

Per condurre un'analisi più approfondita dell'evoluzione del settore fotovoltaico, vengono presi in considerazione i codici appartenenti alla classificazione Y02E ([Espacenet-EPO](#)). I codici selezionati per l'analisi sono contenuti sotto la macro categoria Y02E10. Più precisamente, per il solare termico si considera la categoria Y02E10/40 e le seguenti sottocategorie:

- Y02E10/44 energia solare termica (ad esempio torri solari);
- Y02E10/46 Conversione della potenza termica in potenza meccanica;
- Y02E10/47 Montaggio o tracciamento.

Il Photovoltaic [PV] energy è rappresentato dal codice Y02E10/50, da cui si considerano le sotto categorie indicate nella [Tabella 4.11](#).

Codice	Descrizione
Y02E10/52	Sistemi fotovoltaici con concentratori
Y02E10/541	Celle fotovoltaiche a materiale CuInSe ₂
Y02E10/542	Celle solari sensibilizzate con coloranti
Y02E10/543	Celle solari realizzate con materiali del Gruppo II-VI
Y02E10/544	Celle solari realizzate con materiali del Gruppo III-V
Y02E10/545	Celle fotovoltaiche in silicio microcristallino
Y02E10/546	Celle fotovoltaiche in silicio policristallino
Y02E10/547	Celle fotovoltaiche in silicio monocristallino
Y02E10/548	Celle fotovoltaiche in silicio amorfo
Y02E10/549	Celle fotovoltaiche organiche
Y02E10/56	Sistemi di conversione di potenza, ad es. inseguitori del punto di massima potenza

Tabella 4.11. Classificazione Y02E10/50

La categoria Y02E10/60 considera, invece, i pannelli solari ibridi.

Effettuando un'analisi del database si nota come il numero di brevetti che hanno almeno una delle tecnologie precedentemente elencate è pari a 25.439, che corrisponde a circa l'8% dei brevetti che hanno almeno una tecnologia green. L'11% di questi brevetti combinano due o più tecnologie relative ai pannelli fotovoltaici.

L'andamento relativo alla produzione di brevetti solari registrano un trend crescente, in linea con quanto precedentemente verificato per i brevetti appartenenti alla categoria Y02. La crescita è evidente e si riflette nell'incremento delle installazioni di pannelli fotovoltaici e di parchi eolici visibili nei paesaggi, nonché dall'approvazione di un numero sempre maggiore di progetti per la realizzazione di impianti eolici o fotovoltaici.

La [Figura 4.4](#) mostra il numero di brevetti che utilizza almeno una tecnologia relativa alle categorie sopra citate e attesta quanto appena affermato, ossia l'andamento crescente dello sviluppo del suddetto campo di ricerca negli anni successivi al 2005.

Nell'ultimo decennio si sono verificati ingenti investimenti nel campo delle energie rinnovabili e, in particolar modo, nel campo del solare che ha quindi contribuito allo sviluppo di nuove tecnologie.

Si può affermare che il numero di brevetti che incorporano la tecnologia in questione è aumentato significativamente ogni anno dal 2000 al 2013, pur subendo una deflessione negli anni più recenti. La decrescita potrebbe essere stata condizionata dall'esistenza di barriere nella diffusione delle innovazioni nel settore energetico; anche la presenza di una riduzione di sussidi ed opportunità potrebbe aver contribuito al calo, suggerendo una possibile maturità del settore, in seguito ad una fase iniziale caratterizzata da un'ondata di innovazioni. Tuttavia, il rapporto tra il numero di domande nel periodo 2017-2019 e nel periodo 2005-2007 rimane ancora favorevole agli anni più recenti, con un valore di 1,49. Gli anni compresi tra il 2007-2012 sono stati definiti come "boom solare", in cui sono state fondate numerose start-up che hanno portato nuove tecnologie sul mercato.

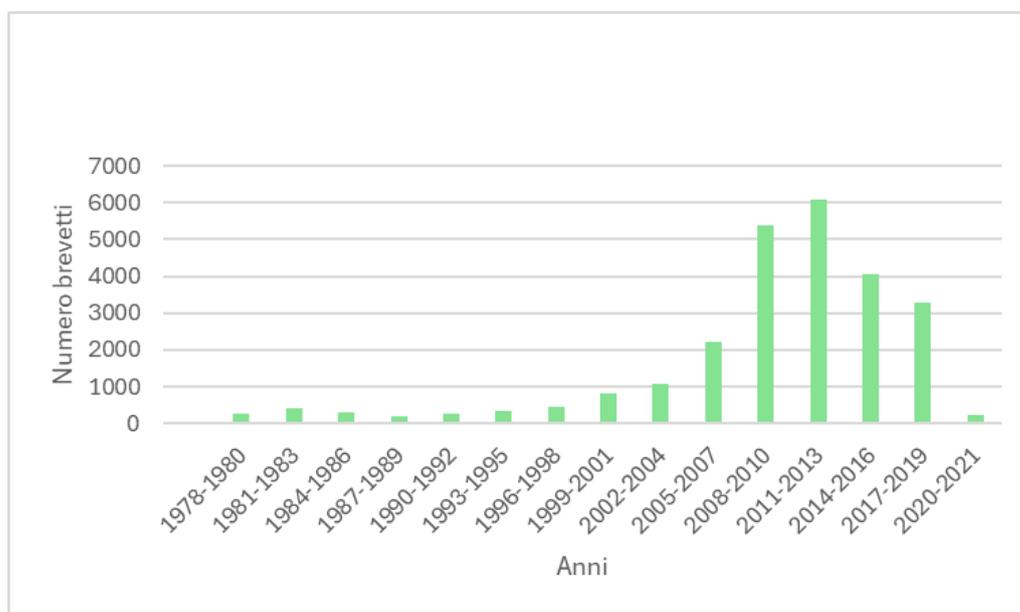


Figura 4.4. Numero di brevetti con tecnologie fotovoltaiche raggruppate per 3 anni

La [Figura 4.5](#) illustra il numero di brevetti che utilizzano tecnologie solari che comprendono anche altre categorie. Ciò che emerge è che circa il 41% dei brevetti classificati nella categoria Y02E è associato ad almeno un'altra categoria green. L'associazione maggiore si è data dalla categoria Y02B, a cui appartengono le tecnologie di mitigazione degli edifici. Il risultato è coerente rispetto a quanto affermato precedentemente, ovvero che le maggiori emissioni energetiche provengono dagli edifici.

Un'altra corrispondenza rilevante si riscontra con la categoria Y02P, riguardante i processi di produzione nelle industrie. Tale associazione riflette i progetti promossi dall'Unione Europea volti ad integrare il solare fotovoltaico al settore dell'industria.

Considerando che nel 14% almeno due tecnologie della categoria Y02E vengono utilizzate

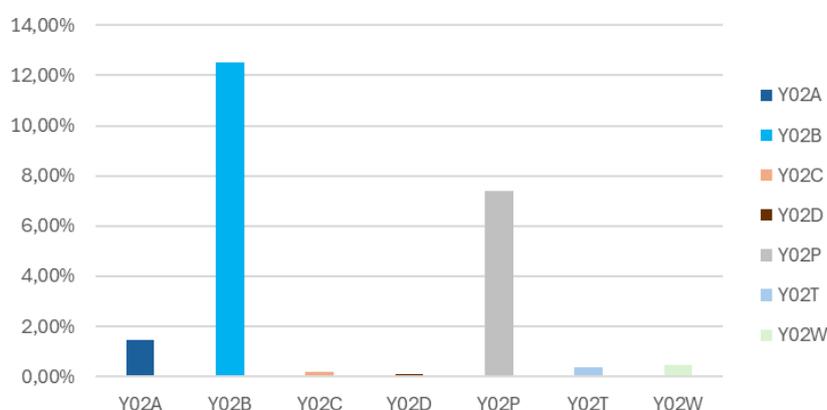


Figura 4.5. Percentuale di brevetti associati al solare e ad un'altra categoria Y02

insieme, è possibile analizzare qual è la frequenza tale per cui determinate tecnologie vengono utilizzate in contemporanea mediante l'utilizzo di una matrice di correlazione (la matrice è riportata nell'[Allegato 1](#)).

Osservando il risultato è possibile individuare che le maggiori occorrenze si hanno in corrispondenza della tecnologia Y02E_10_549 con la tecnologia Y02E_10_542, infatti entrambi i tipi di celle solari riguardano l'utilizzo di tecnologie che riducono l'impatto ambientale ed aumentano l'efficienza energetica. Un'associazione frequente si verifica anche tra la tecnologia Y02E_10_440 e la tecnologia Y02E_10_470, in questo caso l'utilizzo congiunto permette di ottimizzare l'efficienza energetica, infatti, spesso vengono usate nelle strutture residenziali che ad esempio integrano sistemi di accumulo che, da una parte, immagazzinano energia e, dall'altra, ottimizzano il calore generato dai pannelli. È bene tenere in considerazione che le tecnologie precedentemente menzionate sono anche le più utilizzate quando si deposita un brevetto fotovoltaico, pertanto, di conseguenza, la probabilità di essere utilizzate in contemporanea è più elevata. A fronte di tale considerazione, presenta una corrispondenza elevata anche la tecnologia Y02E_10_548, che pur non essendo tra le più utilizzate, è sfruttata 299 volte insieme alla Y02E_10_547, in modo da creare un connubio di efficienza e riduzione dei costi.

4.3.2 Il fotovoltaico in Europa

Dal 2010 in Europa sono state varate misure sulle politiche green soprattutto nel campo energetico e dei trasporti che ha stimolato il deposito dei brevetti in questi settori.

Il finanziamento pubblico dell'Unione Europea per l'energia solare è stato pari al 30% del finanziamento pubblico globale per l'energia solare sia nel 2010 che nel 2020.

L'Unione Europea si colloca al 4° posto in termini di numero totale di brevetti, dopo la

Cina (1°), la Corea del Sud (2°) e il Giappone (3°)⁵.

La [Figura 4.6](#) mostra la distribuzione dei brevetti del settore solare in Europa, da cui si evince come la produzione sia maggiormente concentrata in paesi occidentali, con un grande ritardo nei paesi orientali.

Si conferma che, anche per quanto riguarda specificatamente le tecnologie relative al fotovoltaico, la Germania rinnova la sua posizione da leader, coprendo il 46% dei brevetti depositati in Europa. Il Paese ha promosso una serie di "Leggi sulle Energie Rinnovabili (EEG)" che garantisce tariffe incentivanti e minore burocrazia con destinazione tecnologie per l'elettricità. Mediante le politiche incentivanti, è stato possibile rendere remunerativa la produzione di energia alternativa, fornendo degli incentivi allo sviluppo tecnologico del settore.

Negli ultimi anni la Germania ha raggiunto una posizione di leadership anche nella capacità solare installata, superando la domanda media. Secondo alcuni report interni, quest'abbondanza nella produzione di energia potrebbe comportare un reindirizzamento degli incentivi nelle tecnologie di accumulo.

A livello mondiale, la Germania, assieme agli Stati Uniti, Giappone, Cina e Corea del Sud ospita quasi il 70% degli innovatori. La Cina, infatti, sfrutta il precedentemente menzionato effetto tunnel della Curva ambientale di Kuznets adottando un approccio volto al progresso tecnologico, in particolare nel settore solare.

Di fondamentale importanza risultano i significativi progressi nel fotovoltaico, sia per il conseguimento degli obiettivi posti dal Green Deal europeo, sia per favorire l'emergere di nuovi attori industriali europei competitivi in grado di produrre prodotti con un alto valore aggiunto.

Anche per la costruzione della [Figura 4.7](#) sono state utilizzate le stesse metodologie elencate nel paragrafo precedente⁶. Viene evidenziata la forte concentrazione di brevetti fotovoltaici a livello Europeo: l'81% della produzione di brevetti viene effettuato in 5 Paesi.

Dalla figura emerge l'Olanda, al 5° posto; uno degli interessi maggiori del Paese risulta essere la riduzione delle emissioni prodotte dagli edifici. L'ambito è di particolare interesse per l'azienda Philips che ha un'elevata attività di brevettazione. Tuttavia, alcuni studi, ritengono che la gran parte dell'attività di brevettazione del Paese sia guidata dallo sviluppo del mercato internazionale, piuttosto che dalle politiche ambientali nazionali ([Noailly et al. \[2010\]](#)). Inoltre, a differenza di altri Paesi, l'Olanda non gode di spese di ricerca e sviluppo per le innovazioni ambientali comparabili con altri Paesi europei.

Dalla [Figura 4.6](#) si nota come la Danimarca, seppure non raggiunga i livelli di innovazione che ha nell'eolico, conta un discreto numero di brevetti solari. Nel Paese la produzione e l'adozione della tecnologia si sono estesi.

⁵[Chatzipanagi et al. \[2022\]](#)

⁶Relativamente all'assegnazione dei brevetti nei Paesi

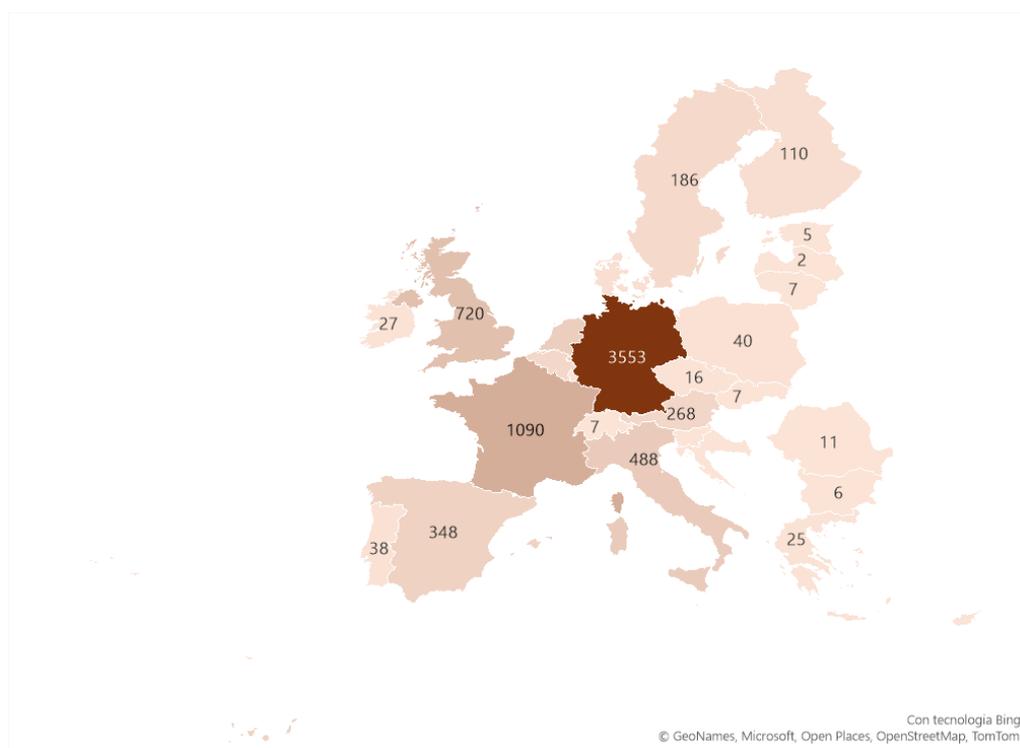


Figura 4.6. Distribuzione del numero di brevetti relativi al fotovoltaico nei Paesi Europei

In alcuni casi, però, l'assegnazione dell'invenzione non è univoca. Infatti, alcuni brevetti possono essere assegnati a due inventori diversi, talvolta non europei, suggerendo una collaborazione tra inventori residenti in due stati diversi.

Mediante la matrice di correlazione nell'[Allegato 2](#) è possibile determinare le collaborazioni tra inventori di due paesi diversi. È stato possibile determinare quante volte ogni coppia di paesi comparisse insieme, escludendo i duplicati, in modo da contare per quante volte si sono presentate collaborazioni tra inventori di due paesi diversi.

Prendendo come esempio i paesi con maggior numero di brevetti solari (ad esempio la Germania, l'Italia) emerge che per quanto riguarda la Germania il maggior numero di collaborazioni si ha con la Francia, ma anche con Gran Bretagna ed Austria. In Italia invece le collaborazioni maggiori si verificano con la Svizzera, la Francia e Germania.

Dai risultati si evince che il Paese al di fuori dell'Unione Europea che ha maggiori collaborazioni con gli stati europei sono gli Stati Uniti che, infatti, contribuiscono a 13 brevetti relativi al solare, i risultati mostrano che l'Italia è il paese che maggiormente collabora con gli US nel suddetto settore.

Considerando, invece, come esempio un paese non appartenente ai primi 5 produttori di brevetti solari d'Europa, come il Belgio, si dimostra che, anche in questo caso, il maggior

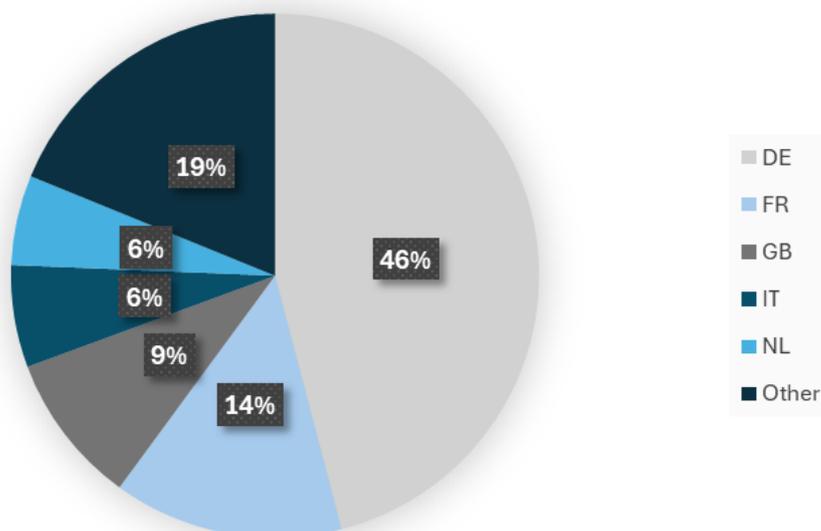


Figura 4.7. Suddivisione del numero di brevetti fotovoltaici in Europa

numero di collaborazioni viene effettuato con inventori residenti in Germania e in Francia. Viene preso in considerazione il Belgio in quanto, pur non essendo tra i primi 5 produttori di brevetti fotovoltaici, presenta un valore elevato di collaborazioni di brevetti (pari a 66, corrispondente a quasi il 27%, considerando che invece inventori di altri paesi come la Germania hanno effettuato collaborazioni con paesi esteri il 9% delle volte).

4.3.3 Localizzazione geografica dei brevetti fotovoltaici al livello NUTS2 e NUTS3

L'analisi della distribuzione dei brevetti per area geografica viene condotta anche al livello NUTS2 e successivamente al livello NUTS3, al fine di aumentare la granularità dei dati per intercettare zone di concentrazione ad un livello non soltanto nazionale ma anche regionale e provinciale.

Classificazione NUTS2

Considerando il livello NUTS2 si individuano 570 diverse regioni all'interno dell'intero database EPO; considerando invece le sole regioni dove si producono brevetti associati alle categorie precedentemente elencate relative al solare, si individuano 271 diverse regioni, la cui distribuzione è mostrata in [Figura 4.8](#).

La disparità tra questi due valori può essere attribuita al fatto che alcune regioni, pur generando brevetti, non concentrano la loro attività nel settore di interesse specifico di questo elaborato.

Dalla mappa emerge che la maggior concentrazione di regioni si trova in Germania, Gran

Bretagna, la cui produzione di brevetti risulta essere distribuita in maniera più omogenea all'interno del Paese.

Infatti, considerando il caso italiano, nella classifica delle prime 20 regioni compare la Lombardia, tuttavia di importante rilievo risulta il contributo della società ENEA che nel corso degli anni ha depositato un gran numero di brevetti relativi al settore fotovoltaico. L'azienda ha sede a Roma, pertanto si sottolinea il contributo di tutte le regioni italiane, con una distribuzione omogenea.

Anche la situazione della Germania risulta singolare in quanto si segnala la presenza di grandi aziende in zone concentrate, Darmstadt viene infatti definita città della scienza; inoltre, sono presenti numerosi centri di ricerca che hanno depositato un gran numero di brevetti. Un altro esempio è rappresentato da Düsseldorf, la cui capitale è Essen, definita come capitale dell'energia in quanto sede dei maggiori fornitori di energia in Germania.

