

# EMISSIONI DI CO<sub>2</sub> NEI PAESI EUROPEI: UN'ANALISI EMPIRICA SULLA CONVERGENZA TRA SETTORI MANIFATTURIERI

Giovanni Morleo; Massimiliano Mazzanti; Marianna Gilli

## Abstract

Il presente lavoro si concentra sulle emissioni di anidride carbonica da parte dell'industria manifatturiera europea. Nello specifico, l'obiettivo è testare la presenza di convergenza nelle emissioni di CO<sub>2</sub> di 14 settori manifatturieri dei Paesi dell'Unione Europea nel periodo 1995-2009. In particolare, al centro dell'analisi vi è il concetto di produttività ambientale, calcolata come il rapporto tra valore aggiunto e emissioni di anidride carbonica in ogni settore industriale a partire dalla banca dati WIOD.

La prima parte del paper riguarda la verifica dell'esistenza di eventuali pattern di  $\beta$ -convergenza assoluta. Secondo una tecnica già ampiamente usata in letteratura per lo studio della convergenza dei redditi, si verifica l'esistenza di una relazione negativa tra i livelli iniziali di produttività ambientale e i tassi di crescita medi annui dal 1995 al 2009. Per quanto riguarda la convergenza condizionale, alla regressione base sono aggiunte altre due variabili settoriali, legate alla dimensione del commercio e a quella della tecnologia, per evidenziarne gli effetti sul processo di convergenza nelle emissioni.

La seconda parte del paper passa all'analisi della cosiddetta  $\sigma$ -convergenza. In questo caso il focus è sulla variabilità della distribuzione della produttività ambientale.

I risultati ottenuti denotano l'esistenza di un certo grado di  $\beta$ -convergenza da parte dei paesi laggard, ovvero dei paesi dell'Unione meno avanzati tecnologicamente. Controllando per le variabili supplementari, è confermato il ruolo positivo degli scambi commerciali e dell'innovazione tecnologica dal punto di vista della produttività ambientale. In generale, non è possibile parlare anche di convergenza sigma, dato che la variabilità tende ad aumentare in quasi tutti i settori industriali presi in considerazione.

## 1 Introduzione

Negli ultimi decenni si è fatto sempre più forte l'interesse delle istituzioni e dell'opinione pubblica per i temi legati alle condizioni dell'ambiente, messo sempre più a dura prova dai comportamenti umani che ne alterano l'equilibrio. In questo senso la comunità scientifica ormai periodicamente sottolinea la necessità di limitare la crescita della temperatura globale al di sotto dei 2 °C rispetto al periodo preindustriale, per evitare che i mutamenti climatici siano causa di disastri ambientali sempre più gravi e frequenti. La 21<sup>a</sup> Conferenza delle Parti (COP 21) della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) tenutasi a Parigi alla fine del 2015 ha prodotto il più recente accordo internazionale relativo alle questioni ambientali. Tra i risultati principali del vertice vi è l'accordo tra i 196 paesi partecipanti volto a limitare il surriscaldamento globale «ben al di sotto» dei 2 °C (UNFCCC, 2015; Robbins, 2016).<sup>1</sup>

Oltre a essere una questione al centro di discussioni politiche, l'inquinamento e la relazione esistente con attività umane come la produzione di beni e la fornitura di servizi sono diventati uno degli argomenti principali anche dei dibattiti di natura scientifica ed economica.

Diversi sono i contributi di tipo teorico, metodologico e empirico che nella letteratura economica fanno riferimento ai temi legati all'ambiente. A questo proposito, solo per citarne alcuni, ricordiamo la relazione tra reddito pro capite e emissioni pro capite e la teoria delle cosiddette curve di Kuznets ambientali (per una rassegna a riguardo si veda Dinda, 2004); lo studio delle determinanti dell'inquinamento a livello delle imprese (fattori produttivi, dimensione, efficienza, innovazione tecnologica, normativa ambientale; un esempio a questo riguardo è il lavoro di Cole et al., 2015); l'analisi del ruolo delle politiche pubbliche e degli interventi migliori per contrastare l'inquinamento (con differenti tipologie di misure, dalle imposte ambientali pigouviane agli Emission Trading Scheme); la ricerca di pattern di convergenza nelle emissioni prodotte dai diversi paesi. Proprio su quest'ultimo argomento si concentra questo lavoro.

