

Emissioni di gas serra, brevetti ambientali ed effetti di spillover nelle province italiane

di Federica Caratù^{*}, Massimiliano Mazzanti[°], Francesco Nicolli[•]

Sommario

Questo studio analizza la distribuzione geografica delle emissioni di CO₂ e gli spillover di conoscenza in relazione alla concentrazione spaziale di eco-brevetti, utilizzando un panel bilanciato di 475 osservazioni per 95 province italiane dal 1990 al 2010. Al Nord si osservano emissioni e stock di brevetti verdi più elevati, mentre il Centro risulta la zona che emette in media meno CO₂. Si riscontra una correlazione positiva e robusta fra spillover di conoscenza e stock di brevetti verdi: l'attività innovativa ambientale di una provincia è influenzata dalle eco-invenzioni delle province circostanti. Il coefficiente di correlazione maggiore al Nord-Est aggiunge evidenza empirica originale riguardo la concentrazione spaziale degli eco-brevetti. Le emissioni di CO₂ e l'intensità delle emissioni (CO₂/VA) sono negativamente correlate con gli spillover, che influenzano l'eco-innovazione e le performance ambientali di una provincia.

Codice JEL: Q53, Q55.

Parole chiave: emissioni di CO₂, spillover di conoscenza, eco-brevetti, performance ambientale, cambiamento tecnologico, IPAT.

Greenhouse gas emissions, environmental patents and spillover effects in Italian provinces

Abstract

This study analyzes the geographical distribution of CO₂ emissions and knowledge spillovers in relation to spatial concentration of green patents, using a balanced panel of 475 observations in 95 Italian provinces from 1990 to 2010. The North holds higher levels of emissions and green patents, while the Center shows the lowest emissions. The positive and robust correlation between spillovers and green patent stock suggests that eco-innovation is influenced by green patents from near provinces. The higher correlation coefficient in Northeast Italy adds original empirical evidence regarding the spatial concentration of green patents. CO₂ emissions and emission intensity (CO₂/VA) are negatively correlated with knowledge spillovers, which influence a province's environmental innovation and performances.

JEL classification: Q53, Q55.

Keywords: CO₂ emissions, knowledge spillover, green patents, environmental performance, technological change, IPAT.

^{*} Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Economia e Management. E-mail: federica.caratu@student.unife.it

[°] Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Economia e Management. E-mail: mzzmsm@unife.it

[•] Istituto di ricerca sulla crescita economica sostenibile (IRCrES) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Milano. E-mail: nclfnc@unife.it

Introduzione

Europa 2020 è la strategia decennale proposta dalla Commissione Europea per una crescita economica sostenibile e solidale, che pone tra gli obiettivi prioritari in materia di cambiamento climatico e sostenibilità energetica una riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto al 1990. L'Italia nel 2013 era responsabile del 10% circa delle emissioni dei Paesi UE-28¹, e tale risultato è maggiormente imputabile alle province del Nord (Weina et al., 2014). In questo contesto, al fine di ridurre le emissioni di gas serra ed intraprendere un sentiero di crescita sostenibile, è necessario dapprima comprendere a fondo quali sono i fattori che esercitano un impatto sull'ambiente. L'equazione IPAT, un consolidato framework di analisi utilizzato negli studi di economia ambientale (Commoner, 1971; Ehrlich e Holdren, 1971), vede il prodotto di popolazione (P), ricchezza² (A) e tecnologia (T) come determinanti dell'impatto (I) ambientale. Adottare un tipo di tecnologie che possano ridurre l'inquinamento, ossia le eco-innovazioni (EI), è uno dei modi in cui si può agire sulla I dell'equazione IPAT. Diversi sono i fattori che incentivano l'EI, fra cui la regolamentazione ambientale, la domanda attesa del mercato, i sistemi di management ambientali e le innovazioni organizzative (Horbach, 2008). Anche gli spillover di conoscenza, oltre ad influenzare le scelte di localizzazione geografica delle imprese (Mariotti, Piscitello e Elia, 2010), possono incentivare la diffusione di eco-innovazione (Antonioli et al., 2016). Questo articolo si pone l'obiettivo, da un lato, di fornire un'analisi descrittiva delle performance di eco-innovazione e dei trend di inquinamento delle province italiane, e dall'altro di studiare la presenza di correlazione tra spillover di conoscenza, eco-innovazione ed emissioni di anidride carbonica. Per fare ciò condurremo un'analisi sull'intero territorio italiano e sulle aree geografiche del livello NUTS-1: Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud ed Isole. Tale studio, per prima cosa, evidenzierà le zone responsabili delle maggiori emissioni di CO₂, utilizzando dati ISTAT. Indicheremo inoltre quali province in ogni area mostrano il livello minimo e massimo di emissioni, mostrando le pro-

¹ European Environment Agency. (2015). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2012 and inventory report 2014, (19). Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2014>

² La definizione originaria di IPAT utilizza il termine "Affluence", da cui la lettera A nell'acronimo.

vince più virtuose che dal 1990 al 2010 sono riuscite ad abbattere maggiormente le emissioni di CO₂. Mostreremo dunque la distribuzione geografica degli stock di brevetti sia *green* che *brown* (fonte OCSE), e costruendo una variabile che rappresenti gli spillover di conoscenza testeremo la correlazione tra questi e lo stock di brevetti verdi in ogni area. Testeremo infine la correlazione fra le emissioni di CO₂ o l'intensità delle emissioni (CO₂/VA) e gli spillover di conoscenza, per comprendere se quest'ultimi influenzano le performance ambientali di una provincia. In breve sintesi, questo studio mostra da un lato come vi sia un divario Nord-Sud per quanto riguarda performance ambientali ed innovazioni, dove il Nord ha una concentrazione di brevetti maggiore ma è al contempo responsabile di una quota maggiore di emissioni. Gli studi di correlazione mostrano inoltre come l'attività eco-innovativa di una provincia sia influenzata dallo stock di invenzione/innovazione delle province circostanti.

La prossima sezione rivisita la letteratura riguardo i modelli per misurare le determinanti dell'impatto ambientale, le determinanti e gli effetti delle eco-innovazioni e gli effetti di spillover; la sezione 2 espone la metodologia utilizzata; nella sezione 3 sono presentati i risultati dell'analisi.

