

Emissioni, eco-innovazione ed effetti di spillover nelle province italiane

Caratù F., Mazzanti M., Nicolli F.

Sommario

Utilizzando un panel bilanciato di 475 osservazioni per 95 province italiane dal 1990 al 2010, studiamo la distribuzione geografica delle emissioni di CO₂. Troviamo al Nord un'area "sporca", in cui le emissioni sono più elevate rispetto al resto d'Italia, mentre il Centro è la zona che emette in media meno CO₂. Analizziamo dunque la distribuzione geografica dello stock totale dei brevetti, che include gli eco-brevetti così come i brevetti di tipo *brown*, e dello stock dei brevetti verdi. Questi sono più elevati nelle province del Nord ed il divario con le province delle altre aree è più evidente nel caso dello stock dei brevetti verdi. Costruiamo dunque una variabile che rappresenti gli spillover di conoscenza e ne testiamo la correlazione con lo stock di brevetti verdi. Otteniamo un coefficiente che indica una correlazione forte fra le due variabili, che interpretiamo come evidenza che l'attività innovativa ambientale di una provincia è influenzata dall'eco-innovazione proveniente dalle province circostanti.

Parole chiave: emissioni di CO₂, eco-innovazione, spillover di conoscenza, brevetti verdi

Classificazione JEL: Q53, Q55

1 Introduzione

Europa 2020 è la strategia decennale proposta dalla Commissione Europea per una crescita sostenibile e solidale. Essa pone gli obiettivi che gli Stati membri si impegnano a raggiungere entro il 2020, adottando inoltre obiettivi nazionali. Tre sono gli obiettivi in materia di cambiamento climatico e sostenibilità energetica: la riduzione delle emissioni di gas serra del 20% (o del 30% se ne sussistono le condizioni) rispetto al 1990, il ricavo da fonti rinnovabili del 20% del fabbisogno energetico e l'aumento del 20% dell'efficienza energetica. Nel 2013 l'Italia è stata responsabile del 9,68% del totale delle emissioni di CO₂ dei Paesi UE-28 (Eurostat). Le province del Nord sono quelle maggiormente responsabili per questo risultato negativo, in quando il Sud emette in media meno CO₂ (Weina et al., 2014). Perché le emissioni di gas serra diminuiscano e la crescita sia davvero sostenibile, è necessario dapprima avere una comprensione profonda dei fattori che esercitano un impatto sull'ambiente. L'equazione IPAT (Commoner, 1971; Ehrlich e Holdren, 1971) vede il prodotto di popolazione (P), affluenza (A) e tecnologia (T) come determinanti dell'impatto (I) ambientale. Adottare un tipo di tecnologie che possano ridurre l'inquinamento è uno dei modi in cui si può ridurre la I dell'equazione IPAT. Il tipo di innovazione che ha la capacità di ridurre l'impatto ambientale rispetto alle alternative è denominato eco-innovazione (EI). Diversi sono i fattori che incentivano EI, fra cui la regolamentazione ambientale, la domanda attesa del mercato, i sistemi di management ambientali e le innovazioni organizzative (Horbach, 2008). Secondo la famosa ipotesi di Porter (Porter e van der Linde, 1995), da una regolamentazione ambientale stringente non derivano benefici solamente dal punto di vista ambientale ma anche da quello economico grazie alla crescente competitività dell'impresa che adotta EI. Diversi studi hanno confermato empiricamente la versione "debole" dell'ipotesi di Porter, mentre la sua versione "forte" sembra trovare conferma negli studi più recenti (Ambec et al., 2010). Data l'inabilità del creatore di un bene di appropriarsi di tutto il ritorno sociale che esso genera, i consumatori, le imprese

competitrici e le imprese che comprano il prodotto dell'innovatore beneficiano degli effetti di spillover (Jaffe, 2002). 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). In questo articolo utilizziamo dati ISTAT sulle emissioni di CO₂ in 95 province italiane dal 1990 al 2010 per osservare se esistono zone "sporche" in cui le emissioni sono elevate rispetto alle altre aree. Utilizziamo inoltre dati OCSE per comprendere se lo stock di brevetti di una provincia è influenzato dallo sforzo innovativo 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 3 espone la metodologia utilizzata; nella sezione 4 sono presentati i risultati dell'analisi mentre la sezione 5 conclude.