Codice Regione	Numero di Brevetti	Nome Regione	Percentuale Totale Brevetti
DE71	559	Darmstadt	2,20%
FR71	540	Rhône-Alpes	2,12%
DE21	484	Oberbayern	1,90%
FR10	410	Île-de-France	1,61%
DE13	393	Freiburg	1,54%
DE11	374	Stuttgart	1,47%
DE12	347	Karlsruhe	1,36%
DEA2	260	Köln	1,02%
DEB3	227	Rheinessen-Pfalz	0,89%
DE25	209	Mittelfranken	0,82%
NL41	200	Noord-Brabant	0,79%
DE73	179	Kassel	0,70%
DED2	173	Dresden	0,68%
DEA1	172	Düsseldorf	0,68%
FR82	171	Provence-Alpes-Côte d'Azur	0,67%
ITC4	162	Lombardia	0,64%
DE30	160	Berlin	0,63%
UKJ1	159	Berkshire, Buckinghamshire and Oxfordshire	0,63%
NL33	132	Zuid-Holland	0,52%
DE14	131	Tübingen	0,51%

Tabella 4.12. Top 20 regioni per numero di brevetti PV.

Inoltre, si osserva che il numero di regioni che registrano un numero di brevetti superiore a 100 è pari a 30, corrispondente all'11% del totale. Al contrario, il 45% delle regioni presenta un numero di brevetti inferiore a 10, denotando una significativa disuguaglianza.

Tale disuguaglianza potrebbe essere attribuita a diversi fattori, ad esempio alla scarsa consapevolezza relativa ai vantaggi dell'investimento nel settore, agli ingenti investimenti iniziali,

ma anche ad una scarsità di incentivi da parte delle politiche pubbliche.

Classificazione NUTS3

Il terzo livello della classificazione NUTS è un codice a 5 cifre che identifica le province⁸. Ripercorrendo i passi effettuati per la descrizione della classificazione NUTS2, si contano 2215 diverse province nel dataset relativo a tutti i brevetti; utilizzando, invece, il dataset relativo ai codici di interesse, si registrano 1006 diverse province.

La [Figura 4.9](#) conferma il dominio della Germania nella produzione di brevetti fotovoltaici, infatti le province che si dedicano al deposito di questi brevetti sono 376. Si registrano numeri relativamente elevati (rispetto alla dimensione del Paese) anche in Olanda e in Belgio.

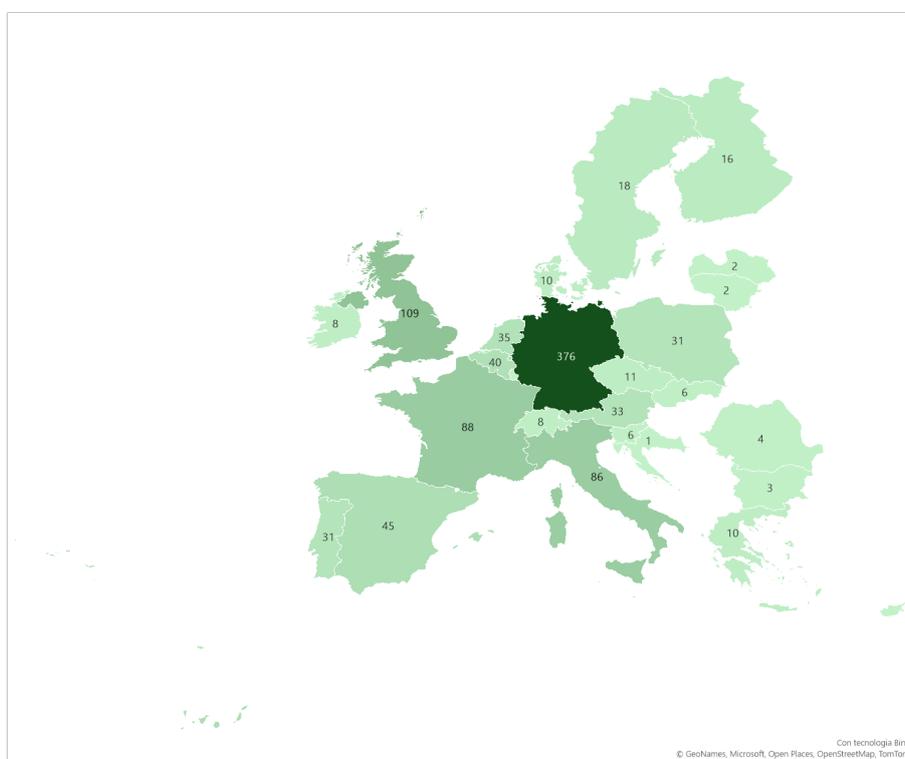


Figura 4.9. Concentrazione del numero di province che producono fotovoltaico, per Paese

La [Tabella 4.13](#) riporta le prime 30 province, secondo il codice NUTS3, per numero di brevetti. In tabella viene anche calcolata la percentuale di brevetti prodotti nella specifica provincia sul totale della regione identificata dal codice NUTS2.

⁸ «départements» per la Francia; «län» per la Svezia, ecc.

Nome province	NUTS3	Numero brevetti	NUTS2	Percentuale brevetti rispetto alla regione
Isère	FR714	320	FR71	59,26%
Monaco di Baviera	DE212	219	DE21	45,25%
Berlino	DE300	161	DE30	100,00%
Brabante Settentrionale	NL414	156	NL41	77,61%
Friburgo	DE131	150	DE13	38,17%
Dresda	DED21	146	DED2	83,91%
Francoforte sul Meno	DE712	142	DE71	25,40%
Parigi	FR101	136	FR10	33,17%
Savoia	FR717	108	FR71	20,00%
Madrid	ES300	106	ES30	100,00%
Cambridgeshire	UKH12	104	UKH1	93,69%
Stoccarda	DE111	101	DE11	27,01%
Darmstadt	DE711	98	DE71	17,53%
Lovanio	BE242	94	BE24	87,85%
Uusimaa-Helsinki	FI1B1	89	FI1B	100,00%
Siviglia	ES618	89	ES61	77,39%
Buckinghamshire CC	UKJ13	86	UKJ1	54,09%
Kassel	DE731	82	DE73	45,81%
Hauts-de-Seine	FR105	79	FR10	19,27%
Karlsruhe, Landkreis	DE123	78	DE12	22,48%
Milano	ITC4C	76	ITC4	46,91%
Städteregion Aachen	DEA2D	75	DEA2	28,74%
Karlsruhe, Stadtkreis	DE122	73	DE12	21,04%
Breisgau-Hochschwarzwald	DE132	73	DE13	18,58%
Principato di Monaco	DE21H	72	DE21	14,88%
Stoccolma	SE110	70	SE11	100,00%
Bocche del Rodano	FR824	68	FR82	39,53%
Darmstadt-Dieburg	DE716	67	DE71	11,99%
Essonne	FR104	66	FR10	16,10%
Oxfordshire	UKJ14	65	UKJ1	40,88%

Tabella 4.13. Top 30 province per numero di brevetti PV

Il totale di brevetti prodotti nelle prime 30 regioni è pari a 3.249, che sul totale di 25.439 brevetti del settore prodotti, corrisponde al 12,8%.

L'analisi dei dati rivela che la maggior parte dei brevetti è generata in province che ospitano importanti centri di ricerca. Un esempio è rappresentato da Isère, nella regione francese Rhône-Alpes che si distingue come polo di eccellenza scientifica e tecnologica.

Un'ulteriore considerazione è che le province con il numero più elevato di brevetti sono generalmente contraddistinte da una notevole densità abitativa. Sono inoltre zone sviluppate a livello economico e di ricerca. È importante notare che, pur non considerando gli applicants come conteggio, bensì gli inventori, questi tendono a localizzarsi in aree in prossimità di grandi aziende.

Non è possibile determinare se le grandi aziende nascano vicino ai grandi centri di ricerca o sono i centri di ricerca che sviluppandosi permettono la prosperità economica della zona, ciò che è certo è che le grandi imprese, spesso, sorgono vicino a importanti poli di ricerca, creando un ambiente favorevole per l'attrazione di talenti altamente qualificati. Un esempio emblematico è la Silicon Valley, che si avvale dei talenti provenienti dall'Università di Stanford.

La concentrazione di professionisti e attività legate ai brevetti in città con grandi aziende è anche influenzata dall'accesso a risorse e opportunità di networking. Di conseguenza, non sorprende che le città più sviluppate nel settore energetico mostrino una maggiore produzione di brevetti, beneficiando delle innovazioni generate all'interno di tali circoscrizioni.

Un caso significativo è quello della Finlandia, la cui produzione di energia è in costante crescita negli ultimi anni. Questo trend si riscontra anche dai dati sui brevetti, che collocano Helsinki al 15° posto nella produzione di innovazione nel settore. Tuttavia, data la densità demografica del paese, la Finlandia non compete con nazioni più popolate in termini di brevetti totali depositati⁹.

A fronte di quanto precedentemente esposto, per verificare il peso delle province all'interno della regione, sono state analizzate le percentuali ottenute dalla somma delle province appartenenti allo stesso NUTS2. Ne risulta la [Figura 4.10](#) che illustra le prime 20 zone NUTS2 e la percentuale di brevetti provenienti dalle province delle zone NUTS3 incluse nella top 30 per ogni regione.

Si nota che le regioni che primeggiano per la produzione hanno contributi da più province. Per quanto riguarda, invece, DE30 l'analisi della suddivisione in NUTS3 rivela che è composta esclusivamente dalla provincia DE300, corrispondente alla città di Berlino, il che giustifica un valore pari al 100%.

La percentuale di FR71 è pari a circa 80%, la produzione si concentra infatti in due province che si trovano nelle prime 30.

Diversamente avviene per altre zone, ad esempio NL33, in cui non compaiono province in top 30, suggerendo una distribuzione più uniforme della produzione di brevetti sull'intera regione.

La [Tabella 4.13](#) riporta anche province le cui regioni non sono presenti in top 20, in questo caso le percentuali del numero di brevetti che compongono l'intera regione sono più elevate suggerendo una concentrazione maggiore ([Tabella 4.14](#)).

⁹Si può notare che la Finlandia conta circa 5,5 milioni di abitanti, un numero che corrisponde a poco più della metà della popolazione della sola città di Londra.

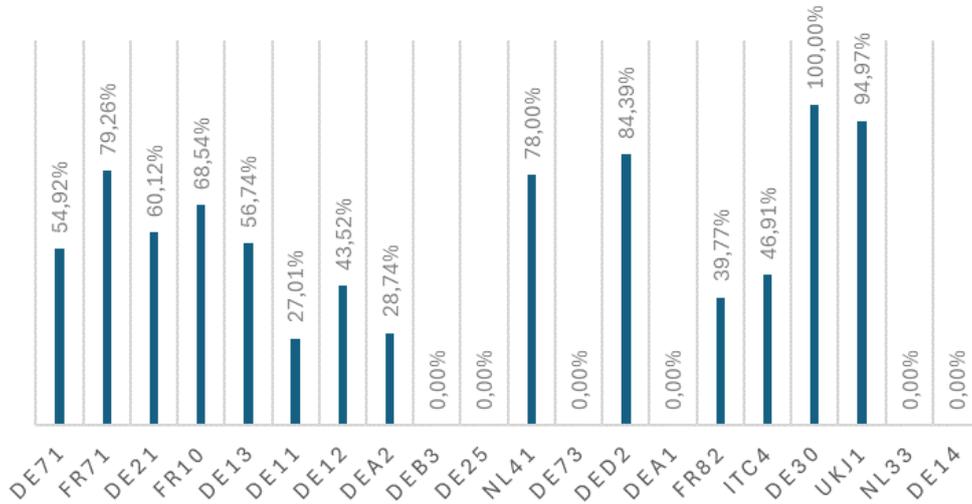


Figura 4.10. Somma della percentuale di brevetti di NUTS3 per NUTS2.

NUTS2	Numero di Brevetti NUTS2	NUTS3	Numero di Brevetti NUTS3	Percentuale
ES30	106	ES300	106	100.00%
UKH1	111	UKH12	104	93.69%
BE24	107	BE242	94	87.85%
FI1B	89	FI1B1	89	100.00%
ES61	115	ES618	89	77.39%
SE11	70	SE110	70	100.00%

Tabella 4.14. Produzione di brevetti per regioni NUTS

4.4 Analisi delle citazioni

Mediante l'utilizzo del database dei brevetti è possibile analizzare il numero medio di citazioni.

Le citazioni potrebbero essere considerate una misura dei pure knowledge spillovers in quanto i documenti dei nuovi brevetti che vengono depositati contengono riferimenti ai brevetti pre-esistenti usati come base scientifica e tecnologica per lo sviluppo di nuove tecnologie. Inoltre, si prestano anche per la determinazione delle esternalità di conoscenza, la letteratura suggerisce l'utilizzo delle patent citations come proxy.

Tuttavia è da definire la concentrazione geografica di tale fenomeno. Poichè le imprese cercano di trarre beneficio da produttori di conoscenza più vicini, si è indotti a ritenere la diffusione tecnologica e di conoscenza come fenomeni geograficamente concentrati.

Questo fenomeno porta a considerare che lo stock di conoscenza a livello locale aumenta in modo proporzionale all'intensità dell'attività industriale e della ricerca e sviluppo nella stessa area.

Di conseguenza, i rendimenti crescenti degli spillover potrebbero essere confinati in limiti geografici specifici, causando la formazione di cluster economici e di conoscenza.

Le patent citations sono le citazioni di brevetti già esistenti da parte di nuovi inventori che depositano un nuovo brevetto presso l'Ufficio Brevetti. Citare un brevetto già esistente implica aver acquisito i principi tecnologici contenuti in quella invenzione e averli applicati per una nuova invenzione e implementati. Per questo motivo le citazioni di brevetti possono essere utilizzate come una proxy della diffusione di conoscenza e tecnologia.

Jaffe et al. [1993] mostrano che le citazioni brevettuali sono dei buoni indicatori per la comunicazione tra gli inventori nel processo di trasferimento di conoscenza.

Tuttavia l'utilizzo delle citazioni dei brevetti come conoscenza aggregata sottolinea la necessità di considerare alcuni bias, in particolare relativi al troncamento. I brevetti di età diverse sono soggetti a diversi gradi di troncamento, pertanto saranno necessarie delle normalizzazioni (Fischer et al. [2006]).

Il troncamento può emergere anche a causa delle citazioni che avvengono molti anni dopo creando difficoltà nel conteggio. Di conseguenza, i dati disponibili coprono un arco temporale limitato. Pertanto, le analisi basate sulle citazioni potrebbero non essere accurate per le citazioni più recenti.

Generalmente, per l'esecuzione delle analisi vengono considerati due tipi di citazioni: quelle in avanti (forward) e quelle all'indietro (backward). Le citazioni all'indietro sono i riferimenti citati nel brevetto osservato ma relativi a conoscenze pubblicate in precedenza. Al contrario, le citazioni in avanti sono le menzioni che il documento considerato riceve in pubblicazioni più recenti.

Le citazioni all'indietro sono state usate come indicatori degli effetti di spillover mostrando un effetto positivo sul valore di mercato delle imprese (ad esempio Harhoff et al. [2003]). Le citazioni backward possono talvolta essere dirette anche a brevetti di proprietà dello stesso soggetto, si parlerà di self-citations.

D'altra parte le citazioni forward sono indicatori della qualità del brevetto e pertanto indicatori del valore economico del brevetto e della sua diffusione. Si considera che un brevetto avente un gran numero di citazioni forward è in grado di contribuire con conoscenze rilevanti ad altre invenzioni (Fernández et al. [2022]).

Sono inoltre stati utilizzati due indicatori che permettono di descrivere la qualità dell'innovazione¹⁰ (Trajtenberg et al. [1997]):

¹⁰Sono costruiti come l'indice di Herfindhal.

- originalità¹¹: $1 - \sum_i^{n_i} t_{ij}^2$. La variabile t_{ij} rappresenta la percentuale di citazioni backward ricevute da un brevetto i , j è il codice della classificazione; n_i rappresenta le classi tecnologiche che possono essere assegnate ad un brevetto. L'indicatore definisce la misura tale per cui un brevetto si basa su citazioni precedenti usando diverse sezioni tecnologiche.
- generalità¹²: $1 - \sum_i^{n_i} s_{ij}^2$. La variabile s_{ij} rappresenta la percentuale di citazioni forward ricevute da un brevetto i che appartiene ad un brevetto di classe j ; n_i rappresenta le possibili classi tecnologiche che possono essere assegnate ad un brevetto. Un elevato valore di generalità suggerisce che il brevetto ha un impatto diffuso in quanto ha influenzato le successive innovazioni in diversi settori.

Il grado di originalità e generalità dipende dal sistema di classificazione dei brevetti: una classificazione più precisa di un settore comporta un'elevata generalità e originalità.

4.4.1 Misura delle citazioni nei brevetti

Affinchè si possa definire il grado di generalità e originalità della tecnologia brevettata è essenziale un confronto. Al fine di generare dei risultati rilevanti vengono utilizzati i brevetti dell'EPO come parametro di riferimento.

L'OECD [2009] definisce che: "Le informazioni sulle citazioni dei brevetti sono significative solo se utilizzate in modo comparativo. Non esiste una scala naturale o una misura associata alle citazioni". Definisce inoltre insignificante il puro valore 10 o 100 citazioni come valore di misura, pertanto la valutazione dell'intensità del brevetto può essere fatta solo se confrontata.

La percentuale di brevetti che hanno almeno una citazione forward e una citazione backward è riportata nella [Tabella 4.15](#).

Dataset	Osservazioni	Variabile	Conteggio	Percentuale
numero di brevetti	3.848.243	numero di brevetti con citazioni forward	1,072,508	28%
numero di brevetti	3.848.243	numero di brevetti con citazioni backward	1.744.485	45%

Tabella 4.15. Numero di brevetti che hanno almeno una citazione forward e numero di brevetti che hanno almeno una citazione backward

Tale differenza tra le due percentuali potrebbe suggerire una dipendenza maggiore dal lavoro precedente e uno sfruttamento più approfondito dello stato dell'arte, rispetto al valore che

¹¹Utilizza le citazioni backward.

¹²Utilizza le citazioni forward.

un singolo brevetto può apportare, riflettono l’influenza futura di un brevetto che potrebbe non essere immediatamente evidente o diffusa. Inoltre, le nuove invenzioni si basano su tecnologie già sviluppate comportando quindi un alto numero di citazioni backward, d’altra parte non tutte le nuove invenzioni sono fondamentali per altre tecnologie, comportando quindi un numero relativamente inferiore delle citazioni forward.

Un’ulteriore criticità legata alle citazioni forward è da attribuire alla differenza di età tra i vari brevetti: i brevetti più recenti hanno infatti minore occasione di essere citati.

Mediante un’analisi del database è possibile osservare che brevetti che hanno più di 20 citazioni forward sono stati depositati in un periodo compreso tra il 1978 e il 2016, evidenziando l’assenza di brevetti più recenti. Inoltre, il maggior numero di brevetti con più di 20 citazioni è stato depositato nel periodo compreso tra il 1987 e il 2000.

Analogamente, si osserva come la maggioranza di brevetti che non hanno ricevuto alcuna citazione forward è stata depositata negli anni successivi al 2014.

Al fine di avere un confronto equo, è possibile utilizzare diverse metodologie di normalizzazione.

Nel database che effettua il conteggio delle citazioni, sono presenti altri dati relativi alle citazioni in avanti entro 5 anni dalla domanda di brevetto¹³ e alle citazioni in avanti entro 3 anni dalla domanda di brevetto.

Le analisi successive sono state effettuate considerando anche i brevetti che non hanno citazioni forward.

Variabile	Osservazioni	Media	Deviazione Standard	Min	Max
citazioni forward	3.848.243	0,79261	3,240725	0	1.414
citazioni forward entro 5 anni	3.848.243	0,4491871	2,824961	0	1.400
citazioni forward entro 3 anni	3.848.243	0,5976772	3,000224	0	1.408

Tabella 4.16. Analisi delle citazioni forward

Successivamente analizzando l’indice medio di generalità considerando solo i brevetti che hanno almeno una citazione forward, si rileva che tale valore risulta essere pari a 0,42.

¹³Si considerano le citazioni avvenute entro i primi 5 anni dall’anno di applicazione in modo tale che ogni brevetto ha la stessa possibilità di essere citato. Tuttavia con il passare del tempo il numero di brevetti aumenta e proporzionalmente cresce il numero totale di citazioni.