1. Revisione della letteratura

A seguito della crescente attenzione rivolta a tematiche ambientali a partire dagli anni '70, numerosi studi hanno tentato di determinare l'impatto dell'attività umana sull'ambiente. L'equazione IPAT, derivante da un dibattito fra Commoner (1971) ed Ehrlich e Holdren (1971), vede l'impatto ambientale (I) come risultato della forza moltiplicativa della popolazione (P), della ricchezza (A) e della tecnologia (T). Questo modello semplice, sistematico e robusto è stato successivamente riformulato in maniera stocastica ed utilizzato per testare empiricamente delle ipotesi (Dietz e Rosa, 1994). Dietz e Rosa (1997) fanno uso dei dati sulle emissioni di CO₂ di 111 nazioni per studiare la relazione fra popolazione ed impatto ambientale e concludono supportando l'ipotesi che la crescita della popolazione sia un suo importante determinante. La popolazione influenza il livello di emissioni di CO₂ e l'*energy footprint* mentre mostra una relazione a forma di "U" con le emissioni di diossido di zolfo (York et al., 2003; Cole e Neu-

mayer, 2004)³. L'incremento delle emissioni di gas serra è dovuto all'aumento della domanda di beni e servizi che richiedono l'uso di combustibili fossili, ma anche alle deforestazioni ed altri cambiamenti nell'utilizzo del territorio derivanti da un rapido incremento della popolazione (Shi, 2003). Rilevante al fine di valutare l'impatto ambientale della popolazione è non solo la sua dimensione ma anche la composizione. Cambiamenti nella composizione delle età nella popolazione, la sua distribuzione in aree urbane o rurali e la dimensione e composizione dei nuclei familiari influiscono sul consumo energetico e sulle emissioni di gas serra, in quanto risultano in comportamenti di consumo e tipi di reddito differenti (Jiang e Hardee, 2011). Gli sforzi rivolti a quantificare l'effetto dei cambiamenti della popolazione sull'ambiente non ottengono risultati univoci. Alcuni studi trovano che l'elasticità delle emissioni di CO₂ e dell'*energy footprint* rispetto alla popolazione sia pari all'unità (York et al., 2003; Cole e Neumayer, 2004), altri suggeriscono che l'effetto sia più che proporzionale (Shi, 2003). Tuttavia il divario fra questi risultati potrebbe essere ricondotto alle differenze nei modelli utilizzati (Wei, 2011). L'effetto dei cambiamenti della popolazione sulle emissioni di CO₂ pare inoltre essere disomogeneo fra Paesi. L'elasticità assume valori quasi pari a due nei Paesi a reddito medio-basso e rimane al di sotto dell'unità in quelli ad alto reddito (Shi, 2003). La crescita della popolazione ha indubbiamente un impatto negativo sull'ambiente, tuttavia il suo effetto è limitato. In uno studio a livello provinciale in Cina si dimostra che una rapida crescita della popolazione non modifica la forma ad "U" invertita della relazione fra inquinamento e reddito, prevenendo un declino dell'inquinamento al raggiungimento del *turning point* (Wang e Zhang, 2015). Il termine ricchezza (A) nell'equazione IPAT può essere definito come il consumo o la produzione pro-capite. La relazione fra ricchezza (A) e le emissioni di CO₂, dapprima elastica per bassi livelli di prodotto interno lordo, diviene inelastica superata una certa soglia (York et al., 2003). Dietz e Rosa (1997) ipotizzano che il diminuire delle emissioni di CO₂ al più alto livello di prodotto interno lordo derivi dal passaggio ad un'economia basata sui servizi e dall'abilità delle economie più ricche di investire per migliorare l'efficienza energetica. Questo comportamento è coerente col concetto di curva ambientale di Kuznets (EKC dall'inglese Environmental Kuznets Curve). Tuttavia, le emissioni totali

³ Con energy footprint si intende la quantità di terra necessaria ad assorbire le emissioni totali di CO₂ di un sistema economico.

crescono monotonamente al crescere della ricchezza (A) quando si controlla per gli altri fattori, seppur ad un tasso decrescente; questo suggerisce che il punto in cui la relazione diviene inelastica è talmente elevato da non poter essere considerato raggiungibile da nessun Paese nel prossimo futuro. La ricchezza (A) inoltre incrementa monotonamente l'*energy footprint* ad un tasso crescente, suggerendo che la decarbonizzazione di un'economia venga rimpiazzata da altri tipi di impatti ambientali, come ad esempio quello derivante dalle centrali nucleari (York et al., 2003). L'ultimo termine dell'equazione IPAT, la tecnologia, è definito come l'impatto per unità di consumo o di produzione. Non è solamente la dimensione di un'economia ad influenzare il livello di emissioni di CO₂, ma anche la sua struttura: a parità di altri fattori, un'economia più industrializzata emette più diossido di carbonio rispetto ad un'economia meno industrializzata (York et al., 2003). Per determinare le politiche migliori per ridurre l'impatto esercitato sull'ambiente dalle variabili inserite nel modello IPAT, York et al. (2002) introducono il concetto di *plasticity*, definito come il potenziale di popolazione, ricchezza e tecnologia di muoversi in diverse direzioni a seguito di processi storici o di politiche mirate. Ogni tipo di impatto ambientale ed ogni regione avranno bisogno di politiche differenti: nel caso dell'inquinamento dell'aria derivante dalle industrie, la tecnologia pare avere la plasticità potenziale più elevata. Il progresso tecnologico può dunque portare a migliori performance ambientali. In tale contesto, si parla di eco-innovazione (EI) quando la produzione, l'applicazione o l'utilizzo di un bene, servizio, processo produttivo, struttura organizzativa o metodo manageriale che sia nuovo per l'impresa o l'utente risulta durante il suo ciclo di vita in una riduzione rispetto alle alternative rilevanti del rischio ambientale, dell'inquinamento e degli impatti negativi risultati dall'utilizzo delle risorse (Kemp e Pearson, 2007).⁴ Numerosi contributi in letteratura si sono impegnati, nel corso degli anni, nello studio dell'EI, evidenziando come la regolamentazione ambientale, la domanda attesa, i sistemi di management ambientali e in generale le innovazioni organizzative siano le principali determinanti di EI (Horbach, 2008). L'idea che la regolamentazione ambientale possa stimolare i processi innovativi, e di conseguenza una maggiore competitività per le imprese, viene introdotta nel dibattito economico e non dal contributo seminale di Porter e Van der Linde (1995). L'ipotesi di Porter