2 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), dell'affluenza (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 la crescita della popolazione come suo 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 Neumayer, 2004). 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 affluenza nell'equazione IPAT può essere definito come il consumo o la produzione pro-capite. La relazione fra affluenza ed 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 crescono monotonamente al crescere dell'affluenza 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. L'affluenza 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, affluenza 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. 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).¹ Un incremento del capitale di conoscenza tramite R&S è sicuramente un fattore che stimola l'innovazione ambientale. 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. Tuttavia la R&S non è l'unico fattore rilevante: la regolamentazione ambientale, la domanda attesa, i sistemi di management ambientali e in generale le innovazioni organizzative sono determinanti di EI (Horbach, 2008). Kesidou e Demirel (2012) trovano che 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. I meccanismi che incentivano la creazione di eco-innovazioni, denominati *regulatory push/pull*, *technology push* e *market pull*, assumono un peso diverso in base al tipo di impatto ambientale che si esamina. 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). L'ipotesi di Porter (Porter e van der Linde, 1995) 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 la prima parte dell'ipotesi di Porter,

¹ Per una recente panoramica della letteratura sulle eco-innovazioni v. Barbieri, Ghisetti, Gilli et al. (2016)

definita versione “debole”, mostrando una correlazione positiva fra innovazione e regolamentazione ambientale. La versione “forte” dell’ipotesi di Porter vede i costi derivanti da una regolamentazione stringente più che compensati dall’innovazione con un conseguente miglioramento della competitività dell’impresa e sembra supportata dagli studi empirici più 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. Carrión-Flores e Innes (2010) 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 (CO₂/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). Precedenti risultati che mostrano come le emissioni di CO₂ siano spazialmente correlate (Cole et al., 2012) 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).

3 Descrizione database e metodologia

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. Le variabili di nostro interesse sono le emissioni di CO₂ (fonte ISTAT), lo stock degli eco-brevetti e lo stock totale dei brevetti, che include brevetti di tipo *brown* (fonte OCSE). Per costruire queste ultime variabili è necessario considerare da un lato l'obsolescenza dei brevetti meno recenti e dall'altro il tempo necessario purchè l'effetto di una nuova tecnologia si manifesti. Considerata la letteratura precedente, che definisce 0.1 come il tasso d'obsolescenza della conoscenza e 0.25 come il tasso della diffusione della conoscenza, si sconta il numero dei brevetti totali e dei brevetti verdi nel seguente modo:

$$K \text{ Stock}_{it} = \sum_{s=0}^{\infty} e^{-\beta_1(s)} (1 - e^{-\beta_2(s+1)}) PAT_{i,j,t-s}^2$$

Questa variabile varia dunque per province e per tecnologia ed include effetti fissi temporali per tener conto della tendenza dello stock di conoscenza a crescere nel tempo. L'analisi verrà condotta sull'intero territorio nazionale e nelle aree geografiche del livello NUTS-1: Nord-Ovest, Nord-Est, Centro, Sud ed Isole. Si evidenzieranno le zone responsabili delle maggiori emissioni di CO₂ e si indicherà la media e la mediana delle emissioni in ognuna delle aree. Si indicherà inoltre quali province in ogni area mostrano il livello minimo e massimo di emissioni. Si evidenzieranno le province più virtuose che nei 20 anni considerati sono riuscite ad abbattere maggiormente le emissioni di CO₂. Esporremo dati di statistica descrittiva anche per lo stock totale dei brevetti e lo stock dei brevetti verdi. Queste variabili rappresentano il cambiamento tecnologico e sono utilizzate 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:

² (Popp, 2002; Popp et al., 2011 in Weina et al., 2014).