L'analisi suggerisce che, circa il 30% dei brevetti che hanno almeno una citazione forward presentano un indice di generalità pari a 0. Gli anni in cui sono stati registrati i brevetti che hanno avuto il minor impatto sulle innovazioni successive appartengono alla decade 1999-2009, coincidente con il periodo in cui si è osservato l'inizio della crescita nel numero di brevetti.

Relativamente a tali brevetti, una percentuale del circa 6% appartiene alla categoria green.

Variabile	Obs	Media	Deviazione Standard	Min	Max
generalità	1.072.279	0,423359	0,3098464	0	0,969697

Tabella 4.17. Statistiche dell'indice di generalità

Per quanto riguarda le citazioni backward, l'analisi risulta relativamente più semplice in quanto i problemi riscontrati per le citazioni forward non si registrano in questo contesto. Infatti, le citazioni backward esaminano il numero di brevetti precedenti citati nella domanda di brevetto attuale.

Considerando l'intero database, la media di citazioni backward ammonta a 0,79. Tenendo presente che circa il 43% dei brevetti non riporta alcuna citazione e quindi analizzando i brevetti che hanno almeno una citazione backward, la media per brevetto risulta aumentare significativamente per un ammontare di 7,83 citazioni per brevetto.

Variabile	Obs	Media	Deviazione Standard	Min	Max
citazioni backward	3,848,243	0.79261	1.368582	0	215

Tabella 4.18. Statistiche descrittive delle citazioni backward

Seguendo gli stessi passaggi effettuati per l'indice di generalità è possibile definire che quasi il 32% di brevetti si basa su invenzioni precedenti poco diversificate, riportando un indice di originalità pari a 0.

Variabile	Obs	Media	Deviazione Standard	Min	Max
originalità	1,744,302	0.4268393	0.3120194	0	0.9772727

Tabella 4.19. Statistiche dell'indice di originalità

È diffusa l'idea che i brevetti che hanno più citazioni possono rappresentare una misura migliore per apporto di valore alla società in quanto forniscono i presupposti per nuove innovazioni e ricerche.

4.5 Le citazioni dei brevetti green e non green

Per identificare le possibili strategie politiche di destinazione degli incentivi o la destinazione dei sussidi, in aggiunta alla determinazione dei settori più produttivi di innovazione "rilevante" tramite l'utilizzo degli indicatori delle citazioni precedentemente definiti, è possibile confrontare i valori medi delle citazioni tra brevetti green e brevetti che non adottano tecnologie sostenibili.

Le analisi precedentemente condotte sul dataset completo possono essere ripetute suddividendo i brevetti green e non green. Come precedentemente descritto si definiranno green i brevetti che presentano almeno un codice Y02 pari ad 1 nel database.

Nel caso dei brevetti identificati come green (che ammontano a 319,329), la percentuale di brevetti che hanno forward citations è pari a 26%, corrispondenti ad un totale di 84.089 brevetti. Anche in questo caso i brevetti che hanno maggior numero di forward citations non sono i più recenti, hanno infatti come anno medio di applicazione il 2003; anzi, soltanto il 3,7% di brevetti che hanno almeno una citazione forward, ha accumulato più di 10 citazioni.

Variabile	Osservazioni	Media	Deviazione Standard	Min	Max
citazioni forward	319.329	0,7696482	3,713682	0	758
citazioni forward entro 5 anni	319.329	0,4133981	3,316253	0	758
citazioni forward entro 3 anni	319.329	0,5711476	3,49448	0	758

Tabella 4.20. Analisi delle citazioni forward per i brevetti Green

D'altra parte, considerando solo i brevetti non green, il numero di brevetti con almeno una citazione forward risulta essere 988,419, corrispondente al 28% dei brevetti non green totali.

Le leggere differenze che possono emergere tra la [Tabella 4.20](#) e la [Tabella 4.21](#) possono essere attribuite all'anno di applicazione medio delle due sotto-categorie, infatti per quanto riguarda i brevetti green l'anno medio di applicazione è pari al 2007, contrariamente per quanto avviene con i brevetti brown (2004).

Un risultato opposto si ottiene se invece si analizzano soltanto i brevetti che hanno almeno una citazione, in questo caso sarà leggermente più alto per i brevetti che utilizzano una clean technology (media di 2,9 citazioni per brevetto), rispetto ai brevetti che non la utilizzano (media di 2,8 citazioni per brevetto)

Tuttavia analizzando la media dell'indice di generalità risulta maggiore nel caso di brevetti

Variabile	Osservazioni	Media	Deviazione Standard	Min	Max
citazioni forward	3.528.914	0,7946878	3,194467	0	1.414
citazioni forward entro 5 anni	3.528.914	0,4524256	2,776196	0	1.400
citazioni forward entro 3 anni	3.528.914	0,6000778	2,951407	0	1.408

Tabella 4.21. Analisi delle citazioni forward per i brevetti Brown

green piuttosto che in brevetti brown. Tale risultato comporta che un brevetto relativo ad una tecnologia clean potrebbe essere citato meno frequentemente in brevetti successivi ma alla base di applicazioni di diversi ambiti.

Media indice di Generalità	
Green	0,4531854
Brown	0,4208222

Tabella 4.22. Indice di generalità nei brevetti green e brown

Per quanto riguarda le citazioni backward è stato tracciato un grafico mostrato in [Figura 4.11](#) che mostra l'andamento temporale delle citazioni backward nel green.

Quanto raffigurato indica che la diversificazione tecnologica nella fase di ricerca della conoscenza ha subito un picco nella prima metà degli anni '90, per poi avere un breve rallentamento.

Considerando soltanto i brevetti che hanno almeno una citazione, la media di citazioni backward per brevetto è di 1,76.

Osservando invece la media del lag temporale, si nota un andamento crescente. La causa di tale risultato potrebbe essere attribuita al fatto che, tenendo conto che l'originalità ha una media di 0,46 (e quindi leggermente superiore al valore trovato considerando tutti i brevetti e superiore anche ai brevetti non green), potrebbero essere utilizzate tecnologie da diversi campi e potrebbero richiedere un riutilizzo di conoscenze più datate da un altro campo.

L'andamento del lag temporale evidenzia che l'evoluzione delle tecnologie del settore green risulta fortemente influenzata dalle decisioni e dai progressi tecnologici precedenti. Il valore di originalità pari a 0,46 potrebbe riflettere anche un approccio di innovazione di tipo incrementale, piuttosto che innovativo, apportando quindi modifiche e miglioramenti alle tecnologie preesistenti, riflettendo la complessità multidisciplinare. Al contrario, le tecnologie non verdi si basano su un insieme più uniforme di fonti di conoscenza, indicando un processo di innovazione più limitato.



Figura 4.11. Citazioni backward nel green

4.5.1 Le citazioni nel fotovoltaico

L'utilizzo delle citazioni come indicatori risulta utile per illustrare i cambiamenti con l'emergere di nuove soluzioni tecnologiche.

L'analisi delle citazioni forward di un particolare settore non si limita solo ai brevetti che vengono successivamente sviluppati in quello stesso settore, bensì si considera l'intero panorama delle conoscenze, in quanto l'influenza può condizionare un insieme di ricerche che prescindono dalla tecnologia immediata.

Focalizzando l'attenzione sulle citazioni forward è bene sottolineare che non tutti i brevetti hanno delle citazioni, pertanto il numero di brevetti relativi ad almeno una tecnologia fotovoltaica che hanno almeno una citazione forward è pari a 5.704 che corrisponde a circa il 22,4% del totale dei brevetti relativi al fotovoltaico.

Tale percentuale risulta più bassa in confronto al numero di brevetti aventi almeno una citazione forward considerando l'intero database EPO, oppure solo le tecnologie green, la spiegazione di tale discordanza potrebbe attribuirsi a diversi fattori. Si può ad esempio considerare l'età media di applicazione della domanda di brevetto, che, come mostrato in [Tabella 4.23](#) risulta decisamente inferiore per la tecnologia del fotovoltaico, suggerendo pertanto che tali brevetti siano più "giovani".

Questi numeri potrebbero essere imputati anche a fattori geografici considerando che l'innovazione del fotovoltaico potrebbe estendersi anche oltre i confini del database EPO PATSTAT in misura maggiore ad altre tecnologie.

Le stesse procedure sono state effettuate nell'analisi delle citazioni backward. I risultati suggeriscono che i brevetti relativi al fotovoltaico che hanno effettuato almeno una citazione di un brevetto EPO corrispondono a circa il 43%, con un valore pari a 10.954. Anche in questo caso è da tenere in considerazione che potrebbero essere citati brevetti che non sono contenuti all'interno del database e pertanto essere esclusi dal conteggio.

Come precedentemente accennato per analizzare accuratamente i valori delle citazioni è necessario effettuare dei confronti.

Nella [Figura 4.12](#) vengono rappresentati i diversi valori di citazioni medie nel caso in cui si considera il fotovoltaico, la categoria Y02E, le tecnologie green più in generale e l'intero panorama di brevetti.

Come previsto, se si considera l'intero database si riscontra una media di citazioni più elevata, trend che viene confermato anche nel caso in cui si prendano in considerazione le citazioni a 5 o a 3 anni.

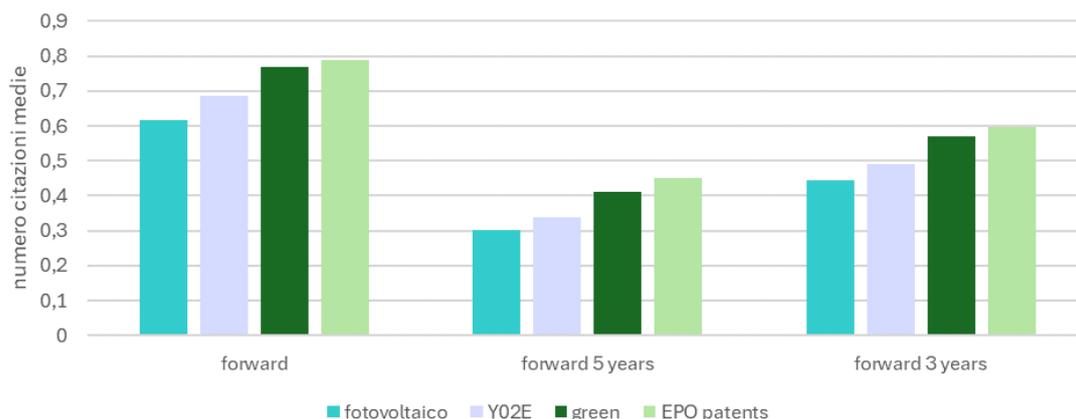


Figura 4.12. Numero medio di citazioni forward per le diverse categorie

Nell'effettuare i confronti bisogna però tener presente che i brevetti relativi al solare hanno un'età media inferiore di quasi 5 anni rispetto all'intero dataset ([Tabella 4.23](#)).

Categoria	Età media citazioni forward	Anno medio di domanda
Solare	6	2009.3
Y02E	6.17	2008.6
Green	6.64	2007.6
EPO Patents	7.32	2004.7

Tabella 4.23. Tabella dell'età media delle citazioni forward e dell'anno medio di domanda

Nell'ambito delle tecnologie relative al solare, considerando le citazioni in avanti, la percentuale di brevetti aventi un numero maggiore di 10 citazioni in avanti rappresenta il 2,7% di brevetti (tra quelli che hanno almeno una citazione) e la maggior frequenza si riscontra negli anni compresi tra il 2000 e il 2007 (circa il 44% dei brevetti con più di 10 citazioni).

Al contrario del numero di citazioni, i valori dell'indice di generalità mostrano una lieve ma maggiore varietà di citazioni nei brevetti solari. Dalla [Figura 4.13](#) si evince un trend

Variabile	Obs	Media	Deviazione Standard	Min	Max
EPO PATSTAT	1.072.279	0,4234	0,3098	0	0,9697
Y02E 10	5.699	0,4403	0,3137	0	0,9478

Tabella 4.24. Indice di generalità del settore fotovoltaico e dell'EPO PATSTAT

decescente relativo all'indice di generalità nell'intero dataset di brevetti EPO che si contrappone ad un trend crescente per quanto riguarda il settore solare. Tuttavia effettuando delle analisi puntuali si deduce che, sebbene ci sia un trend crescente relativo all'anno 2020, il valore di generalità pari a 0,66 è determinato da un unico brevetto.

Si ha pertanto un'incongruenza determinata dal numero di campioni a disposizione nei due gruppi.

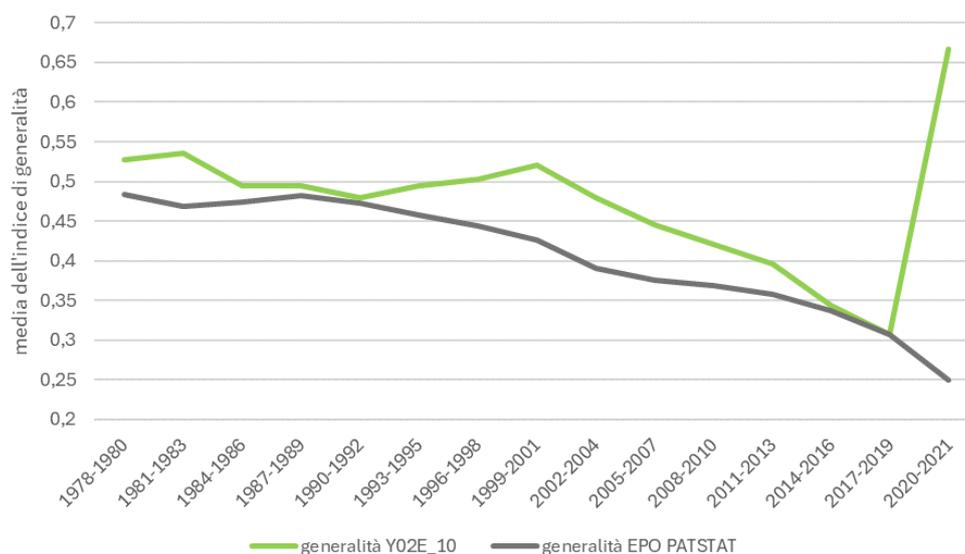


Figura 4.13. Distribuzione dell'indice di generalità nei brevetti relativi al fotovoltaico e in tutto il database EPO

Analizzando i numeri delle citazioni backward non si notano sostanziali differenze, è possibile affermare che, a differenza del gruppo green di riferimento (Y02E) le tecnologie fotovoltaiche sembrano basarsi maggiormente sullo stato dell'arte esistente e contemporaneamente attingere da informazioni che fanno parte di un panorama più ampio, dal momento che l'originalità ha valori più elevati.

Dalla Figura 4.14 emerge un brusco calo dell'indice di originalità nei brevetti dell'ambito Y02E_10, la decrescita è avvenuta dagli anni 1978 fino ad avere un minimo nel 1989. Segue

Categoria	Backward Citations	Media Lag Citazioni	Originalità
Solare	0,817	7,68	0,455
Y02E	0,783	7,6	0,406
Green	0,828	7,854	0,46
EPO Patents	0,796	7,83	0,427

Tabella 4.25. Dati relativi alle citazioni backward e all'originalità per categorie

una crescita che però è sempre stata accompagnata da andamenti altalenanti. Il secondo picco è stato raggiunto negli anni 2002-2004 per poi decrescere lentamente fino al 2021. Allo stesso modo anche i brevetti dell'EPO hanno avuto una decrescita, seppur meno netta.

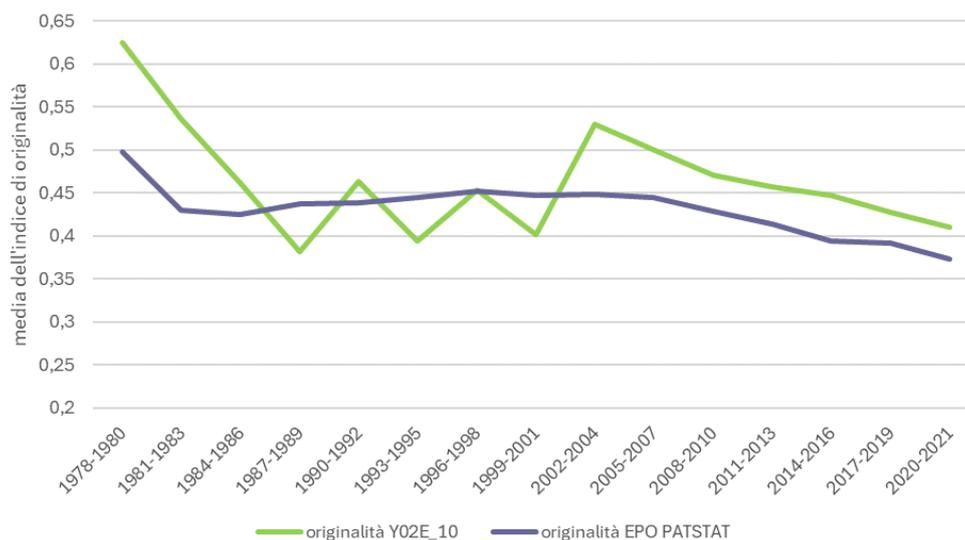


Figura 4.14. Distribuzione dell'indice di originalità nei brevetti relativi al fotovoltaico e in tutto il database EPO

Riassumendo, pur essendoci una differenza tra i numeri di citazioni tra le varie categorie (come riscontrato in Figura 4.12) ed avendo riportato delle possibili motivazioni relative a tale discordanza, è importante definire se queste differenze possono ritenersi significative. Viene pertanto effettuata un'analisi di inferenza statistica mediante un test t-student¹⁴, tale

¹⁴Viene utilizzato per determinare l'esistenza di una differenza statisticamente significativa tra le medie di due gruppi tra loro indipendenti.

analisi verrà effettuata anche per la verifica di significatività tra la generalità, considerando l'esistenza dei problemi sopracitati relativi alla differenza del numero di campioni.

Test T per le medie di citazioni forward

Al fine di verificare un'effettiva esistenza di differenza significativa delle medie di citazioni tra i due gruppi, è utile effettuare un test statistico.

Il test t tiene conto le differenze delle dimensioni dei due campioni, in modo tale da garantire che un'eventuale esistenza di differenza tra le medie non sia da attribuire al numero di osservazioni.

I due gruppi vengono rinominati come gruppo 0 i brevetti che non hanno tecnologie fotovoltaiche e gruppo 1 i brevetti appartenenti ad una delle categorie Y02E_10/40, Y02E_10/50, Y02E_10/60.

La [Tabella 4.26](#) mostra i risultati del test statistico effettuato, indicando che la differenza tra le due medie è di 0,177 e, pertanto, in media i brevetti del gruppo 0 ricevono più citazioni. Le analisi relative alla tabella precedentemente menzionata considerano tutti i brevetti, anche quelli che non hanno ricevuto alcuna citazione.

Osservando l'intervallo di confidenza al 95%, si deduce che, non includendo lo 0, vi è differenza significativa tra le medie. Il risultato è confermato anche dal test t, ove il valore t calcolato risulta essere pari a 8,6850 e pertanto maggiore di 1,96¹⁵.

È possibile confermare tali tesi anche osservando il valore del p-value per cui la probabilità che il gruppo 1 abbia una media superiore al gruppo 0 è nulla, diversamente la probabilità per cui la media per il gruppo 1 sia minore rispetto alla media del gruppo 0 è pari ad 1.

Tramite i test precedentemente elencati è possibile rifiutare l'ipotesi nulla H_0 che non prevede differenza significativa tra le medie dei due gruppi, a favore dell'ipotesi alternativa H_a , con un livello di significatività del 95%, deducendo che quindi i brevetti relativi al fotovoltaico sono meno citati.

Tuttavia, come precedentemente accennato, emergono delle differenze sostanziali nel caso in cui si prendano come riferimento soltanto i brevetti che presentano almeno una citazione. In questo caso, mentre per il gruppo 1 il campione si riduce di circa 1/5 rispetto al caso precedente, il gruppo 0 ha un campione più piccolo di 1/3. Viene pertanto effettuata un'ulteriore analisi presentata in [Tabella 4.27](#). Effettuando il percorso di analisi precedentemente descritto, si arriva ad un diverso risultato: in questo caso la media delle citazioni relative al gruppo 1 è maggiore rispetto alla media ottenuta nel gruppo 0.

L'analisi mostra che, in questo caso non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla e pertanto non emergono significative differenze tra le medie dei due gruppi, si può concludere che i gruppi relativi alle citazioni nel fotovoltaico e alle citazioni presenti nel database dei brevetti EPO mostrano citazioni medie simili.

¹⁵Si sceglie come soglia 1,96 in quanto per grandi campioni il test t si avvicina ad una distribuzione normale standard.