---

<sup>1</sup> L'accordo finale prevede inoltre l'utilizzo da parte di tutti i paesi di un unico sistema di misurazione e verifica delle emissioni e incontri periodici (ogni 5 anni per la precisione) per valutare i progressi compiuti e formulare nuovi obiettivi. In aggiunta, sono previste forme di supporto per i paesi in via di sviluppo per facilitarne il passaggio a energie pulite e il trasferimento da parte delle economie avanzate di 100 miliardi di dollari all'anno entro il 2020. I giudizi sull'accordo rimangono comunque contrastanti, avendo molti esperti criticato l'assenza di standard realmente vincolanti, vista la facoltà lasciata ad ogni paese di autodeterminare l'ammontare della riduzione nelle emissioni nocive da raggiungere (Robbins, 2016).

L'idea della convergenza trova spazio nella letteratura economica dapprima con riguardo alle disparità economiche tra paesi (Barro e Sala-i-Martin, 1991, sono stati tra i primi a studiare l'argomento). L'obiettivo degli studiosi impegnati su questo fronte è infatti indagare l'esistenza di percorsi di convergenza dei redditi pro capite dei paesi più poveri verso i livelli delle economie avanzate (un processo conosciuto come *catch up*). Il concetto di convergenza nell'ambito dell'economia ambientale è sostanzialmente lo stesso, posto che l'analisi si concentra su variabili legate a indicatori ambientali piuttosto che su variabili riguardanti reddito e ricchezza.

In particolare, ciò che proponiamo è uno studio sulla convergenza delle performance ambientali dei 27 paesi appartenenti all'Unione Europea (della formazione attuale è esclusa dall'analisi la Croazia), usando i dati del database WIOD per il periodo compreso tra il 1995 e il 2009 e facendo particolare riferimento alla metodologia utilizzata da Rodrik (2013).

Il tema della convergenza a livello internazionale delle performance ambientali è rilevante anche da una prospettiva politica, come sottolineato da Aldy (2006). Nelle negoziazioni riguardanti accordi sul clima, infatti, i paesi in via di sviluppo sarebbero tanto più disposti ad accettare impegni vincolanti sull'abbattimento delle emissioni quanto più è probabile che nel tempo le loro emissioni tendano a convergere verso lo stesso livello dei paesi industrializzati. Da questo dipende anche la possibilità che per definire l'ammontare della riduzione delle emissioni per ciascun paese venga adottato un sistema che tenga conto anche della popolazione e non solo del livello di sviluppo economico raggiunto, come accaduto finora.

In letteratura esistono numerosi contributi relativi allo studio della distribuzione geografica delle emissioni nel mondo attraverso l'utilizzo di diverse metodologie. Come già precisato, nel nostro caso ci dedichiamo all'esame dei paesi appartenenti all'Unione Europea, che nel suo insieme rappresenta il terzo inquinatore mondiale dopo Cina e Stati Uniti, con emissioni di gas serra pari a 4477 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> nel 2013 secondo l'Agenzia europea dell'ambiente (EEA, 2015). Le emissioni totali, peraltro in costante diminuzione sin dagli anni '90, provengono principalmente da Germania, Regno Unito, Francia, Italia e Polonia che insieme rappresentano il 63,5% delle emissioni europee. Quanto alle sostanze inquinanti, l'anidride carbonica è il primo gas serra per emissioni

(3650 milioni di tonnellate) e su questa ci concentreremo; seguono metano (CH<sub>4</sub>), protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) e gli idrofluorocarburi (HFC).

Come in Rodrik (2013), anche nel nostro lavoro il focus è specificamente sui settori manifatturieri, piuttosto che su valori relativi al sistema economico nel suo insieme o su valori pro capite.