⁴ Per una recente panoramica della letteratura sulle eco-innovazioni v. Barbieri et al. (2016)

postula che la regolamentazione ambientale possa promuovere innovazione e con essa migliorare il profilo competitivo dell'impresa, con effetti benefici sia dal punto di vista ambientale che dal punto di vista economico. L'evidenza empirica supporta in modo consolidato l'ipotesi di Porter nella sua accezione "debole". Con essa si intende infatti il meccanismo secondo il quale la regolamentazione ambientale sia in grado di incentivare lo sviluppo e l'adozione di EI. Ad esempio, un incremento del capitale di conoscenza tramite finanziamenti pubblici per la R&S è sicuramente un fattore che stimola l'innovazione ambientale (secondo la versione "debole" dell'ipotesi di Porter). Tra i vari studi in questo filone, si cita Kesidou e Demirel (2012), che mostra come le imprese rispondano ad una regolamentazione stringente con un livello maggiore di eco-innovazione; tuttavia la regolamentazione incita solamente le imprese situate ai poli opposti dello spettro innovativo. Per alcune considerazioni sulla politica industriale europea su piccole e medie imprese, vedi Sedezzari (2014). Altri studi, mostrano come la regolamentazione risulta importante per tutti i tipi di innovazioni di processo, fatta eccezione per quelli rivolti alla riduzione di materiali ed energia, ed in particolar modo per le innovazioni di tipo *end-of-pipe* come quelle rivolte a ridurre le emissioni atmosferiche. Per le innovazioni di prodotto, la regolamentazione attuale è significativa per le emissioni ma non per il consumo di energia ed il riciclo. Il risparmio sui costi ottenuto tramite le innovazioni organizzative come i sistemi di management ambientali si rivela particolarmente influente sulle innovazioni rivolte a ridurre il consumo di energia (Horbach et al., 2012).

La versione "forte" dell'ipotesi di Porter, ossia quella che teorizza che i benefici in termine di cambiamento tecnologico derivanti dalla regolamentazione ambientale siano tali da generare un miglioramento della competitività dell'impresa, sembra supportata da alcuni studi empirici recenti (Ambec et al., 2010). Un modo in cui le imprese possono in parte recuperare i costi sostenuti per adattarsi alle politiche ambientali è vendere le tecnologie verdi che erano state sviluppate per scopi interni (Ambec e Lanoie, 2008). Lotti e Marin (2014) non escludono che l'ipotesi forte di Porter possa essere confermata nel medio-lungo periodo: un risultato economico positivo deriva nel caso delle eco-innovazioni dal vantaggio degli *early movers* e dalla creazione di nuovi mercati per questo tipo di tecnologie. Gli effetti sull'ambiente di queste tecnologie sono stati testati empiricamente da diversi accademici.

Tra le determinanti dell'EI diverse dalla regolamentazione, Mazzanti e Zoboli (2006) trovano che la competenza tecnologica promuova l'introduzione di eco-innovazioni di prodotto, implicando che un'impresa

che è stata innovativa in passato sia più propensa ad innovare in futuro. Essi dimostrano inoltre come la R&S sia incentivata dalla collaborazione con altre imprese ed istituti di ricerca e suggeriscono che da questo processo di collaborazione possa scaturire innovazione.

Un ulteriore blocco di studi, sempre derivante dall'ipotesi di Porter, studia le ricadute dell'innovazione ambientale sulle performance ambientali delle imprese stesse o dei sistemi economici che le contengono, ricollegandosi contestualmente al modello IPAT. Carrión-Flores e Innes (2010), ad esempio, evidenziano una relazione negativa e statisticamente significativa fra emissioni e brevetti ambientali in 127 industrie manifatturiere fra il 1989 ed il 2004. Nel contesto italiano, le regioni ed i settori caratterizzati da un elevato numero di tecnologie verdi ottengono performance ambientali migliori (Ghisetti e Quatraro, 2014). A livello provinciale italiano, il cambiamento tecnologico e l'intensità di emissioni (CO_2/VA) sono caratterizzati da una relazione negativa e statisticamente significativa ma questa viene a mancare col livello assoluto di emissioni. Questo risultato rimane invariato quando si distingue fra province del Nord e del Sud Italia ma è maggiore al Sud, suggerendo che un aumento marginale nello stock di conoscenza abbia un impatto forte sulla produttività ambientale (Weina et al., 2014).

Infine, svariati studi mostrano come anche l'elemento territoriale sia rilevante, e come, di conseguenza, le emissioni di CO_2 siano spazialmente correlate (Cole et al., 2012). Tali correlazioni possono indicare la presenza di fattori comuni alle imprese collocate nella stessa area geografica che portano alla creazione di aree "sporche" di agglomerazione, favorite da politiche ambientali poco stringenti (Kyriakopoulou e Xepapadeas, 2009). Costantini et al. (2013) trovano che le performance ambientali di una regione italiana siano influenzate dalle performance ambientali delle regioni circostanti, dimostrando la presenza di un effetto di convergenza verso lo stesso tipo di tecnologie. Antonioli et al. (2016) studiano il caso dell'Emilia-Romagna, un'area ricca di distretti industriali, e riescono a dimostrare l'importanza dell'agglomerazione spaziale e degli effetti di spillover nel diffondere EI. In ogni comune, la quota di imprese che effettuano EI è sempre correlata positivamente e significativamente alla probabilità di adottare EI. Inoltre le imprese che adottano innovazioni di tipo ambientale congiuntamente ad innovazioni organizzative sono quelle che tendono ad avere le performance economiche migliori. Costantini et al. (2013) dimostrano che gli spillover tecnologici interregionali migliorino le performance ambientali più dell'innovazione interna. Si investe in R&S dunque non solo per creare innovazioni proprie ma anche per mantenere l'abilità di assimilare informazioni esterne (Aghion e Jaravel, 2015). Gli spillover, sostituiti

della R&S, sono utilizzati maggiormente per le innovazioni incrementali, mentre la cooperazione nella R&S aiuta a innovare in aree non familiari alle imprese (Jirjahn e Kraft, 2011). Tuttavia le strutture della rete di collaborazione fra imprese e della rete di diffusione della conoscenza differiscono, in quanto le interazioni fra imprese si mostrano omogenee all'interno di un cluster mentre la conoscenza si diffonde in maniera irregolare e concentrata. Questo implica che gli spillover di conoscenza siano un fenomeno condiviso solamente da un sottoinsieme di imprese all'interno di un cluster (Giuliani, 2007). Costa e Iezzi (2004) stimano l'intensità degli spillover nelle 20 regioni italiane e scoprono che le regioni situate al Nord ed al Centro beneficiano della diffusione della tecnologia in maniera maggiore rispetto alle regioni periferiche o del Sud. In presenza di spillovers di conoscenza, le imprese saranno incentivate a localizzarsi in prossimità di altre imprese, formando un'area in cui si concentrano le attività economiche ma in cui le emissioni saranno più elevate. Gli effetti di spillover possono influenzare dunque la scelta di localizzazione di un'impresa. In uno studio effettuato su 686 unità territoriali italiane, è stato trovato che gli spillover di conoscenza incentivano l'agglomerazione di multinazionali con altre multinazionali, con un effetto maggiore nel caso di agglomerazione intra-industry piuttosto che inter-industry, mentre disincentivano l'agglomerazione con imprese domestiche. Tuttavia le multinazionali non considerano solo il flusso di spillover in uscita ma anche quello in entrata e possono decidere di posizionarsi in prossimità di imprese domestiche quando queste detengono un vantaggio comparato (Mariotti, Piscitello e Elia, 2010).