Group	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]
0	3.822.804	.7937804	.0016607	3.246928	.7905256 .7970353
1	25.439	.6167302	.013188	2.103437	.5908809 .6425795
<i>diff</i>		.1770502	.0203858		.1370947 .2170057
<i>diff</i> = mean(0) - mean(1)					$t = 8,6850$
H0: diff = 0				Degrees of freedom = 3.8e+06	
H _a : diff < 0		H _a : diff != 0		H _a : diff > 0	
Pr(T < t) = 1.0000		Pr(T > t) = 0.0000		Pr(T > t) = 0.0000	

Tabella 4.26. Test T per campioni indipendenti: media di citazioni forward tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO, considerando anche i brevetti che non hanno alcuna citazione

Group	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]
0	1.066.804	2.844447	.0054722	5.65202	2.833721 2.855172
1	5.704	2.750526	.0493026	3.723571	2.653874 2.847178
<i>diff</i>		.0939206	.0749234		(.0529266) .2407679
<i>diff</i> = mean(0) - mean(1)					$t = 1,2536$
H0: diff = 0				Degrees of freedom = 1.1e+06	
H _a : diff < 0		H _a : diff != 0		H _a : diff > 0	
Pr(T < t) = .8950		Pr(T > t) = .2100		Pr(T > t) = .1050	

Tabella 4.27. Test T per campioni indipendenti: media di citazioni forward tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO, considerando solo i brevetti che hanno almeno una citazione

Test T per le medie di citazioni backward

È possibile condurre gli stessi test precedentemente descritti considerando le citazioni backward.

La [Tabella 4.28](#) riporta che il gruppo 1 possiede una media di citazioni backward maggiore e che tale differenza è significativa. Si rifiuta pertanto l'ipotesi nulla con un livello di significatività del 95%, a favore dell'ipotesi alternativa $H_a : \text{diff} < 0$.

Group	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]	
0	3.822.804	.7924489	.0006984	1.365537	.7910801	.7938178
1	25.439	.8168167	.0110813	1.767418	.7950968	.8385366
<i>diff</i>		(.0243678)	.0086092		(.0412414)	(.0074941)
<i>diff</i> = mean(0) - mean(1)				<i>t</i> = -2,8304		
H0: <i>diff</i> = 0				Degrees of freedom = 3.8e+06		
H _a : <i>diff</i> < 0		H _a : <i>diff</i> != 0		H _a : <i>diff</i> > 0		
Pr(T < <i>t</i>) = .0023		Pr(T > <i>t</i>) = .0046		Pr(T > <i>t</i>) = .9977		

Tabella 4.28. Test T per campioni indipendenti: media di citazioni backward tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO

Diversamente da quanto riscontrato nelle citazioni forward, pur considerando soltanto i brevetti che hanno effettuato almeno una citazione all'indietro, non si verificano sostanziali differenze.

La prima osservazione riguarda il numero di campioni: la riduzione del campione per i brevetti fotovoltaici risulta essere di circa 2/5. Inoltre, pur non considerando i brevetti non aventi citazioni backward, la differenza tra le due medie risulta significativa, pertanto i brevetti appartenenti al gruppo 1 presentano una media di citazioni all'indietro maggiore.

Test T dell'indice di generalità

L'analisi presentata nella [Tabella 4.29](#) confronta le medie dell'indice di generalità nei due gruppi considerati. Il gruppo 0 rappresenta l'intero dataset, il gruppo 1 si riferisce ai dati relativi al settore fotovoltaico includendo solo le righe in cui almeno una delle variabili dummy precedentemente elencate della categoria Y02E_10 è pari ad 1.

La differenza calcolata tra le medie dei due gruppi risulta pari a -0,017 suggerendo che la

media della generalità del gruppo 0 è leggermente inferiore rispetto alla media della generalità nel gruppo 1.

Considerando che l'ipotesi nulla ammette che la differenza tra le due medie sia nulla e, di contro, l'ipotesi alternativa prevede una differenza tra le medie diversa da 0, si ha che la significatività statistica è valutata effettuando un test t. Risulta che la statistica t calcolata è pari a -4,1396, pertanto si rifiuta l'ipotesi nulla che non ci sia differenza tra le medie dei due gruppi.

Considerando un livello di confidenza del 95%, il valore del p-value è pari a 0,0 e quindi significativamente inferiore a 0,05, pertanto è possibile rifiutare l'ipotesi nulla con un livello di significatività del 5%.

Tale risultato implica la presenza di evidenza statistica sufficiente a supportare l'ipotesi alternativa $H_a : \text{diff} < 0$, suggerendo che la media del gruppo 0 è statisticamente inferiore rispetto alla media del gruppo 1.

Dall'analisi emerge quindi che in media la generalità nei brevetti relativi al fotovoltaico è statisticamente superiore rispetto alla media di tutti i brevetti.

Group	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]
EPO	1.066.580	.4232684	.0003	.3098232	.4226805 .4238564
Y02E10	5.699	.4403042	.0041556	.3137108	.4321577 .4484507
<i>diff</i>		(.0170358)	.0041153		(.0251016) (.0089699)
<i>diff</i> = mean(0) - mean(1)		$t = -4,1396$			
H0: $\text{diff} = 0$		Degrees of freedom = 1.1e+06			
$H_a: \text{diff} < 0$		$H_a: \text{diff} \neq 0$		$H_a: \text{diff} > 0$	
Pr(T < t) = 0.0000		Pr(T > t) = 0.0000		Pr(T > t) = 1.0000	

Tabella 4.29. Test T per campioni indipendenti: generalità tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO

Test T dell'indice di originalità

Seguendo le differenziazioni per la definizione dei gruppi precedentemente esposte, è stata effettuata un'analisi di significatività relativamente all'indice di originalità nel gruppo comprendente i brevetti relativi al fotovoltaico e il gruppo relativo all'insieme dei brevetti EPO ottenendo la [Tabella 4.30](#).

La differenza calcolata tra le due medie suggerisce un indice di originalità medio maggiore nell'analisi di 10.954 brevetti fotovoltaici.

Con un livello di confidenza pari al 95% il p-value risulta essere pari a 0,0, si rifiuta pertanto l'ipotesi nulla la quale afferma che la differenza tra le medie dei due gruppi sia non significativa.

Le evidenze suggeriscono una significativa differenza nell'originalità tra i brevetti EPO sul fotovoltaico e tutti i brevetti EPO, pur considerando due campioni aventi ordine di grandezza diversi.

Group	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]
EPO	1.733.348	.4266638	.000237	.3120125	.4261993 .4271283
Y02E10	10.954	.4546215	.0029799	.3118768	(.4487804) (.4604626)
<i>diff</i>		(.0279577)	.0029906		(.0338191) (.0220963)
<i>diff</i> = mean(0) - mean(1)		$t = -9,3487$			
H0: diff = 0		Degrees of freedom = 1.7e+06			
H _a : diff < 0		H _a : diff != 0		H _a : diff > 0	
Pr(T < t) = 0.0000		Pr(T > t) = 0.0000		Pr(T > t) = 1.0000	

Tabella 4.30. Test T per campioni indipendenti: originalità tra brevetti appartenenti alla categoria Y02E_10 e dataset EPO

4.6 Analisi della complessità dei brevetti

Uno studio sulla complessità del processo di innovazione risulta importante in quanto contribuito ad un eventuale aumento di investimenti nella ricerca e sviluppo. Il valore della complessità tecnologica si può determinare attraverso il numero di inventori associati ad un brevetto: un maggior numero di inventori nello stesso brevetto indica un più alto livello di complessità e di conoscenze tecniche per produrre innovazione. Un maggior numero di inventori implica il comprendere all'interno di uno stesso brevetto conoscenze multidisciplinari, quindi analizzare questo indicatore comporta una conoscenza più approfondita della trasversalità e delle competenze in un preciso ambito tecnologico.

L'analisi per l'ambito green viene effettuata considerando il database precedentemente filtrato contenente brevetti relativi a tecnologie green. I dati descrivono la media del numero di inventori per brevetto, pari a 2,88. Nel database sono presenti 778 brevetti che hanno un numero di inventori pari a 0. Questo risultato è da attribuire ad errori di compilazione in fase di presentazione della domanda. Infatti, considerando i brevetti appartenenti a questa categoria, si nota come solo un numero pari a 7 brevetti è stato concesso.

In ogni caso, il numero di brevetti non aventi inventori è esiguo, pertanto la media sul dataset escludendo tali brevetti non subisce variazioni sostanziali.

In [Figura 4.15](#) viene raffigurato l'andamento temporale del numero di inventori nel corso del tempo. Si può notare l'aumento degli inventori medi per brevetto durante il corso del tempo. L'aumento sostanziale si è verificato dagli anni '90.

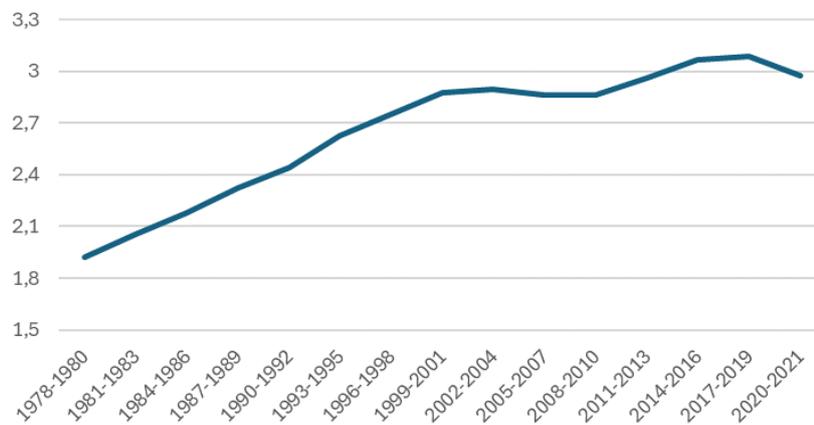


Figura 4.15. Andamento del numero di inventori medi raggruppati per 3 anni

La [Tabella 4.31](#) mostra la distribuzione del numero di inventori sui brevetti. La maggioranza dei brevetti green viene effettuata con una collaborazione tra 2 inventori.

Numero di Inventori	Conteggio	Percentuale
< 2 inventori	166.237	52%
tra 2 e 4 inventori	99.983	31%
tra 4 e 6 inventori	35.529	11%
> 6 inventori	16.802	5%

Tabella 4.31. Distribuzione del numero di inventori

Si può inoltre determinare che, indipendentemente dal numero di categorie green associate ad un brevetto, la media degli inventori per brevetto risulta costante.

4.6.1 La complessità dei brevetti fotovoltaici

Concentrandosi sui brevetti identificati dai codici Y02E_10/40, Y02E_10/50 e Y02E_10/60, è importante considerare che l'analisi è più opportuna se si effettua un confronto. Pertanto per questa valutazione, si utilizza come riferimento la complessità del database che raccoglie tutti i brevetti EPO e i brevetti green.

Anche limitandosi ai soli brevetti solari si osserva che il numero medio di inventori è pari a 2,92. Si contano 10 brevetti con più di 15 inventori, di cui 3 rientrano nella categoria Y02E_10/548. Inoltre, ci sono 68 brevetti privi di indicazione sull'inventore, nessuno dei quali risulta essere stato concesso.

Nel corso degli anni si è registrato un aumento progressivo della complessità, sia per quanto riguarda il database contenente tutti i brevetti EPO, che considerando esclusivamente quelli relativi al fotovoltaico (Figura 4.16). Se in un primo momento il numero di inventori medi nei brevetti dell'EPO risultava maggiore rispetto ai brevetti fotovoltaici, nel tempo, la complessità relativa a quest'ultimo gruppo è aumentata costantemente, superando i brevetti EPO.

Inizialmente, anche la complessità dei brevetti green era maggiore rispetto ai brevetti relativi al solare, è nell'ultima decade che si è visualizzata un'inversione di tendenza.

I risultati sono coerenti con quanto precedentemente affermato, ossia che l'anno medio di applicazione dei brevetti solari è maggiore rispetto al settore green, pertanto, essendo il settore più recente, non sorprende che la complessità sia aumentata più tardi. In particolare, per quanto riguarda i brevetti specifici del settore, l'incremento nell'ultimo biennio, rispetto ai primi anni, è stato del 52,8%, partendo da un valore iniziale di 1,65 inventori medi per brevetto e raggiungendo 3,13.

Il picco si registra nel triennio 2014-2016, un periodo che potrebbe coincidere con una maggiore sensibilizzazione verso le tematiche ambientali, in particolare in seguito alla COP di Parigi. Questo evento ha probabilmente contribuito ad una crescente consapevolezza dell'importanza del contributo fornito dallo sviluppo della tecnologia solare.

Il risultato suggerisce una crescita nella complessità e nell'interdisciplinarietà, che risulta anche maggiore rispetto alla complessità del database green.

Tali evidenze sono coerenti con quanto affermato da Luo and Wood [2017]; l'incremento del numero medio di inventori riflette una crescita dell'impegno necessario per sviluppare nuove invenzioni, tuttavia, si ipotizza contestualmente anche una riduzione della produttività inventiva media per singolo inventore.

Per quanto riguarda le singole tecnologie, nella Figura 4.17, è stato calcolato il numero di inventori medi separatamente per codice.

È interessante notare che la tecnologia Y02E_10/549 presenta un numero medio di inventori significativamente superiore rispetto ad altre tecnologie, risultando circa due volte maggiore rispetto alla tecnologia Y02E_10/440, con un numero quasi pari a 2 inventori per brevetto. Analizzando specificatamente queste due tecnologie si nota che i brevetti che utilizzano la tecnologia Y02E_10/549 hanno come anno medio di applicazione il 2011 (rendendola la seconda più recente). Diversamente, i brevetti aventi codice Y02E_10/440 hanno come anno medio di applicazione il 2004.

Questi risultati confermano l'ipotesi tale per cui i brevetti "nuovi" sono più complessi.

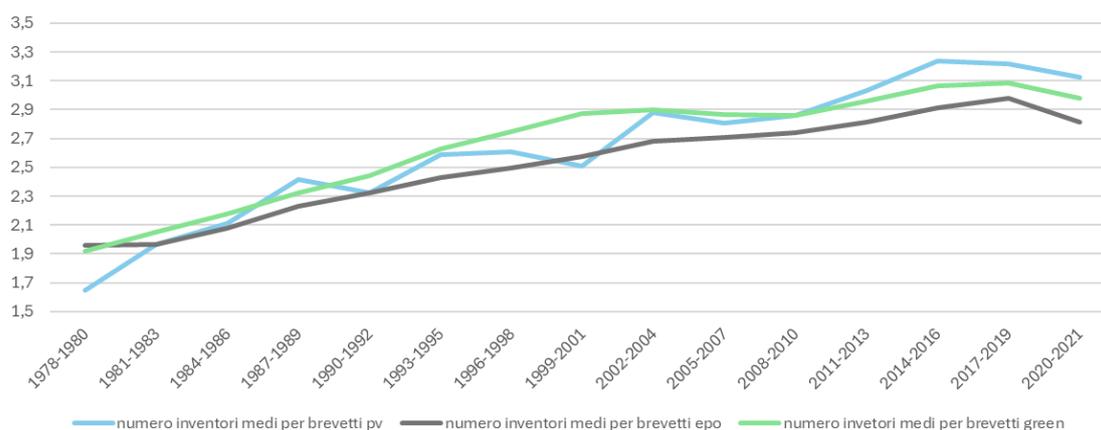


Figura 4.16. Andamento nel tempo del numero di inventori nei 3 diversi database

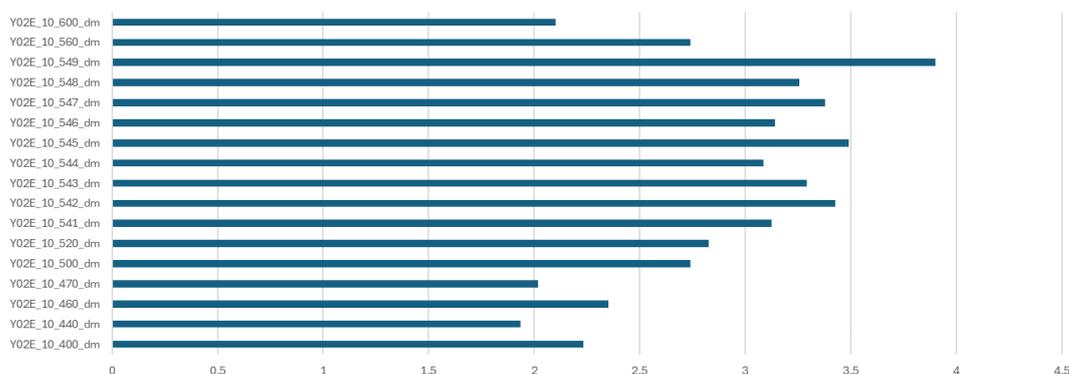


Figura 4.17. Inventori medi delle diverse tecnologie solari

A conferma di quanto precedentemente affermato, viene effettuato un confronto relativamente alla composizione dei due database sulle proporzioni del numero di inventori medi (Figura 4.18).

In entrambi i casi la maggioranza relativa dei brevetti ha un unico inventore, ma le percentuali risultano maggiori nel caso dei brevetti EPO.

Diversamente, il dataset dei brevetti solari ha una percentuale maggiore di invenzioni con più di 3 contribuenti.

A fronte delle analisi condotte, sia in relazione alle citazioni che alla complessità, viene evidenziato l'apporto delle invenzioni nel solare che risultano avere maggiore rilevanza rispetto alla media dei brevetti in generale e, contemporaneamente, anche più complesse.

La complessità deriva dall'adozione di nuove tecnologie che facilitano l'interconnessione e

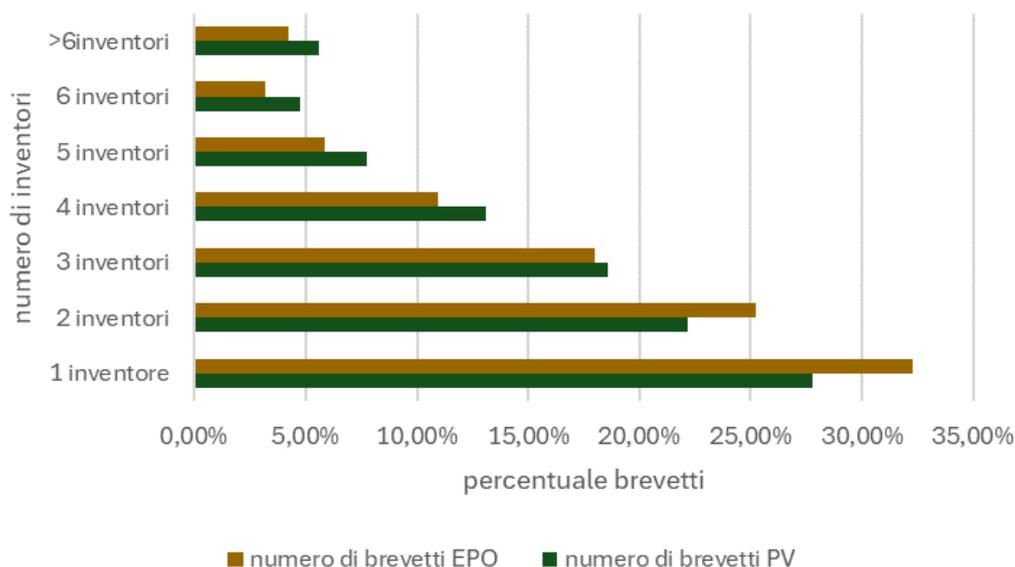


Figura 4.18. Confronto della proporzione del numero di inventori medi tra i brevetti solari e l'EPO PATSTAT

il supporto, richiedono contributi sempre più esigenti al fine di un continuo progresso del settore.

Il miglioramento viene naturalmente richiesto in quanto il settore analizzato è ritenuto di fondamentale importanza per la mitigazione al cambiamento climatico e per la riduzione delle emissioni di gas serra.

4.7 Risultati dell'analisi descrittiva

Le analisi statistiche del database utilizzato sono riassunte e riportate in [Tabella 4.32](#).

L'analisi dei brevetti nel settore solare evidenzia una crescente rilevanza di questo ambito, non solo rispetto al settore green in generale, ma anche in confronto diretto con i dati del database EPO. Questa crescita si manifesta attraverso diverse variabili descrittive.