Secondo l'Agazia europea dell'ambiente (EEA, 2015), le emissioni che riguardano le attività industriali sono pari a 360 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> nel 2013, rappresentando quindi solo l'8% delle emissioni totali.<sup>2</sup> Per di più, in termini di valore aggiunto e occupazione la manifattura europea sta gradualmente cedendo il passo al settore dei servizi. Nonostante ciò, la scelta di focalizzarci sulla manifattura è dovuta al fondamentale ruolo che i settori manifatturieri possono avere nel raggiungere obiettivi di abbattimento delle emissioni, come spiegato dalla stessa Agenzia (EEA, 2014). Questo perché, sebbene il settore dei servizi sia meno problematico dal punto di vista delle emissioni inquinanti rispetto ai settori manifatturieri, questi ultimi presentano performance migliori in termini dinamici, essendo più inclini a eco-innovazioni e miglioramenti dell'efficienza e quindi più capaci di ridurre le proprie emissioni nel tempo. L'abbattimento delle emissioni nei settori manifatturieri può quindi contribuire in misura rilevante alla riduzione totale delle emissioni di tutta l'economia (EEA, 2014). In secondo luogo, il processo di terziarizzazione non impedisce alla manifattura di continuare a essere basilare per lo sviluppo futuro dell'economia dell'Unione Europea, anche a prescindere da valutazioni di natura ecologica. A questo proposito, la stessa Commissione Europea (2014) ha affermato la necessità di definire politiche industriali adeguate a una *industrial renaissance* nel continente, stabilendo obiettivi come il raggiungimento del 20% del PIL generato nell'industria entro il 2020.

Il resto del lavoro è organizzato nel modo seguente: il paragrafo 2 presenta una rassegna sintetica della letteratura riguardante la convergenza dal punto di vista ambientale; nel paragrafo 3 sono contenute tutte le informazioni riguardanti la metodologia e nel paragrafo 4 quelle riguardanti i dati utilizzati; il paragrafo 5 include la presentazione e l'interpretazione dei risultati dell'analisi; nel paragrafo 6 trovano spazio alcune considerazioni conclusive.

---

<sup>2</sup> Le attività più inquinanti a livello europeo sono la produzione di energia (3524 milioni di tonnellate) e l'agricoltura (441 milioni di tonnellate).

## 2 Review della letteratura

Passando in rassegna la vasta letteratura che negli anni è stata prodotta, appare evidente come non esista unanimità da parte degli studiosi circa alcuni aspetti fondamentali relativi alle emissioni inquinanti, quali ad esempio il loro andamento e le loro determinanti.

A partire dagli anni '90, un gran numero di studi si è focalizzato sull'andamento delle emissioni, alla ricerca di possibili trend di convergenza. Diverse sono le tecniche di analisi impiegate e i lavori presentano evidenze empiriche contrastanti. In linea di massima è possibile distinguere la convergenza  $\beta$ , la convergenza  $\sigma$  e la cosiddetta *stochastic convergence*.<sup>3</sup>

La convergenza di tipo  $\beta$  si ha quando i paesi con un livello iniziale di emissioni più basso sperimentano tassi di crescita delle emissioni stesse più alti (Islam, 2003).

Per quanto riguarda gli studi sulla  $\beta$ -convergenza delle emissioni, Strazicich e List (2003) individuano l'esistenza di convergenza tra le emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> di 21 paesi industrializzati nel periodo che va dagli anni Sessanta alla fine degli anni Novanta. Dallo studio emerge inoltre la rilevanza di variabili come i prezzi dei carburanti e le temperature medie durante l'anno nel determinare i percorsi di convergenza. La convergenza di tipo  $\beta$  rappresenta uno dei punti fondamentali anche dell'analisi di Stegman e McKibbin (2005), i quali rintracciano una debole forma di convergenza assoluta tra 91 paesi non appartenenti all'OCSE nel periodo 1950-2000. Infine, solo 7 dei 21 paesi OCSE presi in considerazione da Lee e Chang (2008) mostrano nel periodo dal 1960 al 2000 convergenza  $\beta$  nelle emissioni.