2. Costruzione della banca dati e metodologia empirica

L'analisi oggetto di questo studio è condotta su un panel bilanciato costituito da 475 osservazioni per 95 province italiane negli anni fra il 1990 ed il 2010. Data l'evoluzione territoriale dell'Italia, che ha visto in questo ventennio la nascita di nuove province, si armonizza il database quando necessario in modo tale da far riferimento alle province esistenti nel 1990. Ad ognuna di esse vengono associate informazioni ogni 5 anni, in modo tale che i dati a disposizione si riferiscano al 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010. L'analisi si concentrerà sull'intero territorio nazionale così come nelle sue cinque macro-aree: Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud ed Isole. Dapprima utilizzeremo dati ISTAT sulle emissioni di CO₂ per descrivere le aree che emettono più CO₂, le province che riducono maggiormente le loro emissio-

ni nel ventennio considerato e la distribuzione spaziale delle emissioni sul territorio italiano⁵. Esporremo dunque dati di statistica descrittiva anche per lo stock dei brevetti verdi e per lo stock totale dei brevetti, che include i brevetti di tipo *brown*⁶. I brevetti di questo tipo includono i brevetti che non possono essere definiti *green*. Quest'ultimi riguardano le cosiddette tecnologie ambientali, ovvero quelle tecnologie che sono in grado di ridurre l'impatto ambientale rispetto alle alternative⁷. Essi includono brevetti in merito alla gestione dei rifiuti, alla riduzione dell'inquinamento dell'aria e dell'acqua, alle energie rinnovabili, alle tecnologie per le macchine ibride/elettriche e all'efficienza energetica nell'illuminazione e nella costruzione⁸. Va sottolineato infine che la scelta di utilizzare come unità di indagine le province rispetto ad altre unità territoriali più appropriate, quali i sistemi locali del lavoro, è dettata esclusivamente dalla disponibilità dei dati. Tutte le banche dati utilizzate per l'analisi quantitativa sono infatti disponibili solo a questo livello di dettaglio, e se da un lato ricostruire il dato brevettale ad una differente scala geografica risulterebbe possibile, sarebbe invece impossibile creare una banca dati sulle emissioni a scala comunale e di conseguenza a livello di distretto locale del lavoro⁹.

Per costruire lo stock totale di brevetti e lo stock di brevetti verdi è necessario considerare da un lato l'obsolescenza dei brevetti meno recenti e dall'altro il tempo necessario purché l'effetto di una nuova tecnologia si manifesti. Considerata la letteratura precedente, che definisce 0,1 (beta 1 nell'equazione seguente) come il tasso d'obsolescenza della conoscenza e 0,25 (beta 2 nell'equazione seguente) come il tasso della diffusione della

⁵ I dati della contabilità ambientale sono disponibili sul sito ISTAT (<http://dati.istat.it>).

⁶ I dati sui brevetti ambientali sono consultabili sul sito OECD (<http://stats.oecd.org/>). Disponibile sul sito della World Intellectual Property Organisation (<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/est/>) è anche una completa definizione dei brevetti "green", ossia quelli relativi a tecnologie con ricadute positive per l'ambiente.

⁷ OECD. (2013), *OECD Regions at a Glance 2013*, OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/reg_glance-2013-en

⁸ OECD. (2011), *OECD Regions at a Glance 2011*, OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/reg_glance-2011-en

⁹ Come evidenziato da un referee anonimo, utilizzare le province come unità territoriale di indagine ha una valenza euristica minore rispetto ad altre alternative, quali i sistemi locali del lavoro o i distretti industriali. L'intensità dei legami tra le imprese tende infatti ad essere maggiore quando queste sono legate da relazioni commerciali stabili, ed il confine di tali relazioni non coincide per forza con i meri confini amministrativi.

conoscenza, si sconta il numero dei brevetti totali e dei brevetti verdi nel seguente modo:

$$KStock_{it} = \sum_{s=0}^{\infty} e^{-\beta_1(s)} (1 - e^{-\beta_2(s+1)}) PAT_{i,j,t-s}$$

Con i e t che variano rispettivamente per provincia e per tempo. Lo stock di brevetti verdi e lo stock totale dei brevetti rappresentano il cambiamento tecnologico e sono utilizzati per commentare lo sforzo innovativo di ogni provincia. In particolare, lo stock dei brevetti verdi dà informazioni riguardo alla capacità di ogni provincia di eco-innovare. Osserveremo la distribuzione spaziale delle emissioni di CO₂ e di entrambi i tipi di stock. Ipotizziamo di riscontrare un divario Nord-Sud, in cui le emissioni di CO₂ si concentrano nelle province del Nord piuttosto che nelle province del Sud. Se così fosse, sarebbe confermata l'ipotesi dell'esistenza di aree "sporche", in cui le emissioni di CO₂ sono elevate per la presenza di molte imprese in prossimità l'una dell'altra. Quando le imprese sono localizzate nella stessa area, è possibile che utilizzino lo stesso tipo di tecnologie e beneficino di effetti di spillover di conoscenza. Per studiare l'effetto degli spillover, costruiamo una variabile tale che:

$$GreenSpill = \sum_{k=1, k \neq i}^N GreenKStock_{it} w_{ki}$$

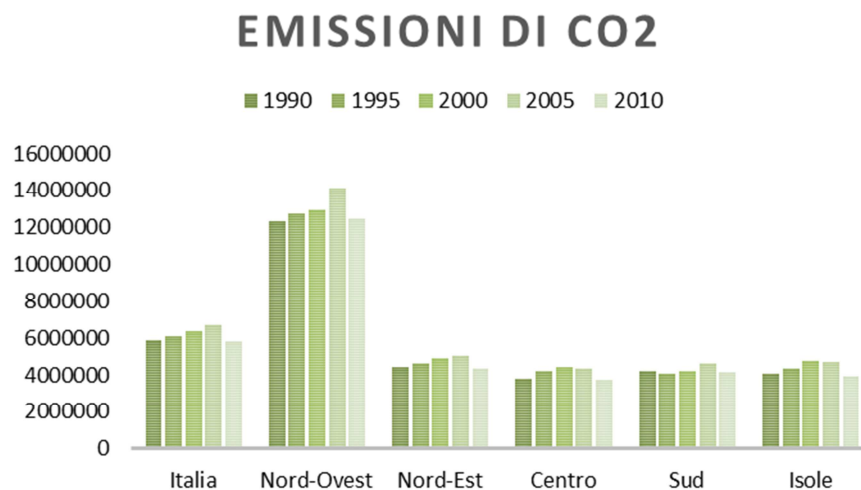
Lo spillover è costituito dalla sommatoria dello stock degli eco-brevetti delle province circostanti. Essendo stato dimostrato che gli effetti di spillover si diffondono generalmente in un raggio di 300 chilometri dall'origine (Bottazzi e Peri, 2003) ed ipotizzando che minore la distanza maggiore sarà l'effetto degli spillover di conoscenza, utilizziamo un peso w_{ki} pari a 1 se le province distano 150 chilometri o meno e pari a 0,75 se distano fra i 150 ed i 300 chilometri. Le distanze sono calcolate utilizzando il sito dell'Automobile Club d'Italia (ACI), ricercando il percorso più breve fra le città in cui è presente la sede amministrativa della provincia. Utilizzeremo questa variabile misurandone l'eventuale correlazione con lo stock dei brevetti verdi di una provincia. Una correlazione positiva indicherebbe che la

probabilità di effettuare EI si associa ai risultati dell'eco-innovazione delle province circostanti.