In particolare, i brevetti solari dimostrano una capacità di connettere inventori provenienti da diverse regioni, con una media di oltre un inventore per brevetto da paesi differenti. Inoltre, si nota una predominanza dell'Occidente in questo campo, con la Germania che spicca per il suo ruolo di leadership, mentre le regioni dell'Europa Orientale mostrano un coinvolgimento significativamente inferiore nello sviluppo di questo settore. In ogni caso, è rilevante il contributo di altri Paesi che stanno emergendo, con l'intensificarsi dell'attenzione al tema e con l'aumento degli incentivi e della spesa.

Le analisi mostrano, inoltre, che la distribuzione all'interno dei paesi europei è variabile, con Paesi che mostrano una concentrazione maggiore associata a specifici poli di ricerca, ed altri che, d'altra parte, prefigurano una situazione più omogenea.

Si nota, inoltre, una maturazione del settore, in quanto i numeri sono in una lieve decrescita costante dal 2012, pertanto emergono prospettive tali per cui potrebbero insorgere interessi relativi ad altre tecnologie.

Ci sono alcuni shock esogeni che potrebbero contribuire ancora di più alla riduzione, si pensi ad esempio al conflitto Russo-Ucraino, in cui, nonostante nessuno dei due paesi abbia una forte presenza nel settore, i paesi con stretti legami economici sono esposti ad interruzioni legati alla catena di approvvigionamento, oltre che alla forte dipendenza dell'Europa dal gas russo. D'altra parte, sebbene la dipendenza possa avere impatti sulla R&D dell'Europa o interrompere la fornitura, si potrebbe delineare lo scenario tale per cui i Paesi puntino a migliorare la loro produzione interna in modo da rendersi indipendenti.

Esaminare le citazioni ha permesso di ottenere indicazioni sulle dinamiche innovative e sul loro impatto nel settore. L'uso delle citazioni, sia forward che backward, ha facilitato la comprensione dell'evoluzione tecnologica e, di conseguenza, come il fotovoltaico si stia affermando non solo all'interno delle tecnologie green ma anche nel panorama generale dell'innovazione brevettuale.

Un dato rilevante è la percentuale inferiore di brevetti fotovoltaici con citazioni forward rispetto ad altre tecnologie, dovuta probabilmente alla "giovinezza" dei brevetti stessi, caratterizzati da un'età media di applicazione inferiore rispetto al dataset generale. Il dato suggerisce che molti brevetti fotovoltaici sono ancora in fase di sviluppo o non hanno ancora avuto il tempo di generare un impatto significativo.

L'analisi dei punteggi di generalità e originalità ha mostrato una maggiore varietà di citazioni nel settore fotovoltaico rispetto ad altri ambiti tecnologici, segnalando una tendenza crescente nell'indice di generalità e una portata applicativa maggiore.

L'analisi della complessità dei brevetti fotovoltaici ha evidenziato una crescita significativa nel numero di inventori coinvolti nel corso degli anni, riflettendo l'aumento dell'interdisciplinarietà e della sofisticazione tecnologica del settore. L'aumento della complessità si verifica maggiormente in concomitanza ad eventi che hanno ad una maggiore sensibilizzazione sulle questioni ambientali e a un rafforzamento degli investimenti in tecnologie sostenibili come il fotovoltaico.

La crescita della complessità nei brevetti solari si riflette nell'incremento del numero medio di inventori, che ha raggiunto i 3,13 inventori per brevetto, un aumento del 52,8% rispetto ai primi anni del dataset. Ciò suggerisce che lo sviluppo di nuove tecnologie fotovoltaiche richiede sempre più competenze specialistiche e collaborazioni interdisciplinari. In particolare, la tecnologia Y02E_10/549 si distingue per avere un numero medio di inventori significativamente superiore rispetto ad altre tecnologie, a conferma che i brevetti più recenti sono anche i più complessi.

Descrizione	Variabile	Obs	Mean	Dev. std.	Min	Max
Anno di deposito della domanda	apl_n_yr	25,439	2009.3	8.06	1978	2020
Numero di inventori che depositano un brevetto	inv_t_nb	25,439	2.94	2.00	0	31
Numero di applicants che depositano un brevetto	apl_c_nb	25,439	1.1	0.41	0	12
Numero di settori della categoria Y02 assegnati ad un brevetto	Ysector	25,439	1.41	0.57	1	5
Numero di settori della categoria Y02E assegnati ad un brevetto	Y02Esector	25,439	1.25	0.56	1	8
Numero di paesi a cui appartengono gli inventori di un brevetto	ctry_nb	18,975	1.14	0.5	1	9
Numero di brevetti concessi	grnt_dm	25,439	0.4	0.49	0	1
Numero di citazioni all'indietro di un brevetto	bkwd_cttn_nb	25,439	0.82	1.77	0	34
Lag citazioni backward	avg_bkwd_cttn_lag	10,954	7.68	6.21	-3.2	40.73
Originalità	orglt_nb	10,954	0.46	0.31	0	0.95
Numero di brevetti citati	frwd_cttn_all_nb	25,439	0.62	2.10	0	90
Numero di brevetti citati 5 anni	frwd_cttn_five_nb	25,439	0.3	1.53	0	84
Numero di brevetti citati 3 anni	frwd_cttn_three_nb	25,439	0.44	1.83	0	89
Generalità	gnr1t_nb	5,699	0.44	0.31	0	0.95

Tabella 4.32. Statistiche descrittive

Capitolo 5

Analisi econometrica

Da quanto emerso precedentemente, la crescita dei brevetti fotovoltaici negli ultimi anni è evidente e accompagnata da una crescita della domanda globale di energia. Sebbene sia noto che il costo dell'energia rinnovabile diminuisce con l'aumento delle tecnologie correlate, è meno evidente l'estensione delle innovazioni e la diffusione nelle nuove aree geografiche ([Lehmann \[2013\]](#)).

Dopo aver esaminato nello specifico i principali indicatori della tecnologia fotovoltaica per la determinazione dell'ampiezza del settore, la domanda a cui si vuole rispondere indaga su come l'accumulo dei brevetti relativi al solare nei paesi europei abbia influenzato la produzione di nuovi brevetti nel settore negli altri paesi e nei vicini. L'analisi cerca di individuare gli spillover a livello nazionale, confrontandoli con l'esame effettuato ad una granularità maggiore considerando i livelli NUTS2 e NUTS3.

Viene, pertanto, eseguita un'analisi econometrica che permette di determinare l'influenza di diverse variabili sul numero di brevetti prodotti in un'area geografica, l'analisi viene effettuata seguendo quanto espresso precedentemente in relazione alla letteratura esistente.

Per l'analisi si utilizza il database precedentemente esaminato comprendente i dati relativi ai brevetti solari la cui domanda è stata depositata tra gli anni 1978-2021, con 25.439 domande di brevetto.

Il modello econometrico utilizzato in questa analisi si basa sull'approccio sviluppato da [Grafström \[2018\]](#) per il settore eolico, adattato però al settore solare. Sono state introdotte alcune varianti nelle variabili indipendenti, come illustrato successivamente. Inoltre, gli spillover geografici verranno analizzati non soltanto ad un livello nazionale ma anche regionale e provinciale.

5.1 Descrizione delle variabili

Nell'analisi econometrica la variabile dipendente è rappresentata dal conteggio delle domande di brevetto nel campo dell'energia solare. Ciò che si ottiene è un valore di brevetti calcolato per anno e per diversa area geografica. L'analisi del conteggio dei brevetti viene

effettuata considerando i Paesi europei e le relative regioni e province impegnate nella produzione di tecnologie solari.

Nei capitoli precedenti è stata determinata la classificazione utilizzata al fine di determinare quali sono le tecnologie correlate al campo di interesse ([sottosezione 4.3.1](#)).

Come già trattato precedentemente, un brevetto è in grado di riflettere la conoscenza tecnologica cumulativa di un'area geografica, quindi la correlazione positiva esistente tra la conoscenza esistente (brevetti precedenti) e le nuove domande di brevetto possono indicare la presenza di ricadute di conoscenza.

Poichè l'innovazione è determinata dal prodotto della conoscenza pregressa, un elemento importante nella produzione dei brevetti include la quantità di capitale umano e le spese di R&D, il presupposto è che la produzione di nuova conoscenza sia legato allo stock di innovazioni esistenti.

Seguendo quanto effettuato da [Grafström \[2018\]](#), le variabili indipendenti utilizzate sono: il personale di ricerca e sviluppo nel campo dell'eolico, le spese di ricerca e sviluppo e la conoscenza pregressa. Per lo sviluppo dell'analisi in questo elaborato le variabili indipendenti non riprendono fedelmente quanto effettuato nel lavoro di ricerca precedentemente menzionato, infatti, bisogna tenere presente che nel lavoro di Grafström lo studio viene effettuato tenendo conto dei maggiori 8 produttori di brevetti europei, limitandosi ad un'analisi nazionale. Pertanto, al fine di espandere la ricerca ad un livello geografico più puntuale, i dati utilizzati non sono facilmente fruibili.

Di conseguenza, sono determinate delle variabili indipendenti che fungono da proxy.

Si utilizzerà il GDP per capita in quanto indicatore del livello di sviluppo economico di un'area geografica. Tendenzialmente un PIL pro capite elevato indica una maggiore disponibilità in risorse finanziarie. Tuttavia, questo valore non fornisce un'indicazione unicamente nel settore di riferimento, nè cattura l'intensità delle spese in R&D di una regione ma riflette la ricchezza generale. Tale limite viene mitigato dall'utilizzo del GERD, in quanto misura più strettamente legata alla ricerca e sviluppo rispetto al GDP, spiegando meglio le dinamiche di innovazione.

Allo stesso modo, in mancanza dei dati relativi al personale di R&D, si utilizza il numero di inventori per brevetto. Ciò che viene effettuato è una media su base annuale per area geografica. La motivazione di tale scelta è determinata dal fatto che, come esposto nel precedente capitolo, più inventori per brevetto suggeriscono un progetto più complesso che richiede competenze diversificate.

Come misura dello stock di conoscenza saranno utilizzate le citazioni ricevute dai brevetti. Come variabili indipendenti verranno considerati due indicatori basati sulle citazioni: uno relativo alle citazioni interne, effettuate all'interno della zona di riferimento, e uno relativo alle citazioni esterne, ovvero quelle provenienti da aree al di fuori della zona in esame.

Tuttavia, nella letteratura precedente sono stati analizzati studi che affermavano come la vicinanza geografica fosse determinante per la generazione di innovazione. Per questo motivo, con il fine di determinare quanto possa essere impattante la distanza, viene utilizzato un indicatore che rileva il peso della distanza sullo stock di conoscenza internazionale. [Costantini et al. \[2013\]](#) suggeriscono che l'effetto della distanza decrescente può essere modellato in termini di distanza inversa, quindi, dopo aver determinato la distanza tra due paesi calcolata

sulle coordinate dei centroidi¹, si definisce la variabile

$$D_{1K_{sr}} = \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq r}}^s (K_s \cdot W_{rs}) \quad \text{con} \quad W_{rs} = D_{rs}^{-1} \quad (5.1)$$

Dall’equazione emerge che al decrescere della distanza tra le due zone analizzate, è assegnato un peso maggiore all’area s rispetto all’influenza esercitata su r .

In alcuni casi è possibile avere delle correlazioni, talvolta forti, tra le variabili indipendenti che possono comportare dei bias nella formulazione dei risultati. Si riportano, pertanto, le matrici di correlazione tra le variabili indipendenti per i tre diversi livelli di analisi ([Allegato 5](#), [Allegato 6](#) e [Allegato 7](#)).

5.1.1 Limiti di utilizzo delle variabili

Secondo quanto affermato precedentemente, l’utilizzo delle variabili indipendenti relative alla spesa R&D e al personale di ricerca e sviluppo utilizzate nella ricerca di [Grafström \[2018\]](#), non sono facilmente accessibili poichè i dati disaggregati a livello settoriale tendono ad essere nazionali. In questo studio, si adotta il Gross Domestic Expenditure on Research and Development (GERD) come una proxy per la spesa in R&D destinata all’energia solare. Il GERD rappresenta la spesa totale di un paese in ricerca e sviluppo, è un indicatore chiave dell’impegno nell’innovazione. Un elevato livello di GERD indica che il paese sta investendo attivamente nello sviluppo di nuove tecnologie e nella capacità di generare e assimilare conoscenza avanzata, essenziale per beneficiare degli spillover tecnologici. Sebbene il valore rappresenti l’investimento totale in ricerca e sviluppo di un paese, inclusi i settori non energetici, la sua capacità di riflettere l’allocazione di risorse nella ricerca in energie rinnovabili è stata testata empiricamente.

L’utilizzo del GERD come proxy per la spesa R&D è stato giustificato tramite un’analisi di correlazione. Una volta identificata la correlazione, si presume possibile utilizzare il GERD come indicatore; tramite l’analisi è possibile valutare l’esistenza di una relazione tra l’investimento R&D di un paese e il GERD che possa essere considerato adeguato.

In [Allegato 3](#) si riporta la matrice di correlazione tra il GERD e la spesa di ricerca e sviluppo per nazioni. Il valore di correlazione ottenuto è pari a 0.3548 che indica una relazione positiva con intensità di relazione moderata. La correlazione non comporta una relazione causa-effetto, tuttavia, il risultato indica che, sebbene il valore non sia particolarmente elevato, ad un aumento del GERD è associato un aumento della spesa in R&D. La relazione non indica un legame forte, ma è sufficiente a giustificare l’uso del GERD come proxy, dal momento che l’influenza di questo valore fornisce un’indicazione dell’intensità con cui un’area geografica investe in ricerca e sviluppo.

Pertanto, ai fini dell’analisi, si utilizza il GERD come driver per la spesa di R&D in quanto

¹Fonte utilizzata per reperire i centroidi dei Paesi: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/statistical-units/territorial-units-statistics>.

misura del livello di supporto complessivo alla ricerca, supportato dal fatto che, a livello empirico, paesi con alti investimenti complessivi in R&D tendono a sviluppare risorse anche in settori come le energie rinnovabili, pur riconoscendone i limiti legati alla mancata rappresentazione di contributo dei singoli settori, riducendone la precisione.

In mancanza del dato rappresentante spesa in ricerca e sviluppo, è importante considerare anche il GDP pro capite, in quanto indicatore della dimensione economica di un paese. Paesi con un elevato PIL pro capite tendono ad avere infrastrutture e conoscenze che facilitano l'adozione di nuove tecnologie, inoltre risulta fondamentale come misura di normalizzazione poichè nell'analisi si effettua un confronto tra regioni geografiche che hanno una diversa disponibilità,

Un'ulteriore problematica relativa all'accesso ai dati è stata riscontrata per la variabile del personale di ricerca e sviluppo i cui valori non risultano facilmente disponibili e, quando presenti, riferiti ad un limitato arco temporale che non copre il periodo di analisi di questo elaborato. Per tale motivazione, si è preferito introdurre la variabile di ricerca e sviluppo determinata dal numero medio di inventori per brevetto. Gli inventori sono coinvolti nelle fasi di ricerca e sviluppo rappresentando una misura diretta del personale che contribuisce alla brevettazione. Tuttavia, il rischio a cui si incorre utilizzando come driver il numero medio di inventori è quello di non considerare tutta la forza lavoro impiegata nell'R&D e non includere personale impiegato in settori di ricerca non direttamente legati ai brevetti. Infatti, non tutto il personale impiegato nella ricerca e sviluppo viene riportato nella domanda brevettuale, ma talvolta il contributo potrebbe non essere indicato, suggerendo quindi che l'indicatore utilizzato non cattura effettivamente tutto il personale coinvolto. Utilizzando i dati relativi al personale di ricerca e sviluppo in Europa si dimostra che esiste una correlazione positiva tra il personale R&D e il numero di inventori per brevetto. La matrice riportata in [Allegato 4](#) viene costruita considerando il personale totale di ricerca e sviluppo in un determinato paese, suddiviso per il numero di brevetti. Tramite il valore ottenuto è ragionevole concludere che, laddove l'intensità della ricerca è maggiore, si riscontrano più inventori impiegati.

5.2 Specifiche del modello

Per indagare l'esistenza di spillover geografici nella [Equazione 5.2](#) viene calcolata la produzione di brevetti che in letteratura viene espressa come:

$$PC_{nt} = \beta_0 + \beta_1 RES_{nt-2} + \beta_2 GDP_{nt-2} + \beta_3 GERD_{nt-2} + \beta_4 totK_{nt} + \alpha_n + \epsilon_{nt} \quad (5.2)$$

dove PC_{nt} è la variabile dipendente e tiene conto del numero di brevetti che sono stati depositati in una zona geografica n ($n=1, \dots, N$) per un dato anno t ($t=1, \dots, T$). Le variabili indipendenti sono invece determinate dalla media del numero di inventori per brevetto

in una determinata zona per l'anno t (RES_{nt-2}), il Gross Domestic Product² per capita³ dell'area geografica (GDP_{nt-2}) e il valore di spesa lorda per le spese di ricerca e sviluppo⁴ ($GERD_{nt-2}$) che tiene conto della R&D svolta da tutte le aziende del territorio, dagli istituti di ricerca, dalle università e dai laboratori governativi. Queste tre variabili sono laggate di due anni, in quanto si considera che ad esempio un GDP di un certo anno t può avere degli effetti nella capacità produttiva di brevetti nei due anni successivi (Nicolli et al. [2012]). La variabile $totK_{nt}$ cattura il knowledge stock totale del settore, indipendentemente se sia interno o esterno all'area geografica, tale variabile viene calcolata considerando tutte le citazioni backward. Tale misura considera i brevetti citati che appartengono al campo del solare, seguendo la classificazione Y02E.

Al fine di catturare eventuali eterogeneità di ciascun paese viene introdotto il termine α_n che cattura gli effetti fissi (fixed effect). Il termine di errore o residuo ϵ_{nt} cattura la variazione nel conteggio dei brevetti che non può essere spiegata dalle variabili indipendenti.

L'Equazione 5.2 viene inserita all'interno della Tabella 5.1, comprendente le specifiche dei modelli. Le equazioni dalla II alla VI della tabella vengono costruite sulla base del Modello I e rappresentano le diverse varianti che analizzano la presenza di spillover nel campo del solare.

Nei modelli successivi la variabile relativa alle citazioni totali viene suddivisa considerando le citazioni interne ed esterne, in modo da poter verificare l'effetto singolo delle citazioni.

Il modello II introduce la variabile relativa al national stock basato sulle citazioni backward dei brevetti, in modo da determinare l'eventuale significatività legata alla presenza di conoscenza nell'area interna di analisi. Si considerano esclusivamente i brevetti con la stessa localizzazione geografica dell'inventore del brevetto citante.

Il modello III, rispetto al precedente, sostituisce l'international knowledge stock considerando i brevetti il quale inventore ha una localizzazione geografica diversa dal brevetto citante. Nel caso di analisi NUTS1 il brevetto citato è effettuato in un Paese estero, considerando una granularità maggiore (NUTS2 o NUTS3) per international stock si intende un brevetto citato che ha come localizzazione dell'inventore una zona geografica al di fuori di quella dell'inventore del brevetto citante, quindi una regione o provincia diversa.

Nei Modelli V e VI viene utilizzata la distanza pesata tra la localizzazione dell'inventore del brevetto citante e dell'inventore del brevetto citato (DIK). Il calcolo della distanza viene effettuato considerando i centroidi.

²Fonte dei dati relativi al GDP per diversi livelli NUTS: <https://urban.jrc.ec.europa.eu/ardecoviewer/SUVGD?jdvfys=asc&jdvfc=all&jdvfnl=3>.

³Fonte dei dati relativi alla popolazione per diversi livelli NUTS: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/demo_r_pjangrp3/default/table?lang=en.

⁴Fonte database GERD NUTS1: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rd_e_gerdtot_custom_13488127/default/table?lang=en.

Fonte database GERD NUTS2: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rd_e_gerdreg_custom_13488091/default/table?lang=en.