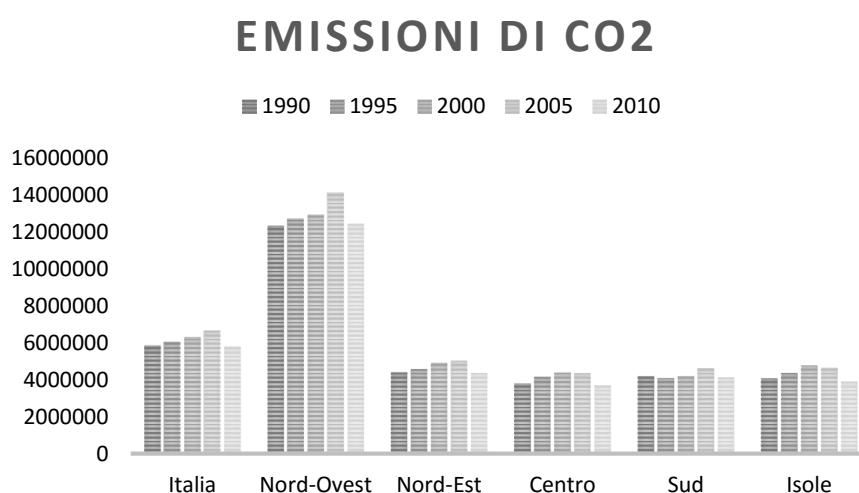
$$GreenSpill = \sum_{k=1, k \neq i}^N Green K Stock_{it} w_{ki}$$

Lo spillover è costituito dalla sommatoria dello stock degli eco-brevetti delle province circostanti. Essendo stato dimostrato che gli effetti di spillover si diffondono solamente entro i 300 chilometri dall'origine (Bottazzi e Peri, 2003) e 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.

4 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. È proprio in quest'anno che, nel ventennio considerato, le emissioni di diossido di carbonio sono minori in tutte le aree ad eccezione del Sud, in cui il livello minimo osservato di emissioni di CO₂ è nel 1995. Tuttavia i livelli minori di emissioni di CO₂ del 2010 possono essere spiegati non da un miglioramento delle performance ambientali bensì dalla crisi economica che ha colpito il Paese.

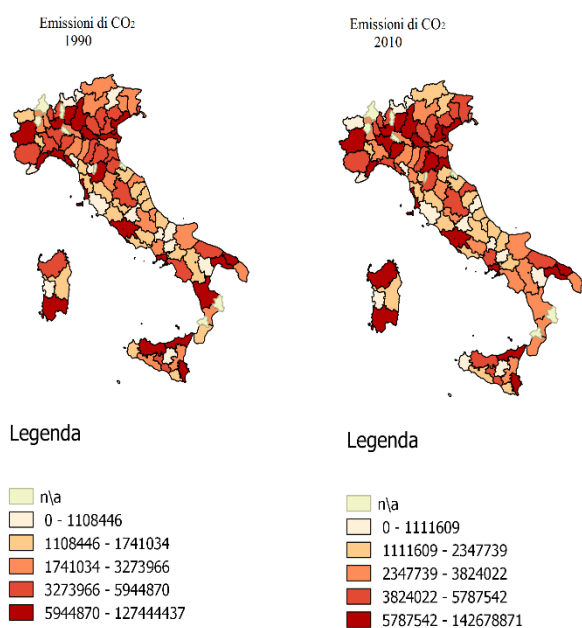
Figura 1 – Emissioni di CO₂ (Mg)



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 la media e la mediana, il che può indicare la presenza di poche province responsabili di livelli molto elevati di emissioni di CO₂. È la Provincia di Torino a detenere nel 2005 il valore massimo di questo tipo di emissioni nell'intero territorio nazionale, mentre la Provincia di Venezia registra il valore massimo delle emissioni di CO₂ al Nord-Est. Le

emissioni della Provincia di Sondrio nel 2010 (che rappresentano il valore minimo di emissioni ottenuto al Nord-Ovest) sono minori del livello di emissioni minimo nel Nord-Est, ottenuto dalla Provincia di 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 la nazionale. Al Nord-Est, la mediana non si allontana molto dalla media, indicando una distribuzione delle emissioni di CO₂ omogenea. La Provincia di Roma registra nel 2000 il massimo delle emissioni di CO₂ al Centro, 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 nel 2000 le 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. Le province appartenenti al Centro Italia mostrano in generale la media più bassa rispetto alle altre zone.