3. Risultati

In Italia e nelle sue cinque macro-aree (Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud ed Isole) si osserva un andamento crescente delle emissioni di CO₂ dal 1990 al 2005, seguito da un'apparente inversione di rotta nel 2010 (Figura 1). È proprio in quest'anno che, nel ventennio considerato, le emissioni di diossido di carbonio sono ai loro livelli minori in tutte le aree ad eccezione del Sud, dove il punto di minimo è stato registrato nel 1995. Tale contrazione delle emissioni è imputabile però, o almeno in parte, alle caratteristiche recessive della crisi economica che ha investito il paese nel 2009, e non è solo conseguenza di un miglioramento tecnologico del tessuto produttivo.

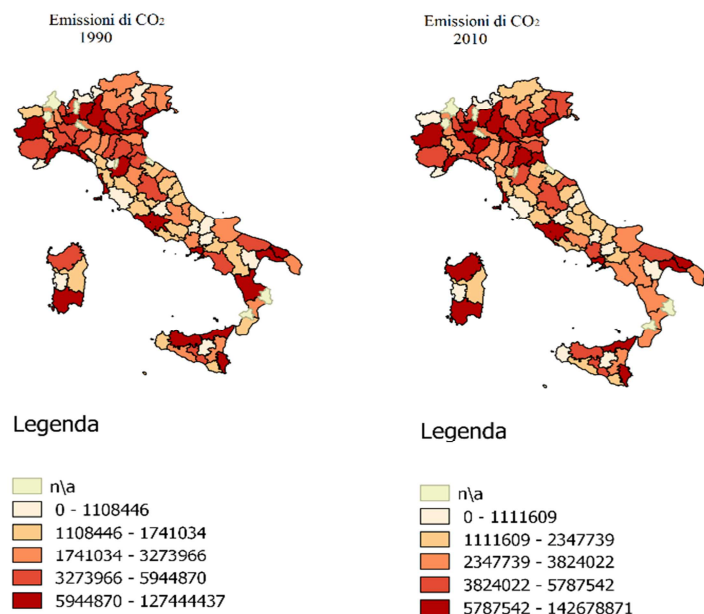
Fig. 1 – Emissioni di CO₂ (Mg)



Il Nord-Ovest è l'unica area in cui la media delle emissioni di CO₂ supera la media nazionale. In questa zona si osserva un grosso divario fra valore medio e valore mediano, il che può indicare la presenza di poche province responsabili di livelli molto elevati di emissioni di CO₂. In particolare, la provincia di Torino è il principale inquinatore in questa ripartizione geografica, mentre nel Nord-Est i valori massimi sono stati registrati a Venezia.

Confrontando invece i dati per i minori inquinatori, le emissioni della Provincia di Sondrio nel 2010 (l'anno associato ai livelli minimi di CO₂ ottenuto al Nord-Ovest) sono maggiori del livello di emissioni minimo nel Nord-Est, registrato a Belluno nel 1990. Questo è in linea con l'ipotesi che al Nord-Ovest siano presenti alcune province con livelli di emissioni di CO₂ talmente elevati da portare la media sopra al livello nazionale. Al Nord-Est, la mediana non si allontana molto dalla media, indicando una distribuzione delle emissioni di CO₂ omogenea. Spostando l'attenzione al centro del Paese, la Provincia di Roma registra nel 2000 il livello massimo di emissioni di CO₂ dell'intera ripartizione, mentre il livello minimo è attribuito alla Provincia di Rieti nello stesso anno. Al Sud e nelle Isole i valori maggiori di emissioni di CO₂ appartengono alla Provincia di Taranto, nel 1990, ed alla Provincia di Siracusa nel 2005. La Provincia di Oristano emette invece, nel 2000, la quantità di emissioni minori delle Isole nel ventennio considerato, mentre il valore minimo sull'intero territorio nazionale ed in tutti gli anni osservati è ottenuto nel 1990 dalla Provincia di Isernia. Complessivamente, le province centrali mostrano in generale la media più bassa rispetto alle altre zone.

Fig. 2 – Distribuzione geografica delle emissioni di CO₂



Nel periodo considerato diverse province sono state in grado di diminuire sostanzialmente le proprie emissioni di CO₂ rispetto ai valori del 1990: al Nord-Ovest la Provincia di La Spezia e la Provincia di Genova registrano una variazione negativa rispettivamente pari al 52% ed al 49%; nel Nord-Est la Provincia di Rovigo riduce le proprie emissioni del 75%; Ascoli Piceno è invece la provincia del Centro che riesce a ridurre maggiormente le emissioni di CO₂ nel ventennio considerato, con una variazione negativa pari al 53%; al Sud la Provincia di Cosenza vede diminuire le proprie emissioni del 58% mentre nelle Isole è la Provincia di Palermo che ottiene il risultato migliore, con una variazione negativa del 35%. Sull'intero territorio nazionale invece, la variazione positiva più elevata di emissioni di CO₂ (pari al 238%) è stata registrata ad Isernia. Tuttavia questa provincia era caratterizzata nel 1990 dal valore minimo di emissioni nell'intero campione. La Figura 2, che rappresenta le emissioni di CO₂ nelle 95 province italiane nel 1990 e nel 2010, illustra i risultati ottenuti. È possibile osservare la maggior concentrazione di emissioni al Nord, che può essere spiegata dalla presenza di regioni ad alta vocazione manifatturiera quali l'Emilia-Romagna e la Lombardia. Il Centro è la zona relativamente più "pulita", registrando una media di emissioni di CO₂ minore rispetto alle altre zone. Una sintesi di queste statistiche descrittive è riportata nella Tabella 1 sottostante.

Tab. 1 – Statistiche descrittive delle emissioni di CO₂ in mg (su dati relativi al 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010).