Modello	Equazione del modello	Descrizione
I	$PCnt = b_0 + b_1RES_{nt-2} + b_2GDP_{nt-2} + b_3GERD_{nt-2} + b_4Populat_{nt} + b_5totK_{nt} + a_n + \epsilon_{nt}$	Modello base comprendente il knowledge stock totale
II	$PCnt = b_0 + b_1RES_{nt-2} + b_2GDP_{nt-2} + b_3GERD_{nt-2} + b_4Populat_{nt} + b_5K_{nt} + a_n + \epsilon_{nt}$	Modello con il knowledge stock interno
III	$PCnt = b_0 + b_1RES_{nt-2} + b_2GDP_{nt-2} + b_3GERD_{nt-2} + b_4Populat_{nt} + b_5IK_{nt} + a_n + \epsilon_{nt}$	Modello con il knowledge stock esterno
IV	$PCnt = b_0 + b_1RES_{nt-2} + b_2GDP_{nt-2} + b_3GERD_{nt-2} + b_4Populat_{nt} + b_5K_{nt} + b_6IK_{nt} + a_n + \epsilon_{nt}$	Modello con knowledge stock interno ed esterno
V	$PCnt = b_0 + b_1RES_{nt-2} + b_2GDP_{nt-2} + b_3GERD_{nt-2} + b_4Populat_{nt} + b_5DIK_{nt} + a_n + \epsilon_{nt}$	Modello con il knowledge stock ponderato per distanza
VI	$PCnt = b_0 + b_1RES_{nt-2} + b_2GDP_{nt-2} + b_3GERD_{nt-2} + b_4Populat_{nt} + b_5K_{nt} + b_6DIK_{nt} + a_n + \epsilon_{nt}$	Modello con knowledge stock interno ed esterno ponderato per distanza

Tabella 5.1. Specifiche dei modelli stimati della produzione di brevetti

5.3 Modello econometrico

La distribuzione binomiale deriva dalla distribuzione di Bernoulli ripetuta n volte, comprendente due tipologie di esiti possibili: successo e insuccesso. Ogni osservazione è indipendente dalla precedente; il conteggio dei successi determina la variabile binomiale.

Di questa tipologia di dati fanno parte i brevetti e che quindi rappresentano dei dati di tipo conteggio.

Il modello di Poisson è adatto a trattare i dati nei quali la variabile dipendente è di tipo conteggio. Il modello assume che la varianza del conteggio sia uguale alla sua media. Nel caso in cui venga violata tale assunzione dal dataset, e quindi $Var(Y) > E(Y)$, la variabile di conteggio presenta overdispersione, comportando inferenze errate.

Nell'analisi del conteggio dei brevetti del settore solare è possibile visualizzare la media e la varianza per ogni livello NUTS nella [Tabella 5.2](#). Dalla tabella emerge che ad ogni livello della classificazione si riscontra una deviazione standard maggiore della media. Non essendoci quindi una distribuzione uniforme dei dati, è preferibile l'utilizzo della binomiale negativa. Lo stimatore binomiale negativo consente maggiore flessibilità nella parametrizzazione della relazione media-varianza.

Un'ulteriore problematica che emerge è relativa a conteggi di brevetti pari a 0. Il valore implica che nella zona geografica in un determinato anno non sono state depositate domande di brevetto. La variabile dipendente sarà a valori interi non negativi, comprendente anche un elevato numero di zeri che sarà maggiore quanto maggiore è la granularità dell'analisi e con valori relativamente bassi. Osservando la distribuzione del numero di brevetti nella [Figura 5.1](#) si nota come i valori più inferiori sono nei primi anni, in quanto l'energia solare

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
<i>NUTS1</i>					
PCnt	457	33.6302	111.1077	0	1037
<i>NUTS2</i>					
PCnt	8.955	1,725628	10,09351	0	406
<i>NUTS3</i>					
PCnt	66.901	0.2287858	2.100332	0	197

Tabella 5.2. Tabella riepilogativa del conteggio dei brevetti per i diversi livelli NUTS.

è relativamente nuova e in aggiunta, come anche detto nei capitoli precedenti, la classificazione è stata effettuata a posteriori.

La frequenza del numero di brevetti separatamente per area geografica e anno è invece riportata in [Figura 5.2](#), si conferma la distribuzione dei dati più concentrata verso valori minori.

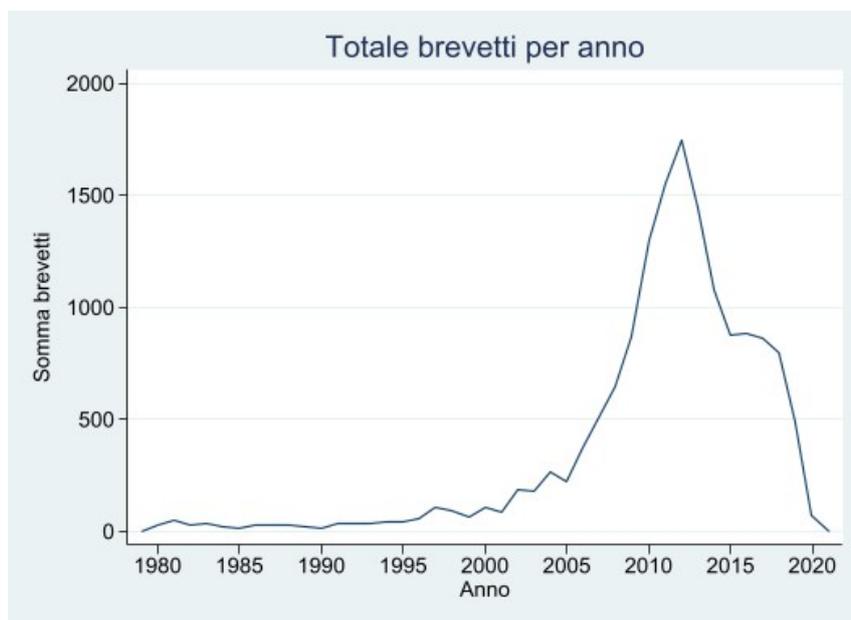


Figura 5.1. Somma dei brevetti totali dei Paesi per anno

Il metodo degli effetti fissi è introdotto in modo da catturare gli effetti non osservati, specifici per paese nel corso del tempo, che ha la capacità di analizzare i dati mantenendo costanti i periodi temporali ed i soggetti, catturandone la variabilità. Assume che le specifiche caratteristiche dell'individuo abbiano un effetto unico e non casuale sulla variabile dipendenti ed isolare l'effetto dei regressori, applica un controllo stringente alle caratteristiche non osservabili, rimuovendo la distorsione da variabili omesse. Di contro, non è possibile

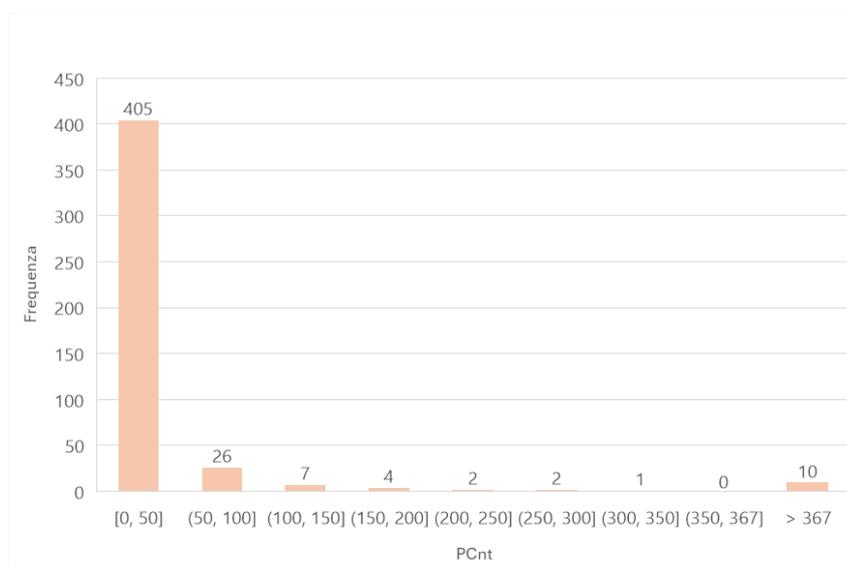


Figura 5.2. Frequenza del conteggio di brevetti

stimare l'effetto delle variabili che non variano nel tempo. Ogni effetto fisso che si introduce cattura una parte di variabilità, comportando così una perdita di gradi di libertà e, talvolta, potrebbe condurre a stime meno precise.

5.4 Risultati

La [Tabella 5.3](#) rappresenta i risultati empirici derivanti dalle specifiche dei modelli da I a VI per il livello NUTS1. I modelli analizzano la presenza di spillover di conoscenza nel campo dell'energia solare ad un livello nazionale.

In tutte le tabelle che seguono i coefficienti di interesse sono relativi allo stock solare interno (rappresentato dalle citazioni backward interne con stessa localizzazione dell'inventore del brevetto citante) e dallo stock solare esterno (rappresentato dalle citazioni backward esterne con localizzazione dell'inventore citato diversa dalla localizzazione dell'inventore citante). L'analisi indica che la variabile relativa al GDP ha un'importanza significativa per il settore solare, diversamente avviene per gli inventori dei brevetti il cui coefficiente non ha prodotto risultati statisticamente significativi. In alcuni modelli il GERD è negativo e non significativo, indicando che la R&D non ha effetto immediato, le politiche di ricerca e sviluppo non sembrano influenzare direttamente la produzione di brevetti nel breve periodo. La capacità inventiva di un paese aumenta con l'accumularsi della conoscenza, il risultato trova riscontro nei valori calcolati per la variabile citazioni totali al Modello I. Nei modelli successivi, al fine di verificare l'impatto e la significatività che portano le diverse localizzazioni delle citazioni, la variabile delle citazioni totali viene suddivisa. Si nota che lo stock nazionale è positivo e significativo nel modello II e nel modello VI, ma negativo e significativo nel modello IV. Il risultato potrebbe suggerire che, quando le citazioni sono considerate isolate, comportano

benefici nella produzione di brevetti. Quando l'effetto è valutato in contemporanea allo stock internazionale, il coefficiente negativo e significativo delle citazioni nazionali, suggerisce un maggior free riding a livello interno condotto da una riduzione di sforzi. In realtà, facendo riferimento all'[Allegato 5](#), si riscontra un'elevata correlazione tra le componenti delle citazioni, inducendo a inferenze imprecise. Nei Modelli III e IV i coefficienti relativi allo stock solare internazionale sono positivi e significativi, pertanto, le conoscenze accumulate anche al di fuori dei confini nazionali incentivano la propensione a brevettare in un Paese specifico, deducendo che nel settore solare la conoscenza supera i confini nazionali. Nei Modelli V e VI si introduce la distanza inversa agli stock di conoscenza internazionale che non produce risultati statisticamente significativi.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt
RESlag	0.0124 (0.49)	0.0123 (0.47)	0.0119 (0.47)	0.00672 (0.27)	-0.0285 (-0.67)	-0.0332 (-0.81)
GDPlag	0.593*** (6.73)	0.560*** (6.29)	0.605*** (6.87)	0.664*** (7.27)	0.494*** (3.99)	0.497*** (4.17)
GERDlag	-0.211 (-0.43)	0.00643 (0.01)	-0.300 (-0.61)	-0.900 (-1.50)	0.534 (0.84)	0.135 (0.24)
population	0.833 (1.61)	0.509 (1.00)	0.898* (1.73)	0.975* (1.85)	-0.343 (-0.53)	0.461 (0.72)
totCitazioni	0.00262*** (16.15)					
Citationsnt		0.0109*** (13.36)		-0.0140*** (-3.23)		0.0110*** (13.40)
CitationsIKnt			0.00340*** (16.41)	0.00729*** (6.01)		
DIK					-0.239 (-1.40)	-0.0881 (-0.56)
_cons	-1.451*** (-4.26)	-1.348*** (-3.95)	-1.473*** (-4.32)	-1.497*** (-4.35)	-0.694 (-1.49)	-0.844* (-1.84)
N	249	249	249	249	179	179

t statistics in parentheses

* p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

Tabella 5.3. Analisi di regressione dei modelli I-VI al livello NUTS1

Nella [Tabella 5.4](#) si riportano i risultati dei modelli precedentemente esposti che trattano gli spillover di conoscenza geografica ad un livello NUTS2. I coefficienti di RES e GDP sono sempre positivi, ma, mentre il RES continua a non essere significativo, il GDP, a differenza del caso precedente sarà significativo solo per i modelli V e VI. Diversa è la situazione per il GERD, che oltre ad avere coefficienti negativi, risulta statisticamente significativo nel Modello V. Relativamente allo stock di conoscenza la struttura si discosta leggermente rispetto a quanto descritto precedentemente per il livello NUTS1. Infatti, lo stock delle citazioni interne non risulterà significativo in tutti i modelli, nel Modello IV, in combinazione con lo stock esterno, sarà negativo e non significativo. Una motivazione plausibile prevede che la collaborazione locale, essendo meno dispersa del livello NUTS1 sia maggiore del caso

precedente, ma comunque ancora relativamente limitata. Anche in questo caso, però, risulta necessario approfondire la correlazione esistente ([Allegato 6](#)) che mostra un coefficiente ancora elevato, seppur minore al caso precedente.

L'analisi del coefficiente DIK sottolinea l'impatto della distanza geografica, che, ancora non significativo, ma maggiore rispetto al caso NUTS1.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt
RESlag	0.00907 (0.45)	0.00835 (0.41)	0.00863 (0.43)	0.00644 (0.32)	0.00144 (0.05)	-0.00196 (-0.08)
GDPlag	0.153 (1.54)	0.150 (1.51)	0.152 (1.52)	0.146 (1.46)	0.217* (1.71)	0.209* (1.67)
GERDlag	-5.629 (-1.02)	-5.483 (-1.03)	-5.597 (-1.01)	-5.543 (-1.00)	-9.845* (-1.66)	-7.908 (-1.40)
population	0.419 (0.77)	0.377 (0.71)	0.424 (0.78)	0.434 (0.80)	0.907 (1.47)	0.977 (1.53)
totCitazioni	0.00778*** (15.12)					
Citationsnt		0.0781*** (11.81)		-0.0240 (-1.13)		0.0788*** (7.93)
CitationsIKnt			0.00854*** (15.16)	0.0108*** (5.23)		
DIK					-0.144 (-0.49)	-0.544 (-1.43)
_cons	0.197 (0.59)	0.173 (0.51)	0.201 (0.60)	0.220 (0.66)	0.0344 (0.08)	0.137 (0.33)
N	485	485	485	485	323	323

t statistics in parentheses

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Tabella 5.4. Analisi di regressione dei modelli I-VI al livello NUTS3

La [Tabella 5.5](#) è relativa all'analisi econometrica dei modelli nel caso di analisi a livello NUTS3. Il numero di inventori, nei modelli da I a IV risulta statisticamente significativo e positivo, contribuendo ad una maggiore produzione di brevetti. Il GERD, invece, è negativo ma non statisticamente significativo. Il livello NUTS 3 si discosta dai precedenti per i valori dei coefficienti del GDP, la motivazione potrebbe risiedere nel fatto che le risorse potrebbero essere minori e pertanto non influire in un incremento della capacità innovativa. Ad un livello di granularità minore la significatività della presenza di conoscenza pregressa risulta più marcata. Infatti, a differenza dei casi precedenti, le citazioni interne avranno coefficiente positivo e significativo in tutti i modelli in cui è presente. Probabilmente, essendo le aree di analisi più piccole, le reti di conoscenza locali (ad esempio, tra università, imprese e amministrazioni pubbliche) sono più robuste e la condivisione di risorse è più comune giustificati, inoltre, da una mancanza di bias determinati dalle correlazioni tra le due

variabili. Le province spesso collaborano per sfruttare queste risorse comuni, e questo flusso di conoscenza aiuta a rafforzare l'efficacia e la competitività complessiva del territorio. Tale motivazione è supportata anche dalla significatività, nel Modello V, del peso della distanza geografica, in cui la prossimità geografica tra le province favorisce il collaborativismo piuttosto che la competizione. Ad un livello più basso la vicinanza geografica risulta avere un impatto positivo che facilita lo scambio di conoscenze.

Al livello NUTS3 le aree sono più piccole e generalmente più vicine tra loro, portando ad una maggiore probabilità di interazione diretta.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt
RESlag	0.0226** (2.06)	0.00733 (0.61)	0.0223** (2.02)	0.0205* (1.90)	0.0292 (1.61)	0.0266 (1.48)
GDPlag	0.373** (2.00)	0.220 (1.20)	0.383** (2.05)	0.302 (1.64)	-0.107 (-0.38)	-0.211 (-0.75)
GERDlag	-0.0362 (-1.61)	-0.0268 (-1.38)	-0.0351 (-1.58)	-0.0387 (-1.62)	-0.0176 (-0.64)	-0.0281 (-0.97)
population	0.0338 (1.52)	0.0318 (1.64)	0.0319 (1.46)	0.0391* (1.67)	0.0440 (1.48)	0.0583* (1.87)
totCitazioni	0.0176*** (29.98)					
Citationsnt		0.149*** (10.46)		0.147*** (11.31)		0.137*** (5.66)
CitationsIKnt			0.0174*** (29.23)	0.0177*** (30.27)		
DIK					0.162** (2.04)	-0.153 (-1.24)
_cons	0.684*** (6.87)	0.565*** (6.14)	0.677*** (6.86)	0.745*** (7.25)	0.562*** (4.24)	0.585*** (4.34)
N	1548	1548	1548	1548	750	750

t statistics in parentheses

* p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

Tabella 5.5. Analisi di regressione dei modelli I-VI al livello NUTS3

5.5 Discussione

Come mostrato dalle Tabelle 5.3, 5.4 e 5.5 l'abilità delle zone geografiche in qualunque livello di analisi dipende dalla ricerca precedente. Come ci si aspettava in quasi tutti i modelli la ricchezza dell'area contribuisce ad uno stimolo maggiore nella produzione, ad eccezione del livello NUTS3 in cui alcuni coefficienti risultano negativi, probabilmente legati ad un peso maggiore di altre variabili, in quanto un'area più piccola può usufruire di altri investimenti destinati ad uno specifico centro di ricerca.

Sicuramente per quanto riguarda le altre variabili indipendenti si trovano delle discordanze rispetto al paper di Grafström [2018]. Per quanto riguarda il GERD però, utilizzato come

driver della spesa R&D, i risultati sono coerenti, infatti, non risulta significatività di tale variabile. Tuttavia, secondo [Ek and Söderholm \[2010\]](#) i fondi pubblici per la ricerca sono destinati a ricerca a lungo termine e con un rischio maggiore. Inoltre, è importante sottolineare che la misura del GERD viene effettuata considerando tutti i settori e non specificatamente il solare, pertanto, si incorre nel rischio di non catturare in maniera puntuale i fondi destinati.

In generale, trattando lo stock nazionale i risultati rivelano un effetto positivo statisticamente significativo in quasi tutti i casi, suggerendo che la conoscenza pregressa di una zona possa comportare nuove innovazioni. L'unica eccezione è rappresentata al livello NUTS1 e NUTS2, dove, quando si analizza in contemporanea lo stock interno ed esterno, si riscontra un'elevata correlazione. Inoltre la negatività del coefficiente potrebbe essere da attribuire ad una maturità del settore e, pertanto, la produzione dei brevetti ha maggiore beneficio da citazioni internazionali che potrebbero comportare nuovi stimoli.

Nello studio di [Grafström \[2018\]](#) le citazioni nazionali hanno un impatto positivo sulla produzione futura di brevetti, sottolineando la presenza di spillover nazionali. I brevetti nazionali quindi contribuiscono a creare uno stock di conoscenze nazionali, indicando una probabile strada per la leadership. Nel caso NUTS3 la positività di tutti i termini delle citazioni interne è determinata dal fatto che, a livello provinciale, le risorse comuni (come infrastrutture e risorse) sono utilizzate in modo più distribuito tra le aree circostanti.

Focalizzandosi sullo stock di conoscenza internazionale si conferma l'esistenza di flussi di conoscenza tra paesi. Lo sviluppo di invenzioni in una zona potrebbe comportare benefici ad altre zone. Il risultato, coerente con quanto trovato per la tecnologia eolica a livello nazionale, permette di effettuare delle politiche ad hoc ed incentivare la produzione, data la presenza di spillover che comportano benefici diffusi. Tuttavia, a causa della presenza di spillover, molte aree più sottosviluppate potrebbero non contribuire alla generazione di innovazione e per di più adottare un approccio da free riders, sfruttando la ricerca di altri. Tale comportamento potrebbe motivare la causa per cui a livello nazionale e regionale esistono spillover interni minori quando considerati insieme agli esterni. Infatti, in un'area più grande potrebbero esserci centri che non contribuiscono attivamente alla produzione, ma sfruttano quella effettuata da altri. Diversamente da quanto trovato da [Braun et al. \[2010\]](#) la cui conclusione prevede che gli spillover internazionali non hanno effetto sul settore eolico, nel caso in esame la presenza di spillover è presente sia internamente che esternamente i confini, considerando l'impatto della diversificazione che apporta la conoscenza esterna.