Figura 2 – Distribuzione geografica delle emissioni di CO₂



Nel periodo considerato diverse province riescono a diminuire sostanzialmente le proprie emissioni di CO₂: al Nord-Ovest la Provincia di La Spezia e la Provincia di Genova registrano una variazione negativa rispettivamente pari al 52% ed al 49%; la Provincia di Rovigo nel Nord-Est riduce le proprie emissioni del 75%; Ascoli Piceno è 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 emissioni del 58% mentre nelle Isole è la Provincia di Palermo che ottiene un risultato migliore rispetto alle province della stessa area, con una variazione negativa del 35%. La provincia che sull'intero territorio nazionale registra la variazione positiva più elevata di emissioni di CO₂ (pari al 238%) è 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 come l'Emilia-Romagna in cui sono elevati i distretti industriali e le imprese si localizzano in prossimità l'una dell'altra. Il Centro è la zona relativamente più "pulita", difatti la media delle emissioni di CO₂ in questa area è minore rispetto alle altre zone.

Tabella 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

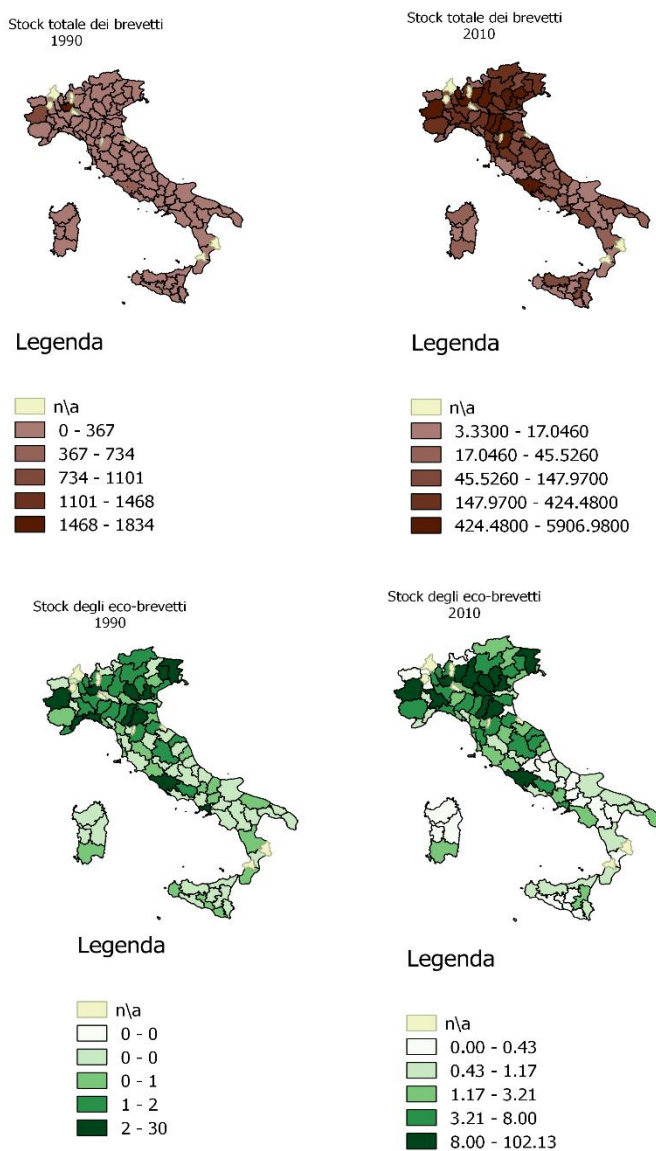
Analizzando lo stock totale dei brevetti, che include sia brevetti di tipo *green* che di tipo *brown*, si nota che il Nord-Ovest ed il Nord-Est eccedono la media nazionale in tutti gli anni del periodo considerato mentre Centro, Sud ed Isole presentano medie inferiori alla nazionale. Le mediane sono sostanzialmente inferiori rispetto alle medie, indicando la presenza di poche province più innovative. La Provincia di Milano registra nel 2010 il livello più elevato dello stock totale dei brevetti. Al Nord-Est è la Provincia di Bologna a detenere lo stock maggiore di brevetti totali mentre al Centro la Provincia di Roma mostra lo stock più elevato. Lo stock totale dei brevetti più elevato al Sud e nelle Isole è riscontrato rispettivamente nella Provincia di Napoli e nella Provincia di Palermo. I risultati sono simili quando si considera lo stock dei soli 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 questo tipo di brevetti. Le province meno coinvolte nell'innovazione ambientale sono la Provincia di Agrigento, la Provincia di Enna e la Provincia di Sassari nelle Isole, 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 la Provincia 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 nessuna provincia mantiene lo stock degli eco-brevetti pari a 0 in tutti gli 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 stock, con livelli maggiori al Nord rispetto al Sud. Sia nel 1990 che nel 2010 le province al Nord Italia prevalgono per quanto riguarda lo stock di brevetti verdi rispetto al Centro, Sud ed Isole e questo divario sembra aggravarsi nell'anno più recente.