	Emissioni di CO ₂			
	Media	Mediana	Massimo	Minimo
Italia	6153986	3108468	156154925,4	273827,9
Nord-Ovest	12909386	4830507	156154925,4	448986,4
Nord-Est	4678974	4413986	16345404,78	991997,3
Centro	4097364	1711762	34234749,01	505012,2
Sud	4259685	2232544	25736940,12	273827,9
Isole	4367832	2607041	14251486,16	352084,9

Analizzando lo stock totale dei brevetti, che include sia brevetti di tipo *green* che di tipo *brown*, si nota che il Nord-Ovest ed il Nord-Est eccedono la media nazionale in tutti gli anni del periodo considerato mentre Centro, Sud ed Isole presentano medie inferiori alla nazionale. Le mediane sono sostanzialmente inferiori rispetto alle medie, indicando una forte concentrazione delle attività innovative in poche province. Milano registra nel 2010 il livello più elevato dello stock totale dei brevetti. Nel Nord-Est è la Provincia di Bologna a detenere questo primato, mentre al Centro è Roma a registrare il numero più elevato brevetti. Nel sud e nelle isole, lo stock di conoscenza, approssimato dal numero totale di brevetti registrati, assume

invece i valori più elevati a Palermo e Napoli. I risultati sono molto simili quando si restringe l'analisi al solo stock di brevetti verdi. Fanno eccezione il Nord-Est e le Isole, in cui sono la Provincia di Vicenza e la Provincia di Catania a detenere lo stock maggiore di conoscenza "green". Nelle Isole, le province meno coinvolte nell'innovazione ambientale sono la Provincia di Agrigento, la Provincia di Enna e la Provincia di Sassari, che hanno uno stock dei brevetti verdi pari a 0 nell'intero periodo considerato. Al Sud la Provincia di Caserta, la Provincia di Catanzaro, la Provincia di Matera e di Teramo mantengono il proprio stock di eco-brevetti costantemente pari a 0 nei 5 anni osservati. Questo accade anche nella Provincia di Latina e nella Provincia di Rieti al Centro e nella Provincia di Sondrio e nella Provincia d'Aosta al Nord-Ovest. Al Nord-Est invece, nessuna provincia registra un valore nullo di eco-brevetti negli anni considerati. Mentre nel 1990 non c'è un evidente divario dello stock totale dei brevetti fra le province appartenenti alle diverse aree considerate, nell'ultimo anno osservato è più evidente la distribuzione disomogenea di questo dato, con livelli maggiori al Nord rispetto al Sud. Tale dato è riassunto nella Tabella 2 sottostante, mentre in Figura 3 viene presentata una mappatura della distribuzione geografica di brevetti ed eco-brevetti su scala nazionale.

Tab. 2 – Stock totale dei brevetti e stock degli eco brevetti (dati disponibili nel 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010).

	Stock totale dei brevetti				Stock degli eco-brevetti			
	Media	Mediana	Max	Min	Media	Mediana	Max	Min
Italia	153,37	34,54	5906,98	0	3,12	0,84	102,12	0
Nord-Ovest	381,62	92,47	5906,98	3,31	7,11	2,11	102,12	0
Nord-Est	205,64	104,7	1554,21	6,66	4,08	2,18	28,48	0
Centro	98,87	36,67	1026,19	0,22	2,66	1,01	40,28	0
Sud	20,60	11,51	147,935	0,51	0,53	0,31	3,51	0
Isole	16,13	4,54	93,01	0	0,35	0,23	1,59	0

Infine testiamo se, a livello nazionale e delle sotto ripartizioni geografiche, lo stock di brevetti verdi di una provincia è correlato alla variabile da noi costruita per rappresentare gli spillover di conoscenza. L'indice di correlazione di Person, suggerisce una correlazione moderata fra le variabili e più forte nel Nord-Est (vedi Tabella 3). Nelle altre aree e sull'intero territorio nazionale i coefficienti indicano una correlazione tutt'al più debole, fatta eccezione del Centro in cui il coefficiente è negativo. Tuttavia la correlazione di Pearson è molto sensibile ai valori *outlier*. Per questo motivo te-

stiamo la relazione fra stock di brevetti verdi e spillover utilizzando la correlazione di Spearman. A livello nazionale troviamo un coefficiente di correlazione pari a 0.6077 e significativo al 99.9%, che indica una correlazione forte. Testando la correlazione di Spearman in ogni area, troviamo il rho maggiore al Nord-Est, significativo anch'esso al 99.9%. Al Nord-Ovest ed al Centro troviamo una correlazione moderata, significativa rispettivamente al 99.9% ed al 99%. Al Sud e nelle Isole la correlazione è debole e, mentre al Sud è significativa al 95%, non risulta significativa nelle Isole. Sia utilizzando la correlazione di Pearson che la correlazione di Spearman, il Nord-Est risulta l'area in cui lo stock di brevetti verdi è maggiormente influenzato dagli effetti di spillover, risultato che spiega la concentrazione maggiore di eco-brevetti in quest'area. Questo risultato non stupisce se si considera la presenza al Nord-Est di regioni come l'Emilia-Romagna, ricca di distretti industriali, in cui le imprese sono collocate in prossimità l'una dell'altra, ed a stretto contatto con il mondo della ricerca e dell'Università. I risultati di quest'analisi possono essere interpretati come riprova descrittiva dell'esistenza di spillover di conoscenza a livello provinciale in Italia: la vicinanza geografica fra imprese che effettuano innovazione ambientale incentiva l'adozione di EI, in linea coi risultati ottenuti da Antonioli et al. (2016).