Infine, la variabile DIK, che cattura gli effetti di barriere geografiche, presenta un coefficiente negativo e non significativo in tutte le specificazioni al livello NUTS1 e NUTS2. Emerge una differenza rispetto alla ricerca di [Grafström \[2018\]](#), in cui, nel settore eolico la distanza geografica rappresentava un indicatore rilevante. Una possibile spiegazione risiede nel fatto che, sebbene anche il settore solare abbia raggiunto una fase di maturità, il settore eolico è più antico e più sviluppato il che ha consentito un accesso anticipato alle conoscenze provenienti anche da aree non immediatamente confinanti.

Tuttavia, sebbene le distanze geografiche e le barriere politiche o nazionali possano ridurre la portata degli spillover internazionali, l'effetto negativo non è abbastanza forte da risultare

significativo, suggerendo che la globalizzazione della conoscenza e le tecnologie di comunicazione moderne potrebbero aver ridotto l'effetto distanza.

Tale risultato si riscontra nella positiva e significativa portata che il coefficiente ha al livello NUTS3, rimarcando la riduzione delle barriere geografiche ad un livello inferiore, che in un futuro può estendersi anche a livello regionale e nazionale.

Conclusione

Nella lotta al cambiamento climatico, al fine di contribuire alla riduzione delle emissioni di gas serra, l'innovazione è considerata un fattore determinante. Lo sviluppo tecnologico può contribuire ad un miglioramento dell'efficienza energetica (il settore energetico è uno dei principali contribuenti dell'inquinamento) e all'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse naturali.

Una maggiore efficienza operativa o l'ottimizzazione dei processi, che potenzialmente potrebbe determinare un'adozione e produzione su larga scala, può generare delle economie di scala, conducendo ad una riduzione di costi e favorendone l'adozione.

A causa della scarsità delle ricerche nel campo, l'obiettivo dell'elaborato è stato quello di fornire un'analisi descrittiva ed econometrica del settore del solare. Il lavoro cerca di inserirsi all'interno del dibattito esistente sull'importanza della distanza nella diffusione della conoscenza. L'ipotesi testata è che lo sviluppo della tecnologia solare in Europa, misurata tramite il conteggio dei brevetti, dipende dallo sviluppo della tecnologia nelle aree limitrofe, oltre che di quella prodotta internamente, cercando di definire anche quanto possa influire la distanza geografica nella diffusione delle nuove conoscenze.

L'ipotesi è valutata utilizzando un set di dati brevettuali depositati in Europa, comprendente gli anni tra il 1978 e il 2021. Risulta evidente che l'esistenza della conoscenza pregressa, calcolata tramite le citazioni brevettuali, risulta essere un input fondamentale per la generazione dei nuovi brevetti. Infatti all'aumentare delle citazioni pregresse il conteggio dei brevetti cresce. L'analisi viene condotta sui tre diversi livelli NUTS e pertanto la successiva suddivisione tra citazioni interne ed esterne riguarda l'area geografica considerata.

Come anche determinato da alcuni studi precedenti, si rileva l'importanza degli spillover che risultano essere degli input nel processo di generazione della conoscenza nelle tecnologie solari. Il contributo del presente lavoro sottolinea l'importanza degli spillover per la diffusione geografica, analizzandoli su tre diverse scale geografiche e verificando l'impatto all'interno della zona o all'esterno. Dall'analisi emerge, inoltre, che la vicinanza geografica favorisce la produzione di conoscenza. Tuttavia, tale vincolo potrebbe essere temporaneo e non rappresentare una limitazione in futuro, seguendo l'evoluzione osservabile già a livello provinciale.

Attraverso l'analisi descrittiva l'obiettivo è stato individuare lo stato attuale del settore, monitorandone l'evoluzione nel tempo. Tramite l'analisi delle citazioni è stato possibile definire l'interconnessione con altre tecnologie, sottolineando la rilevanza nel panorama innovativo globale. I risultati dimostrano che le tecnologie solari, sebbene siano più recenti

rispetto alle altre tecnologie, riescono a generare un impatto per le innovazioni future in un tempo minore rispetto a quanto contribuiscono altri settori. In aggiunta, la conoscenza futura generata da un brevetto ha uno spettro di applicazione tecnologico più ampio rispetto ad altri settori riflettendo una crescente interdisciplinarietà e sofisticazione tecnologica. Allo stesso modo, anche per quanto riguarda lo stato dell'arte precedente, il settore solare attinge da svariati campi.

Ai fini di un'analisi descrittiva completa, è stato necessario confrontare le statistiche derivanti dal settore solare con il settore green e l'intero panorama dei brevetti EPO. Ciò che è emerso mette in luce l'importanza dello sviluppo di tale tecnologia. I brevetti nel settore solare evidenziano una capacità di collegare inventori provenienti da diverse aree geografiche, contribuendo quindi con diverse influenze e background. La predominanza dei Paesi più sviluppati è chiara, in particolare della Germania, mentre il coinvolgimento delle regioni Orientali è ridotto e risultano scarse anche eventuali collaborazioni con altri Paesi. Aver evidenziato la distribuzione geografica è stato rilevante per comprendere le dinamiche dell'innovazione e l'interesse di alcune zone di emergere e rendersi indipendenti da stati come Russia o Cina, riducendo la vulnerabilità in caso di tensioni commerciali o politiche. In aggiunta, è stato possibile determinare che lo sviluppo di alcune aree geografiche è collegato alla presenza di importanti centri di ricerca presenti nelle vicinanze.

Nonostante il grande interesse per il tema, a partire dal 2012 il settore ha dimostrato una leggera diminuzione, suggerendo una maturità, il che potrebbe spingere l'innovazione verso nuove tecnologie, sempre correlate al settore solare ma che possano permettere un trasporto e uno stoccaggio più efficiente.

Dalle analisi si evince, inoltre, come in concomitanza di alcuni eventi che hanno sostenuto lo sviluppo e aumentato la sensibilità sia con un supporto economico che legislativo, non solo è aumentato il numero di brevetti depositati nel settore, come ad esempio avviene in Germania a seguito di alcune leggi ad hoc, ma è anche cresciuta l'importanza di questi brevetti, sottolineando un maggior impegno; il riscontro è visualizzabile nell'aumento della complessità. Il supporto da parte delle politiche pubbliche risulta quindi fondamentale, al fine di destinare correttamente gli incentivi.

D'altra parte, un'ulteriore motivazione di produzione di brevetti è determinata dalla ricchezza di un paese, che si riflette nel GDP, suggerendo che i paesi più ricchi saranno anche i più sviluppati dal punto di vista tecnologico. Pertanto, al fine di perseguire un obiettivo europeo e mondiale univoco risulta di fondamentale importanza un impiego di risorse anche in paesi meno agiati che possono beneficiare della conoscenza prodotta in altri Paesi, ma allo stesso tempo hanno bisogno di incentivi puntuali.

Potrebbe, quindi, risultare motivo di studio futuro, in termini numerici, l'impatto effettivo delle politiche pubbliche sull'attività di brevettazione, andando, eventualmente, ad intervenire nelle aree geografiche dove la transizione è ancora in una fase embrionale. Queste aree potrebbero, in contemporanea, usufruire della spinta apportata dagli spillover, sfruttando conoscenze di altri paesi, ma necessitano tuttavia di un supporto economico tale da disincentivare il free riding e predisporli di sufficiente capacità assorbente e, probabilmente, anche culturale.

Appendice

Codice Python della matrice di correlazione: numero di co-occorrenze delle tecnologie fotovoltaiche

```

Welcome | corrMatrixPV.py
C:\Users\Michela > OneDrive - Politecnico di Torino > Documents > corrMatrixPV.py > ...
1 import pandas as pd
2 import pyreadstat
3 df, meta = pyreadstat.read_dta('C:/Users/Michela/Downloads/Paesifotovoltaico.dta')
4
5
6 # Definisci le colonne dummy che vuoi analizzare
7 dummy_columns = [
8     'Y02E_10_400_dm', 'Y02E_10_440_dm', 'Y02E_10_460_dm', 'Y02E_10_470_dm',
9     'Y02E_10_500_dm', 'Y02E_10_520_dm', 'Y02E_10_541_dm', 'Y02E_10_542_dm',
10    'Y02E_10_543_dm', 'Y02E_10_544_dm', 'Y02E_10_545_dm',
11    'Y02E_10_546_dm', 'Y02E_10_547_dm', 'Y02E_10_548_dm',
12    'Y02E_10_549_dm', 'Y02E_10_560_dm', 'Y02E_10_600_dm'
13 ]
14
15 # Creiamo una matrice di contingenza
16 contingency_matrix = pd.DataFrame(index=dummy_columns, columns=dummy_columns)
17
18 # Calcola le co-occorrenze per ogni coppia di dummy
19 for col1 in dummy_columns:
20     for col2 in dummy_columns:
21         # Conta le co-occorrenze per ogni coppia di dummy
22         contingency_matrix.at[col1, col2] = df.groupby('apl_n_id')[[col1, col2]].sum().min(axis=1).sum()
23
24 # Mostra la matrice di contingenza
25 print(contingency_matrix)
26
27 output_path = r'C:\Users\Michela\OneDrive - Politecnico di Torino\Desktop\materiale tesi\matrice_corr_PV.xlsx'
28
29 # Salva la matrice di contingenza come file Excel
30 contingency_matrix.to_excel(output_path, index=True)
31
32 print(f'Matrice di correlazione salvata in: {output_path}')

```

	10_400	10_440	10_460	10_470	10_500	10_520	10_541	10_542	10_543	10_544	10_545	10_546	10_547	10_548	10_549	10_560	10_600
Y02E_10_400		352	151	285	197	298	1	0	0	0	0	0	1	3	2	3	110
Y02E_10_440	352		143	300	199	144	1	1	0	1	0	0	5	3	1	1	148
Y02E_10_460	151	143		89	57	39	0	0	0	1	0	0	2	0	0	10	19
Y02E_10_470	285	300	89		1318	269	1	0	0	1	1	1	3	3	0	8	95
Y02E_10_500	197	199	57	1318		98	47	21	16	19	13	25	218	72	46	52	241
Y02E_10_520	298	144	39	269	98		64	43	21	100	23	28	209	107	80	17	156
Y02E_10_541	1	1	0	1	47	64		10	70	30	9	3	40	39	41	3	2
Y02E_10_542	0	1	0	0	21	43	10		3	8	0	5	19	5	528	4	1
Y02E_10_543	0	0	0	0	16	21	70	3		22	1	2	26	19	7	0	2
Y02E_10_544	0	1	1	1	19	100	30	8	22		16	12	164	65	24	1	4
Y02E_10_545	0	0	0	1	13	23	9	0	1	16		33	77	129	2	0	1
Y02E_10_546	0	0	0	1	25	28	3	5	2	12	33		181	73	7	0	0
Y02E_10_547	1	5	2	3	218	209	40	19	26	164	77	181		268	47	9	11
Y02E_10_548	3	3	0	3	72	107	39	5	19	65	129	73	268		18	1	4
Y02E_10_549	2	1	0	0	46	80	41	528	7	24	2	7	47	18		3	1
Y02E_10_560	3	1	10	8	52	17	3	4	0	1	0	0	9	1	3		7
Y02E_10_600	110	148	19	95	241	156	2	1	2	4	1	0	11	4	1		7

Matrice delle collaborazioni tra paesi

```

1  import pandas as pd
2  import pyreadstat
3  df, meta = pyreadstat.read_dta('C:/Users/Michela/Downloads/PaesiFotovoltaico.dta')
4  unique_pairs = df.drop_duplicates(subset=['apln_id', 'ctry_cd'])
5
6
7  contingency_matrix = pd.crosstab(index=unique_pairs['ctry_cd'], columns=unique_pairs['apln_id'])
8
9
10 matrix = contingency_matrix.dot(contingency_matrix.T)
11
12
13 matrix.index.name = 'ctry_cd'
14 matrix.columns.name = 'ctry_cd'
15
16
17 with pd.option_context('display.max_rows', None, 'display.max_columns', None):
18     print(matrix)
19
20
21
22 # Salva la matrice come file Excel
23 matrix.to_excel(r'C:/Users/Michela/OneDrive - Politecnico di Torino/Documenti/matrice_ctry_cd.xlsx')

```

ctry_cd	AE	AT	AU	BE	BG	CH	CY	CZ	DE	DK	EE	ES	FI	FR	GB	GR	HR	HU	IE	IL	IN	IT	KR	LT	LU	LV	MT	NL	PL	PT	QA	RO	SE	SI	SK	TN	US	tot collab	
AE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
AT	0	0	1	0	0	0	0	13	58	0	0	3	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	71
AU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
BE	0	1	0	0	0	1	0	0	13	2	0	3	0	19	4	2	0	2	0	0	1	3	0	0	0	0	0	11	0	1	0	1	2	0	0	0	0	66	
BG	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
CH	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	25	
CY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
CZ	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		
DE	0	58	0	13	3	1	0	1	11	6	17	0	102	66	0	2	0	2	2	0	0	9	0	4	1	0	25	6	1	0	0	4	3	2	0	0	340		
DK	0	0	0	2	0	1	0	0	11	0	2	0	1	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	24		
EE	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
ES	0	3	0	3	0	1	0	0	17	2	0	0	0	12	4	0	0	0	3	0	1	4	0	0	0	0	4	2	4	0	0	0	0	1	0	0	61		
FI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7		
FR	0	1	0	19	1	1	0	0	100	1	0	12	0	11	1	0	0	0	0	1	13	0	0	2	0	10	0	2	0	1	4	0	0	0	0	0	182		
GB	0	1	0	4	2	1	0	0	66	2	0	4	3	11	11	2	0	0	0	0	1	6	0	0	0	10	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	116		
GR	0	1	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	11		
HR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
HU	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		
IE	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7		
IL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
IN	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8		
IT	1	1	1	3	0	14	0	0	9	1	0	4	1	13	6	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	3	0	1	1	0	1	0	0	1	12	78		
KR	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
LT	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		
LU	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
LV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
MT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NL	0	2	0	11	0	0	0	0	25	1	0	4	0	10	10	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	68		
PL	0	1	0	0	0	0	0	1	6	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15		
PT	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15		
QA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
RO	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
SE	0	1	0	2	0	0	0	0	1	4	0	0	0	3	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	21		
SI	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
SK	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3		
TN	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
US	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16	

Matrice di correlazione spesa di R&D e GERD

	GERD	Spesa
GERD	1.0000	
Spesa	0.3548	1.0000

Matrice di correlazione personale R&D e numero di inventori

	#inventori	R&Dpersonale
#inventori	1.0000	
R&Dpersonale	0.4080	1.0000

Matrice di correlazione per le variabili indipendenti nell'analisi di regressione a livello NUTS1

	PCnt	RESnt	Citationsnt	CitationsInt	GDPnt	GERDnt	Population
PCnt	1.0000						
RESnt	0.1424	1.0000					
Citationsnt	0.9763	0.1283	1.0000				
CitationsInt	0.9980	0.1451	0.9608	1.0000			
GDPnt	0.1027	0.1008	0.0845	0.1071	1.0000		
GERDnt	0.6934	0.1328	0.6670	0.6949	0.1173	1.0000	
Population	0.4021	0.0221	0.3789	0.4053	-0.2742	0.7639	1.0000

Tabella 6. Matrice di correlazione per le variabili indipendenti al livello NUTS1

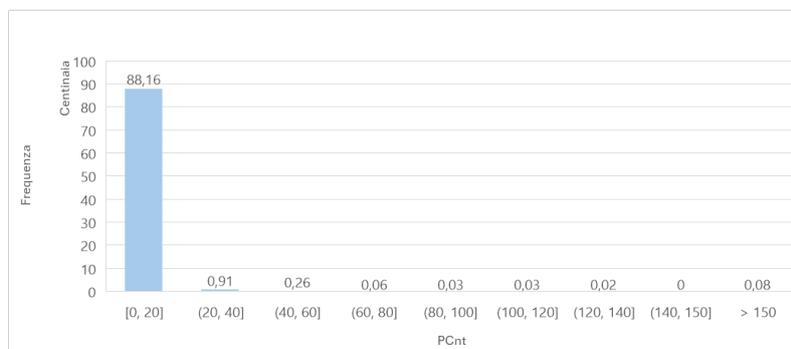
Matrice di correlazione per le variabili indipendenti nell'analisi di regressione a livello NUTS2

	PCnt	RESnt	Citationsnt	CitationsInt	GDPnt	GERDnt	Population
PCnt	1.0000						
RESnt	0.3225	1.0000					
Citationsnt	0.9296	0.2530	1.0000				
CitationsInt	0.9995	0.3264	0.9173	1.0000			
GDPnt	0.4877	0.1411	0.4649	0.4865	1.0000		
GERDnt	0.4372	0.1437	0.4127	0.4365	0.7193	1.0000	
Population	0.1522	0.0377	0.1356	0.1527	0.0769	0.4186	1.0000

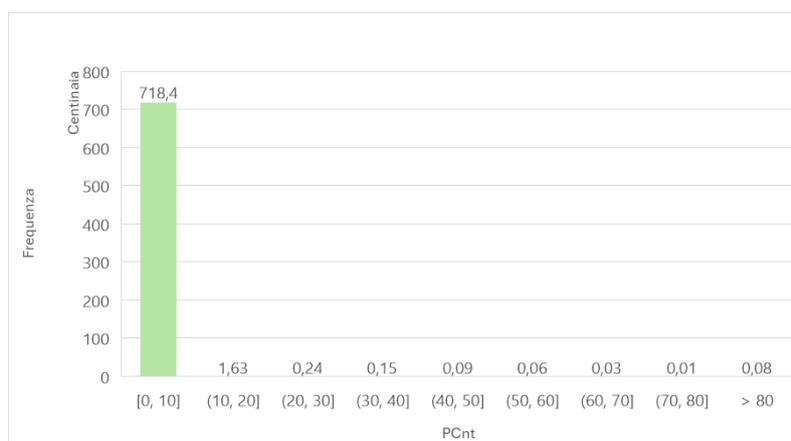
Matrice di correlazione per le variabili indipendenti nell'analisi di regressione a livello NUTS3

	PCnt	RESnt	Citationsnt	CitationsInt	GDPnt	GERDnt	Population
PCnt	1.0000						
RESnt	0.0446	1.0000					
Citationsnt	0.1848	-0.0317	1.0000				
CitationsInt	0.9969	0.0477	0.1068	1.0000			
GDPnt	0.1127	-0.0409	0.1069	0.1054	1.0000		
GERDnt	0.0240	-0.0519	0.0591	0.0196	0.7303	1.0000	
Population	0.0425	-0.0522	0.0720	0.0372	0.8624	0.9043	1.0000

Frequenza del numero di brevetti NUTS2



Frequenza del numero di brevetti NUTS3



Analisi di regressione con dummy anno NUTS1

	(1) PCnt	(2) PCnt	(3) PCnt	(4) PCnt	(5) PCnt	(6) PCnt
GDPlag	0.258** (2.08)	0.237* (1.91)	0.263** (2.12)	0.270** (2.14)	-0.145 (-0.82)	-0.0676 (-0.39)
GERDlag	0.593 (1.22)	0.947* (1.96)	0.500 (1.03)	0.188 (0.36)	2.409*** (4.39)	1.950*** (3.53)
population	0.266*** (4.26)	0.271*** (4.40)	0.266*** (4.26)	0.000265*** (4.30)	0.187*** (2.65)	0.203*** (2.80)
RESlag	0.0221 (0.92)	0.0205 (0.84)	0.0234 (0.98)	0.0351 (1.51)	-0.00922 (-0.25)	-0.00934 (-0.26)
totCitazioni	0.000985*** (5.16)					
Citationsnt		0.00303*** (3.84)		-0.00765*** (-3.67)		0.00194** (2.52)
CitationsI t			0.00135*** (5.50)	0.00358*** (5.29)		
DIK					0.800*** (4.55)	0.575*** (2.90)
_cons	-1.935*** (-2.93)	-2.220*** (-3.36)	-1.868*** (-2.84)	-1.631** (-2.43)	-1.856** (-2.37)	-1.616** (-2.07)
Year Dummy	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	249	249	249	249	179	179