Tabella 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	Massimo	Minimo	Media	Mediana	Massimo	Minimo
Italia	153.3781	34.54403	5906.982	0	3.12485588	0.845134	102.1265	0
Nord-Ovest	381.6264	92.47092	5906.982	3.314099	7.10371584	2.108276	102.1265	0
Nord-Est	205.6422	104.7942	1554.201	6.665946	4.08620079	2.183741	28.48323	0
Centro	98.87065	36.67955	1026.169	0.221199	2.66074547	1.005699	40.28503	0
Sud	20.60903	11.50331	147.9355	0.501411	0.53101074	0.316298	3.516269	0
Isole	16.13102	4.542528	93.0071	0	0.35466465	0.234143	1.59268	0

Testando se esiste correlazione di Pearson fra lo stock dei brevetti verdi di una provincia e la variabile da noi costruita per rappresentare gli spillover, si ottiene un coefficiente pari a 0.2810. Tuttavia questo tipo di correlazione è molto sensibile ai valori *outlier*. Utilizzando dunque la correlazione di Spearman, otteniamo un coefficiente pari a 0.6077, che indica una correlazione forte. Interpretiamo questo risultato come conferma dell'esistenza di spillover di conoscenza a livello provinciale in Italia: la prossimità geografica fra imprese che effettuano innovazione ambientale incentiva l'adozione di EI, in linea coi risultati ottenuti da Antonioli et al. (2016).

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



5 Conclusioni

L'attenzione rivolta a ridurre l'impatto ambientale dell'attività umana ha portato gli accademici a studiarne le cause. Nella seconda sezione di questo elaborato abbiamo rivisto la letteratura in merito all'equazione IPAT, in cui il prodotto fra popolazione (P), affluenza (A) e tecnologia (T) è visto come determinante dell'impatto (I) ambientale. Soffermandoci sulla T dell'equazione IPAT, abbiamo raccolto la letteratura in merito alle eco-innovazioni, alle sue determinanti ed ai suoi effetti economici ed ambientali. Abbiamo inoltre dato luce al ruolo giocato dagli effetti di spillover di conoscenza nel promuovere l'adozione di eco-innovazione. Utilizzando un 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. Fatta eccezione per i valori inferiori del 2010 (attribuibili alla crisi economica) l'andamento delle emissioni di CO₂ è crescente. Il Nord-Ovest è responsabile delle maggiori emissioni di CO₂, come evidenziato anche dalla Figura 2, e la Provincia di Torino mostra il valore

massimo nell'intero campione. Il valore minimo è attribuito alla Provincia di Isernia nel 1995;

questa provincia vede nel ventennio considerato la crescita maggiore delle emissioni di CO₂, con una variazione pari al 238%. Per analizzare il cambiamento tecnologico avvenuto nel periodo fra il 1990 ed il 2010, abbiamo utilizzato 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 concentrazione dello stock dei brevetti verdi maggiore al Nord. Abbiamo inoltre trovato evidenza di correlazione positiva fra lo stock dei brevetti verdi e la variabile costruita per includere gli effetti di spillover di conoscenza nell'analisi. Abbiamo suggerito che l'EI di una provincia sia influenzata dall'attività di eco-innovazione delle province entro i 300 chilometri di distanza.

Bibliografia

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.
- 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., Lavoro, N. D. I., Eni, F., & Mattei, E. (2006). Examining the Factors Influencing Environmental Innovations. *Fondazione Eni Enrico Mattei*, 20(I), 1–32. <http://doi.org/10.2139/ssrn.879721>
- 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.
- 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 <http://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. <http://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)