La convergenza di tipo  $\sigma$  è individuata esaminando l'andamento delle misure di dispersione (deviazione standard) della distribuzione dei redditi nel tempo: se l'andamento di questi indici è decrescenti, di può parlare di convergenza (Islam, 2003).

La metodologia proposta da Aldy (2006) si basa sul concetto di convergenza di tipo  $\sigma$ . Prendendo in esame un campione comprendente 88 paesi, l'ipotesi di convergenza in questo caso non può essere accettata, se non nei confronti del sottocampione composto dai paesi dell'OCSE.

Panopoulou e Pantelidis (2009) si concentrano sulla ricerca di  $\sigma$ -convergenza nelle emissioni pro capite di un campione formato da 128 paesi nel periodo 1960-2003. I

---

<sup>3</sup> Una panoramica completa sui diversi concetti di convergenza e sulle relative tecniche di analisi è presente in Islam (2003).

risultati indicano la non esistenza di convergenza assoluta nel campione complessivo. Utilizzando la metodologia sviluppata da Phillips e Sul (2007), tuttavia, riescono a identificare 4 gruppi di paesi tra loro convergenti (i cosiddetti *club di convergenza*). I livelli di emissioni di tre di questi club (quelli con i più alti valori iniziali di CO<sub>2</sub> pro capite) a loro volta tendono a convergere, seppur più lentamente. Raggruppando, poi, paesi che condividono certe caratteristiche economiche o che sono vicini geograficamente, appaiono chiaramente ulteriori trend di convergenza. In particolare, esiste convergenza per i 13 paesi aderenti alla moneta unica europea, per i paesi industrializzati facenti parte dell'OCSE e per i *middle-income countries* (anche se in quest'ultimo caso la convergenza è più lenta). Nessuna convergenza sembra esserci invece nei sottocampioni dei paesi a basso reddito, dei paesi aderenti all'OPEC e delle economie in transizione. Per quanto concerne le aree geografiche, vi è forte convergenza all'interno dell'area del Medio Oriente e Nord Africa, dell'area dell'Asia Orientale e Pacifico e dell'area dell'America Latina e Caraibi; non sembra esistere alcuna convergenza per le restanti aree geografiche (Europa, Asia Meridionale, Africa Subsahariana).

L'idea dei club di convergenza è presente anche nei lavori di Herrerias (2013). L'autore utilizza dati relativi alle emissioni pro capite tra il 1980 e il 2009, distinte sulla base della fonte energetica da cui provengono: i dati riguardano le emissioni da petrolio di 162 paesi, quelle da carbone di 72 paesi e quelle da gas naturale di 58 paesi. Per le emissioni da petrolio sono individuati 4 club di convergenza e 24 paesi non convergenti; i club convergenti sono 7 per le emissioni da gas, affiancati da 20 paesi non convergenti; infine, 9 sono i club di convergenza per le emissioni da petrolio, mentre non vi è convergenza per 9 altri paesi.

Altra nozione di convergenza è di *stochastic convergence*, che di recente ha conosciuto un'ampia diffusione nel mondo accademico. In particolare, come spiegato da Panopoulou e Pantelidis (2009), esiste convergenza stocastica delle emissioni se gli shock nelle emissioni pro capite espresse in relazione alla media sono temporanei e il trend è quindi stazionario.

Utilizzando altri dati relativi ai paesi industrializzati, Westerlund e Basher (2007) e Romero-Avila (2008) concludono che vi sia *stochastic convergence*. I già citati Lee e Chang (2008) individuano convergenza stocastica per 7 delle 21 economie avanzate

considerate. Di diverso avviso sono i risultati ottenuti da Barassi et al. (2007) che, studiando le emissioni da combustibili fossili di 21 paesi nel periodo 1950-2002, affermano la non esistenza di pattern di convergenza stocastica, essendo gli shock nelle emissioni permanenti.