Analisi di regressione con dummy anno NUTS2

	(1) PCnt	(2) PCnt	(3) PCnt	(4) PCnt
GDPlag	-0.176 (-1.24)	-0.195 (-1.40)	-0.0205 (-0.11)	0.00719 (0.04)
GERDlag	1.544 (0.32)	2.438 (0.51)	-1.025 (-0.17)	0.201 (0.04)
population	0.00178** (2.21)	0.00133* (1.82)	0.00179** (2.03)	0.00161* (1.73)
RESlag	-0.00450 (-0.21)	-0.00615 (-0.28)	0.0240 (0.91)	0.0237 (0.93)
totCitazioni	0.00666*** (11.46)			
Citationsnt		0.0639*** (8.94)		0.0681*** (6.17)
DIK			-0.00265 (-0.76)	-0.00956** (-2.12)
_cons	1.276** (2.11)	1.333** (2.25)	0.597 (0.82)	0.712 (0.93)
Year Dummy	YES	YES	YES	YES
N	485	485	323	323

Analisi di regressione con dummy anno NUTS3

	(1)	(2)	(3)	(4)
	PCnt	PCnt	PCnt	PCnt
GDPlag	-0.0262 (-1.02)	-0.0193 (-0.73)	-0.0681* (-1.68)	-0.0819* (-1.91)
GERDlag	-0.0622*** (-2.60)	-0.0762*** (-2.77)	-0.0409 (-1.16)	-0.0558 (-1.47)
population	0.00845*** (3.22)	0.00917*** (3.10)	0.00836** (2.02)	0.0104** (2.29)
RESlag	-0.00345 (-0.28)	0.0150 (1.33)	0.00469 (0.26)	0.00206 (0.11)
Citationsnt	0.139*** (9.58)			0.121*** (5.35)
CitationsIKnt		0.0166*** (25.91)		
DIK			0.0241*** (3.09)	-0.00458 (-0.40)
_cons	0.265 (0.82)	0.475 (1.50)	0.459 (0.98)	0.468 (1.00)
Year Dummy	YES	YES	YES	YES
N	1548	1548	750	750

Bibliografia

- P Aghion. A model of growth through creative destruction. 1990.
- Yaw O. Agyeman and 1790 Analytics LLC. The influence of solar photovoltaics patents funded by the u.s. department of energy’s solar energy technologies office and other doe offices, June 2021.
- Luigi Aldieri and Michele Cincera. Geographic and technological r&d spillovers within the triad: Micro evidence from us patents. *The Journal of Technology Transfer*, 34:196–211, 2009.
- Luigi Aldieri, Bruna Bruno, Teemu Makkonen, and Concetto Paolo Vinci. Environmental innovations, geographically mediated knowledge spillovers, economic and environmental performance. *Resources Policy*, 81:103423, 2023.
- Andrea Appolloni, Idiano D’Adamo, Massimo Gastaldi, Ernesto DR Santibanez-Gonzalez, and Davide Settembre-Blundo. Growing e-waste management risk awareness points towards new recycling scenarios: The view of the big four’s youngest consultants. *Environmental Technology & Innovation*, 23:101716, 2021.
- W Brian Arthur. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The economic journal*, 99(394):116–131, 1989.
- Nicolò Barbieri, Alberto Marzucchi, and Ugo Rizzo. Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: Do green technologies differ from non-green ones? *Research Policy*, 49(2):103901, 2020.
- Benedikt Battke, Tobias S Schmidt, Stephan Stollenwerk, and 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.
- Marc Baudry and Clément Bonnet. Demand-pull instruments and the development of wind power in europe: a counterfactual analysis. *Environmental and resource economics*, 73(2):385–429, 2019.
- Marian Beise and Klaus Rennings. Lead markets and regulation: a framework for analyzing the international diffusion of environmental innovations. *Ecological economics*, 52(1):5–17, 2005.

- Valentina Bosetti, Carlo Carraro, Emanuele Massetti, and Massimo Tavoni. International energy r&d spillovers and the economics of greenhouse gas atmospheric stabilization. *Energy Economics*, 30(6):2912–2929, 2008.
- Frauke G Braun, Jens Schmidt-Ehmcke, and Petra Zloczynski. Innovative activity in wind and solar technology: Empirical evidence on knowledge spillovers using patent data. 2010.
- Smita B Brunnermeier and Mark A Cohen. Determinants of environmental innovation in us manufacturing industries. *Journal of environmental economics and management*, 45(2):278–293, 2003.
- A. Chatzipanagi, A. Jaeger-Waldau, C. Cleret de Langavant, S. Letout, C. Latunussa, A. Mountraki, A. Georgakaki, E. Ince, A. Kuokkanen, and D. Shtjefni. Clean energy technology observatory: Photovoltaics in the european union – 2022 status report on technology development, trends, value chains and markets. Technical Report JRC130720, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022.
- Wesley M Cohen and Daniel A Levinthal. Innovation and learning: the two faces of r & d. *The economic journal*, 99(397):569–596, 1989.
- Wesley M Cohen, Daniel A Levinthal, et al. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, 35(1):128–152, 1990.
- Massimiliano Corradini, Valeria Costantini, Susanna Mancinelli, and Massimiliano Mazzanti. Interacting innovation investments and environmental performances: a dynamic impure public good model. *Environmental Economics and Policy Studies*, 17:109–129, 2015.
- Valeria Costantini, Massimiliano Mazzanti, and Anna Montini. Environmental performance, innovation and spillovers. evidence from a regional namea. *Ecological Economics*, 89: 101–114, 2013.
- Antoine Dechezleprêtre, Ralf Martin, and Myra Mohnen. *Knowledge spillovers from clean and dirty technologies: A patent citation analysis*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, 2013.
- Antoine Dechezleprêtre, Ralf-Peter Martin, and Myra Mohnen. *Knowledge spillovers from clean and dirty technologies*. Centre for Economic Performance, 2014.
- Xiangang Ding, Andrea Appolloni, and Mohsin Shahzad. Environmental administrative penalty, corporate environmental disclosures and the cost of debt. *Journal of Cleaner Production*, 332:129919, 2022.
- Giovanni Dosi. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3): 147–162, 1982.
- Kristina Ek and Patrik Söderholm. Technology learning in the presence of public r&d: the case of european wind power. *Ecological Economics*, 69(12):2356–2362, 2010.

- Hans-Jürgen Engelbrecht. International r&d spillovers, human capital and productivity in oecd economies: An empirical investigation. *European Economic Review*, 41(8):1479–1488, 1997.
- Commission EU. A technical case study on r&d and technology spillovers of clean energy technologies. Technical report, 2017. URL https://energy.ec.europa.eu/system/files/2018-02/case_study_3_technical_analysis_spillovers_0.pdf.
- Jan Fagerberg. A technology gap approach to why growth rates differ. *Research policy*, 16(2-4):87–99, 1987.
- Marinella Favot, Leyla Vesnic, Riccardo Priore, Andrea Bincoletto, and Fabio Morea. Green patents and green codes: How different methodologies lead to different results. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 18:2–4, 2023.
- Ana María Fernández, Esther Ferrándiz, and Jennifer Medina. The diffusion of energy technologies. evidence from renewable, fossil, and nuclear energy patents. *Technological Forecasting and Social Change*, 178:121566, 2022.
- Carolyn Fischer. Emissions pricing, spillovers, and public investment in environmentally friendly technologies. *Energy Economics*, 30(2):487–502, 2008.
- Manfred M. Fischer, Thomas Scherngell, and Eva Jansenberger. The geography of knowledge spillovers between high-technology firms in europe: Evidence from a spatial interaction modeling perspective. *Geographical Analysis*, 38(3):288–309, 2006. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2006.00687.x>. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.2006.00687.x>.
- Hua Gao and Zhenghao Meng. Research on the spillover effect of different types of technological innovation on new energy industry: Taking china’s solar photovoltaic as an example. *Sustainability*, 15(10):8067, 2023. doi: 10.3390/su15108067.
- Frank W. Geels. Disruption and low-carbon system transformation: Progress and new challenges in socio-technical transitions research and the multi-level perspective. *Energy Research & Social Science*, 37:224–231, 2018. ISSN 2214-6296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.010>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629617303377>.
- Todd Gerarden, Richard G Newell, and Robert N Stavins. Deconstructing the energy-efficiency gap: conceptual frameworks and evidence. *American Economic Review*, 105(5): 183–186, 2015.
- Kenneth Gillingham and James Sweeney. Barriers to implementing low-carbon technologies. *Climate Change Economics*, 3(04):1250019, 2012.
- Jonas Grafström. International knowledge spillovers in the wind power industry: evidence from the european union. *Economics of Innovation and New Technology*, 27(3):205–224, 2018.

- Rachel Griffith, Sokbae Lee, and John Van Reenen. Is distance dying at last? falling home bias in fixed-effects models of patent citations. *Quantitative economics*, 2(2):211–249, 2011.
- Zvi Griliches. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. *The bell journal of economics*, pages 92–116, 1979.
- Zvi Griliches. Patent statistics as economic indicators: a survey. In *R&D and productivity: the econometric evidence*. University of Chicago Press, 1990.
- Zvi Griliches. The search for r&d spillovers. *National Bureau of Economic Research Working Paper Series*, (w3768), 1991.
- Dietmar Harhoff, Frederic M Scherer, and Katrin Vopel. Citations, family size, opposition and the value of patent rights. *Research Policy*, 32(8):1343–1363, 2003. ISSN 0048-7333. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00124-5](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00124-5). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733302001245>.
- Zeina Hasna, Henry-James Hatton, and Kamiar Mohaddes. Greenovate for a better environment and economy. <https://home.kpmg>, 2021. Prepared for KPMG as part of their ESG agenda.
- Joern Hoppmann. The role of interfirm knowledge spillovers for innovation in environmental technologies: Evidence from the solar photovoltaic industry. *The Role of Deployment Policies in Fostering Innovation for Clean Energy Technologies—Insights from the Solar Photovoltaic Industry*, page 104, 2013.
- Joern Huenteler, Tobias S Schmidt, Jan Ossenbrink, and Volker H Hoffmann. Technology life-cycles in the energy sector—technological characteristics and the role of deployment for innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 104:102–121, 2016.
- International Energy Agency. Renewables 2022: Analysis and Forecast to 2027. Accessed from <https://www.iea.org>, 2022. URL <https://www.iea.org/reports/renewables-2022/renewable-electricity>.
- IPCC. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2018. doi: 10.1017/9781009157940.
- IRENA. Renewable energy statistics 2019. The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019. URL /-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2019.pdf.
- Nicholas B. Irwin. Sunny days: Spatial spillovers in photovoltaic system adoptions. *Energy Policy*, 151:112192, 2021. ISSN 0301-4215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112192>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521000616>.

- Adam Jaffe. Using patent class data to measure technological proximity and research, spillovers among firms. *Unpublished ms., Harvard U*, 1983.
- Adam B Jaffe and Manuel Trajtenberg. Flows of knowledge from universities and federal laboratories: Modeling the flow of patent citations over time and across institutional and geographic boundaries. *proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(23): 12671–12677, 1996.
- Adam B Jaffe and Manuel Trajtenberg. International knowledge flows: Evidence from patent citations. *Economics of innovation and new technology*, 8(1-2):105–136, 1999.
- Adam B Jaffe, Manuel Trajtenberg, and Rebecca Henderson. Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations. *the Quarterly journal of Economics*, 108(3):577–598, 1993.
- Adam B Jaffe, Richard G Newell, and Robert N Stavins. Technological change and the environment. In *Handbook of environmental economics*, volume 1, pages 461–516. Elsevier, 2003.
- Adam B Jaffe, Richard G Newell, and Robert N Stavins. A tale of two market failures: Technology and environmental policy. *Ecological economics*, 54(2-3):164–174, 2005.
- Nick Johnstone, Ivan Haščič, and David Popp. Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. *Environmental and resource economics*, 45: 133–155, 2010.
- P Karakatsoulis, Capros, VAN REGEMORTER Denise, PAROUSSOS Leonidas, FRAGKIADAKIS C, TSANI, CHARALAMPIDIS I, and REVESZ Tamas. Gem-e3 model documentation. 2013. ISSN 1831-9424. doi: 10.2788/47872. URL <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6440>.
- Simon Kuznets. Economic growth and income inequality american economic review; and kuznets, simon, 1963: Quantitative aspects of the economic growth of nations: Viii. distribution of income by size. *Economic Development and Cultural Change*, 1955.
- Paul Lehmann. Supplementing an emissions tax by a feed-in tariff for renewable electricity to address learning spillovers. *Energy Policy*, 61:635–641, 2013.
- Richard C Levin, Alvin K Klevorick, Richard R Nelson, Sidney G Winter, Richard Gilbert, and Zvi Griliches. Appropriating the returns from industrial research and development. *Brookings papers on economic activity*, 1987(3):783–831, 1987.
- Jianxi Luo and Kristin Wood. The growing complexity in invention process. *Research in Engineering Design*, 28(4):421–435, 2017. doi: 10.1007/s00163-017-0266-8. URL <https://ssrn.com/abstract=3095174>. 38 pages, posted: 11 Jan 2018, last revised: 29 Nov 2021.
- Sergey Lychagin, Joris Pinkse, Margaret E Slade, and John Van Reenen. Spillovers in space: Does geography matter? *The Journal of Industrial Economics*, 64(2):295–335, 2016.

- Maria Luisa Mancusi. International spillovers and absorptive capacity: A cross-country cross-sector analysis based on patents and citations. *Journal of International Economics*, 76(2):155–165, 2008.
- Jochen Markard and Bernhard Truffer. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research policy*, 37(4):596–615, 2008.
- David Montgomery Marvin Lieberman. First-mover (dis)advantages: Retrospective and link with the resource-based view. *Mathematics of Operations Research*, 23(3):793–804, 1998. URL <https://www.anderson.ucla.edu/faculty/marvin.lieberman/publications/FMA2-SMH1998.pdf>.
- Per Botolf Maurseth and Bart Verspagen. Knowledge spillovers in europe: a patent citations analysis. *Scandinavian Journal of Economics*, 104(4):531–545, 2002.
- Elyas Abdulahi Mohamued, Masood Ahmed, Paula Pypłacz, Katarzyna Liczmańska-Kopcewicz, and Muhammad Asif Khan. Global oil price and innovation for sustainability: the impact of r&d spending, oil price and oil price volatility on ghg emissions. *Energies*, 14(6):1757, 2021.
- Victor Moutinho, Mara Madaleno, Roula Inglesi-Lotz, and Eyup Dogan. Factors affecting co2 emissions in top countries on renewable energies: a lmdi decomposition application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90:605–622, 2018.
- David C Mowery and Nathan Rosenberg. *Paths of innovation: Technological change in 20th-century America*. Cambridge University Press, 1999.
- Mohan Munasinghe. Is environmental degradation an inevitable consequence of economic growth: tunneling through the environmental kuznets curve. *Ecological economics*, 29(1): 89–109, 1999.
- Richard R Nelson. *An evolutionary theory of economic change*. harvard university press, 1985.
- Richard R Nelson and Edmund S Phelps. Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. *The American economic review*, 56(1/2):69–75, 1966.
- Francesco Nicolli, Nick Johnstone, and Patrik Söderholm. Resolving failures in recycling markets: the role of technological innovation. *Environmental Economics and Policy Studies*, 14:261–288, 2012.
- Joëlle Noailly, Svetlana Batrakova, and Ruslan Lukach. Home, green home – a case study of inducing energy-efficient innovations in the dutch building sector. *Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis*, January 2010. URL https://www.researchgate.net/publication/46464943_Home_green_home_A_case_study_of_inducing_energy-efficient_innovations_in_the_Dutch_building_sector.
- OECD. Patent search strategies for the identification of selected environment-related technologies (env-tech).

- OECD. *OECD Patent Statistics Manual*. 2009. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264056442-en>. URL <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264056442-en>.
- OECD. *Green Growth Indicators 2017*. OECD Green Growth Studies. OECD Publishing, Paris, 2017. doi: 10.1787/9789264268586-en.
- OECD and Eurostat. *Oslo Manual 2018*. 2018. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>. URL <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264304604-en>.
- Sudharshan Reddy Paramati, Md Samsul Alam, Shawkat Hammoudeh, and Khalid Hafeez. Long-run relationship between r&d investment and environmental sustainability: Evidence from the european union member countries. *International Journal of Finance & Economics*, 26(4):5775–5792, 2021.
- Keith Pavitt and Pari Patel. The international distribution and determinants of technological activities. *Oxford Review of Economic Policy*, 4(4):35–55, 1988.
- Keith Pavitt and Luc Soete. Innovative activities and export shares: some comparisons between industries and countries. In *Technical Innovation and British Economic Performance: Science Policy Research Unit, Sussex*. Springer, 1980.
- Michael Peters, Malte Schneider, Tobias Grieshaber, and Volker H Hoffmann. The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change—does the locus of policies matter? *Research policy*, 41(8):1296–1308, 2012.
- David Popp. Lessons from patents: Using patents to measure technological change in environmental models. *Ecological economics*, 54(2-3):209–226, 2005.
- David Popp and Richard Newell. Where does energy r&d come from? examining crowding out from energy r&d. *Energy economics*, 34(4):980–991, 2012.
- Jacob Schmookler. *Invention and economic development*. University of Pennsylvania, 1951.
- Joseph Alois Schumpeter. Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process. *McGraw Hill*, 1939.
- Joseph E Stiglitz et al. Knowledge as a global public good. *Global public goods: International cooperation in the 21st century*, 308:308–325, 1999.
- The New York Times. Vast power of the sun is tapped by battery using sand ingredient. *The New York Times*, April 1954. URL <https://www.nytimes.com/1954/04/26/archives/vast-power-of-the-sun-is-tapped-by-battery-using-sand-ingredient.html?searchResultPosition=1>.
- Manuel Trajtenberg, Rebecca Henderson, and Adam Jaffe. University versus corporate patents: A window on the basicness of invention. *Economics of Innovation and new technology*, 5(1):19–50, 1997.

Victor Veefkind, J Hurtado-Albir, Stefano Angelucci, Konstantinos Karachalios, and Nikolaus Thumm. A new epo classification scheme for climate change mitigation technologies. *World Patent Information*, 34(2):106–111, 2012.

Charlie Wilson. Disruptive low-carbon innovations. *Energy Research & Social Science*, 37: 216–223, 2018.

Sitografia

- <https://www.ipcc.ch/> *The Intergovernmental Panel on Climate Change*
- <https://www.wipo.int/web/patents> *WIPO-Patents*
- <https://www.brocardi.it/codice-civile/> *Codice Civile*
- https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/it/FTU_3.1.6.pdf *Il Ruolo del Parlamento Europeo nella Legislazione dell'Unione Europea, 2024*
- <https://ipcpub.wipo.int/?notion=scheme&version=20240101&symbol=none&menulang=en&lang=en&viewmode=m&fipcpc=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=02n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart> *WIPO-IPC Classification*
- https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/views/glossario_pac/nomenclatura%20delle%20unit%C3%A0%20territoriali%20statistiche%20%28Nuts%29 *Glossario PAC*
- https://commission.europa.eu/index_en *European Commission*
- <https://www.wipo.int/classifications/ipc/green-inventory/home> *IPC Green Inventory*
- <https://report-archive.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics/2022.html>
- <https://iccwbo.org/publication/supporting-innovation-to-meet-climate-change-challenges/> *International Chamber of Commerce, 2021.*
- <https://worldwide.espacenet.com/patent/cpc-browser#!/CPC=Y02E10/00> *EspaceNet, European Patent Office*
- <https://www.wipo.int/portal/en/index.html> *WIPO*
- <https://unfccc.int/> *UNFCCC*
- <https://uibm.mise.gov.it/index.php/it/brevetti/vita-di-un-brevetto/sfruttare-un-brevetto/2-non-categorizzato/2036031-concedere-in-licenza-un-brevetto> *Concessione di licenza di un brevetto-MISE*

- <https://ipcpub.wipo.int/?notion=scheme&version=20240101&symbol=none&menulang=en&lang=en&viewmode=m&fipcpc=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=o2n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart> *IPC*
- https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5729233/R_Y_CH_ANNEXES_2011-EN.PDF/deb1dbbc-e8d3-4dd2-aa76-fae2f36a0bd9 *NUTS (Nomenclature of territorial units for statistics)*
- <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-technology-rdd-budgets-data-explorer> *IEA Energy Technology Research and Development*
- https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/demo_r_pjangrp3/default/table?lang=en *EUROSTAT-Population*
- <https://urban.jrc.ec.europa.eu/ardeco/viewer/SUVGD?jdvfys=asc&jdvfc=al1&jdvfnl=3> *ARDECO- GDP at current market prices*
- https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rd_e_gerdtot__custom_13488127/default/table?lang=en *EUROSTAT- GERD NUTS1*
- https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rd_e_gerdreg__custom_13488091/default/table?lang=en *EUROSTAT- GERD NUTS2*
- <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/statistical-units/territorial-units-statistics> *EUROSTAT-Centroids*