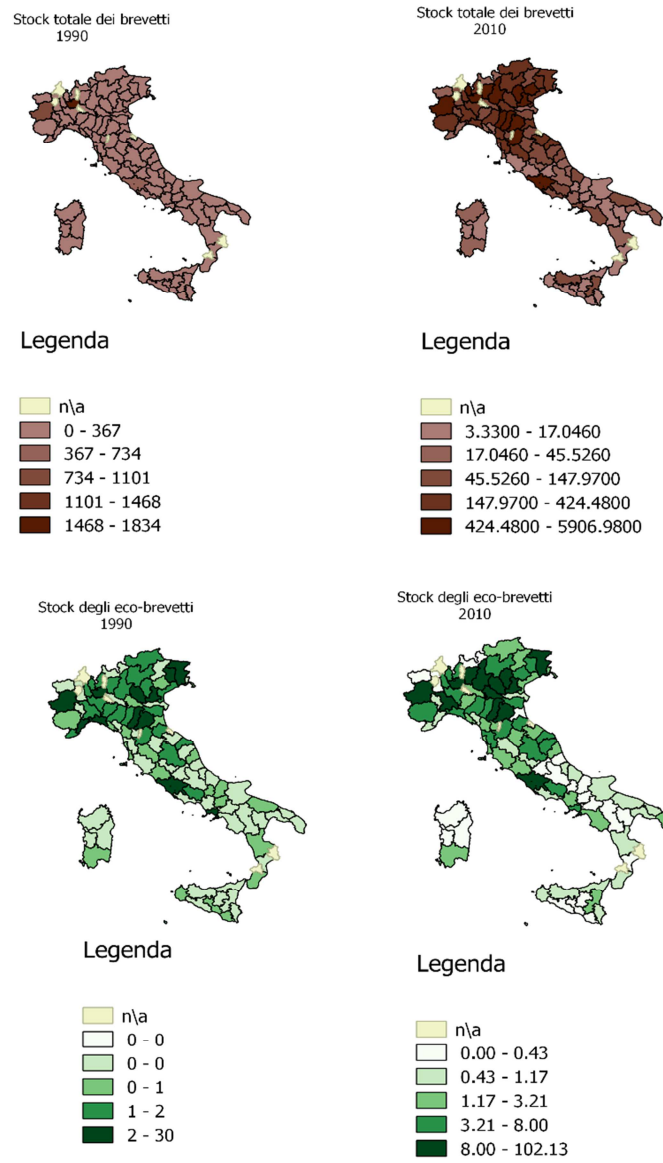
Tab. 3 – Correlazione di Pearson e di Spearman fra stock di brevetti verdi e spillover (1990-2010)

	<i>N° osservazioni</i>	<i>Pearson</i>	<i>Spearman</i>	<i>p-value</i>
Italia	475	0,2810	0,6077	0,0000
Nord-Ovest	100	0,0982	0,3438	0,0005
Nord-Est	105	0,4477	0,4659	0,0000
Centro	100	-0,0966	0,3225	0,0011
Sud	105	0,2146	0,2381	0,0144
Isole	65	0,1152	0,1794	0,1527

Nella Tabella 4 sono riportati i coefficienti di correlazione di Pearson e di Spearman fra emissioni di CO₂, intensità di emissioni (CO₂/VA) e spillover di conoscenza. Sull'intero territorio nazionale, la correlazione degli spillover con le emissioni di CO₂, positiva ma debole, assume segno negativo quando si considera l'intensità delle emissioni. La correlazione più forte, di segno negativo, si trova al Sud. Al crescere degli spillover di conoscenza si associa dunque una diminuzione delle emissioni di CO₂ e dell'intensità di emissioni. Considerata anche la correlazione positiva fra stock di brevetti verdi e spillover di conoscenza, questa evidenza empirica suggerisce l'esistenza di una catena di eventi in cui al godimento di spillo-

ver di conoscenza da parte di una provincia segue un aumento della sua attività eco-innovativa ed un conseguente miglioramento delle performance ambientali.

Fig. 3 – Distribuzione geografica dello stock totale dei brevetti e dello stock degli eco-brevetti



Va notato infine come l'effetto che questi spillover di conoscenza esercitano sulle emissioni di CO₂ può essere ritardato nel tempo, in quanto è ragionevole pensare che i fenomeni di propagazioni qui analizzati possono avere un periodo di incubazione che va oltre l'anno solare. Una seconda analisi di correlazione effettuata seguendo questa nuova dinamica temporale, non inclusa nel testo per brevità, conferma infatti i risultati presentati in Tabella 4. Nello specifico, introducendo il ritardo primo degli effetti di spillover al posto del loro valore contemporaneo, i risultati dei test di correlazione rimangono pressoché invariati, se non per una debole riduzione dei coefficienti. Tale evidenza conferma la natura strutturale della presente relazione, ed evidenza come gli spillover di conoscenza passati siano correlati con le emissioni attuali, per quanto questa associazione decresca nel tempo.

Tab. 4 – Correlazione di Pearson e Spearman fra emissioni di CO₂ ed effetti di spillover (1990-2010)

	<i>GreenSpill</i>			
	Pearson	CO ₂ Spearman	Pearson	CO ₂ /VA Spearman
Italia	0,0546	0,1722 (0,0002)	-0,0845	-0,1827 (0,0001)
Nord-Ovest	-0,1059	0,0628 (0,5351)	-0,2059	-0,2445 (0,0142)
Nord-Est	0,1547	0,3006 (0,0018)	-0,2843	-0,2767 (0,0043)
Centro	-0,1428	0,0025 (0,9805)	-0,2350	-0,3533 (0,0003)
Sud	-0,3279	-0,3767 (0,0001)	-0,3599	-0,5694 (0,0000)
Isole	-0,1051	-0,0758 (0,5485)	-0,2482	-0,2126 (0,0891)

Conclusioni

Sulla base teorica del modello ecologico-economico IPAT, il contributo ha esaminato il ruolo degli effetti di spillover di conoscenza nel promuovere l'adozione di eco-innovazione. Utilizzando un originale panel bilanciato di 475 osservazioni ogni 5 anni dal 1990 al 2010, abbiamo analizzato l'andamento delle emissioni di CO₂ per le 95 province italiane della configurazione territoriale del 1990. Il Nord-Ovest è responsabile delle maggiori emissioni di CO₂ e la Provincia di Torino mostra il valore massimo nell'intero campione. Per analizzare il cambiamento tecnologico avvenuto nel periodo fra il 1990 ed il 2010, si utilizza lo stock totale dei brevetti e lo stock dei soli brevetti verdi. Questi stock sono stati costruiti in modo tale da considerare l'obsolescenza dei brevetti più lontani nel tempo ed il tempo necessario per la diffusione della conoscenza. Soprattutto nel caso dei brevetti verdi, è possibile osservare il divario Nord-Sud, che vede una concen-

trazione dello stock dei brevetti verdi maggiore al Nord. Troviamo inoltre correlazione fra lo stock dei brevetti verdi e la variabile costruita per rappresentare gli spillover di conoscenza. La correlazione si mostra forte a livello nazionale e maggiore al Nord-Est rispetto alle altre aree. Alla luce di questo risultato l'evidenza empirica mostra che l'attività eco-innovativa di una provincia è influenzata dallo stock di invenzione/innovazione delle province circostanti e che l'effetto maggiore degli spillover di conoscenza in determinate aree porti ad una distribuzione disomogenea dei brevetti verdi sul territorio italiano. Inoltre la correlazione negativa delle emissioni di CO₂ e dell'intensità delle emissioni con gli spillover di conoscenza suggerisce che quest'ultimi influenzino l'attività innovativa di una provincia e, con essa, le sue performance ambientali.

Riferimenti bibliografici

- Aghion, P., & Jaravel, X. (2015). Knowledge Spillovers, Innovation and Growth. *The Economic Journal*, 125(583), 533–573. <http://doi.org/10.1111/ecoj.12199>
- Ambec, S., & Lanoie, P. (2008). Does It Pay to Be Green? A Systematic Overview. *Academy of Management Perspectives*, 22(4), 45–62.
- Ambec, S., Cohen, M., Elgie, S. and Lanoie, P. (2013) The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness?. *Review of Environmental Economics and Policy* 7 (1), 2-22.
- Barbieri, N., Ghisetti, C., Gilli, M., Marin, G., & Nicolli, F. (2016). a Survey of the Literature on Environmental Innovation Based on Main Path Analysis. *Journal of Economic Surveys* <http://doi.org/10.1111/joes.12149>
- Bottazzi, L., & Peri, G. (2003). Innovation and spillovers in regions: Evidence from European patent data. *European Economic Review*, 47(4), 687–710. [http://doi.org/10.1016/S0014-2921\(02\)00307-0](http://doi.org/10.1016/S0014-2921(02)00307-0)
- Carrión-Flores, C. E., & Innes, R. (2010). Environmental innovation and environmental performance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59(1), 27–42. <http://doi.org/10.1016/j.jeem.2009.05.003>
- Cole, M. a., Elliott, R. J. R., Okubo, T., & Zhou, Y. (2012). The carbon dioxide emissions of firms: A spatial analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*. <http://doi.org/10.1016/j.jeem.2012.07.002>
- Cole, M.A. & Neumayer, E. (2004). Examining the impact of demographic factors on air pollution. *Population and Environment*, 26, pp.5–21
- Commoner, B., (1971). The closing circle: nature, man and technology. *Alfred A. Knopf, New York*.
- Costa, M., & Iezzi, S. (2004). Technology spillover and regional convergence process: A statistical analysis of the Italian case. *Statistical Methods and Applications*, 13(3), 375–398. <http://doi.org/10.1007/s10260-004-0088-0>

- Costantini, V., Mazzanti, M., & Montini, A. (2013). Environmental performance, innovation and spillovers. Evidence from a regional NAMEA. *Ecological Economics*, 89, 101–114. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.026>
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology'. *Human Ecology Review* 1, 277–300.
- Dietz, T., & Rosa, E. a. (1997). Effects of population and affluence on CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(January), 175–179. <http://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>
- Ehrlich, P. R., Holdren, J. P., Series, N., & Mar, N. (1971). Impact of Population Growth. *Science*, 171(3977), 1212–1217. <http://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212>
- EU Commission. Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Communication from the Commission. COM (2010) 2020 final, 3 March 2010.
- European Environment Agency. (2015). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2012 and inventory report 2014, (19). Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2014>
- Ghisetti, C., Quatraro, F. (2014). Is green knowledge improving environmental productivity? Sectoral evidence from Italian regions. *SEEDS Working Papers* 10/2014
- Giuliani, E. (2007). Toward an understanding of knowledge spillovers in industrial clusters, *Applied Economics Letters*, 2007 (14) 87–90. <http://doi.org/10.1080/13504850500425907>
- Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation-New evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163–173. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2007.08.006>
- Horbach, J., Rammer, C., & Rennings, K. (2012). Determinants of eco-innovations by type of environmental impact - The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *Ecological Economics*, 78, 112–122. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.005>
- Jaffe, A., Newell, R., & Stavins, R. (2002). Environmental Policy and Technological Change. *Environmental and Resource Economics*, 22(1), 41–70. <http://doi.org/10.1023/A:1015519401088>
- Jiang, L., & Hardee, K. (2011). How do Recent Population Trends Matter to Climate Change? *Population Research and Policy Review*, 30(2), 287–312. <http://doi.org/10.1007/s11113-010-9189-7>
- Jirjahn, U., & Kraft, K. (2011). Do Spillovers Stimulate Incremental or Drastic Product Innovations? Evidence from German Establishment Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 73(4), 509–538. <http://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2010.00618.x>
- Kemp, R., & Pearson, P. (2007). Final report MEI project about measuring eco-innovation. *European Environment*, 120. Retrieved from <http://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>
- Kesidou, E., & Demirel, P. (2012). On the drivers of eco-innovations: Empirical evidence from the UK. *Research Policy*, 41(5), 862–870. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2012.01.005>

- Kyriakopoulou, E., Xepapadeas, A., 2009. Environmental policy, spatial spillovers and the emergence of economic agglomerations. *FEEM Working Paper*, No 70. FEEM, Milan, Italy.
- Lotti, F., Marin, G. (2015). Productivity effect of eco-innovations using data on eco-patents. *SEEDS Working Papers* 17/2015
- Mariotti, S., Piscitello, L., & Elia, S. (2010). Spatial agglomeration of multinational enterprises: The role of information externalities and knowledge spillovers. *Journal of Economic Geography*, 10(4), 519–538. <http://doi.org/10.1093/jeg/lbq011>
- Mazzanti, M., Zoboli, R., (2006). Examining the Factors Influencing Environmental Innovations. *Fondazione Eni Enrico Mattei*, Note di Lavoro. 20(I), 1–32. <http://doi.org/10.2139/ssrn.879721>
- OECD. (2011), *OECD Regions at a Glance 2011*, OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/reg_glance-2011-en
- OECD. (2013), *OECD Regions at a Glance 2013*, OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/reg_glance-2013-en
- Popp, D. (2002). Induced innovation and energy prices. *American Economic Review*, 92, pp.160–180.
- Popp, D., Hascic, I. & Medhi, N. (2011). Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics*, 33(4), pp.648–662.
- Porter, M.E., van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives* 9 (4), 97–118.
- Sedezzari, L. (2014). La politica industriale e gli strumenti di finanziamento dell'UE per le PMI ai fini di una reindustrializzazione dell'Europa. *Argomenti*, 2014(41), 91-121
- Shi, A. (2003). The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions , 1975 - 1996: evidence from pooled cross-country data. *Ecological Economics*, 44, 29–42. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00223-9](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00223-9)
- Wang, S. X., Fu, Y. B., & Zhang, Z. G. (2015). Population growth and the environmental Kuznets curve. *China Economic Review*, 36, 146–165. <http://doi.org/10.1016/j.chieco.2015.08.012>
- Wei, T. (2011). What STIRPAT tells about effects of population and affluence on the environment? *Ecological Economics*, 72, 70–74. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.10.015>
- Weina, D., Gilli, M., Mazzanti, M., & Nicolli, F. (2014). Green inventions and greenhouse gas emission dynamics : A close examination of provincial Italian data, *SEEDS Working Papers*, 30/2014. doi.org/10.1007/s10018-015-0126-1
- York, R., Rosa, E. a., & Dietz, T. (2002). Bridging environmental science with environmental policy: Plasticity of population, affluence, and technology. *Social Science Quarterly*, 83(1), 18–34. doi.org/10.1111/1540-6237.00068
- York, R., Rosa, E. a., & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351–365. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)