Come affermato in precedenza, un altro importante filone di ricerca riguardante le emissioni inquinanti è quello relativo alla ricerca delle determinanti delle emissioni stesse.

Tra gli altri, Cole et al. (2005) studiano le determinanti di sei inquinanti dell'aria, tra cui la CO<sub>2</sub>, prendendo in considerazione la manifattura inglese. Il modello elaborato dagli autori parte dalla definizione di una domanda di inquinamento da parte della struttura industriale, composta da sei variabili (l'utilizzo di energia, l'intensità dei fattori produttivi, la dimensione delle imprese, l'efficienza produttiva, la modernità dei processi produttivi e l'innovazione), e di un'offerta di inquinamento da parte della comunità.<sup>4</sup> In equilibrio, i risultati indicano che gli effetti sulle emissioni dell'utilizzo di energia e dell'intensità di capitale umano sono positivi e significativi per tutti gli inquinanti considerati, così come ad una maggiore intensità di capitale fisico corrisponde un aumento della quantità di emissioni per gran parte degli inquinanti. In generale quindi, processi più complessi comportano una maggiore pressione ambientale. Variabili come la dimensione delle imprese, la produttività e le spese in ricerca e sviluppo (come proxy per l'innovazione) hanno effetti negativi sulle emissioni, alleviando quindi gli effetti delle attività produttive sull'ambiente.

---

<sup>4</sup> In particolare gli autori ipotizzano che un aumento nell'utilizzo dell'energia porti ad un aumento della domanda di inquinamento. Per quanto riguarda l'intensità dei fattori produttivi, è necessario distinguere tra settori capital-intensive, i quali presentano costi di abbattimento delle emissioni più elevati e quindi una maggiore domanda di inquinamento, e settori ad alta intensità di capitale umano, il cui ruolo è ambiguo. I processi intensivi di capitale umano, infatti, potrebbero da un lato essere più complessi e comportare quindi più inquinamento, e dall'altro essere caratterizzati da una maggiore efficienza, con effetti positivi dal punto di vista della pressione sull'ambiente. La dimensione delle imprese è rilevante dal punto di vista ambientale perché secondo gli autori, imprese più grandi beneficerebbero di economie di scala anche rispetto alle emissioni. In ultimo, una relazione inversa lega la domanda di inquinamento alle restanti tre variabili, innovazione, efficienza e modernità degli impianti.

Dal lato dell'offerta il focus è sulla regolamentazione, sia essa formale come *command and control regulations*, *pollution tax* e *tradable permits*, o informale ovvero azioni di lobbying e pressioni da parte della comunità a rispettare l'ambiente (Cole et al., 2005).

Anche il lavoro di Marin (2012) si concentra sull'inquinamento derivante da diverse fonti<sup>5</sup> e analizza nel dettaglio in che modo la diffusione della tecnologia da paesi avanzati a paesi *laggard* influenzi l'andamento delle emissioni. Il focus dell'autore è su 23 settori manifatturieri di 13 paesi europei, per un periodo che va dal 1996 al 2007. I dati indicano l'esistenza di un flusso di tecnologia dai paesi che sono sulla frontiera tecnologica verso i paesi arretrati, con effetti positivi dal punto di vista dell'impatto ambientale di tutti gli inquinanti, ad eccezione dei NMVOC.

Diversi studi hanno utilizzato il modello STIRPAT per indagare i driver delle emissioni a livello di paesi. Nell'ambito del modello STIRPAT utilizzato da York et al. (2003), la popolazione rappresenta una determinante rilevante delle emissioni, assieme alla quota di valore aggiunto prodotta nella manifattura, al PIL pro capite e alla latitudine del paese considerato. Martinez-Zarzoso et al. (2007) si concentrano sui paesi dell'Unione Europea, ottenendo risultati simili: PIL pro capite e popolazione sono i driver principali delle emissioni, e ciò vale in particolare per i nuovi membri dell'Unione.

Infine, Ezcurra (2007) analizza il ruolo della popolazione, ancora significativa assieme alla temperatura media. Per individuare gli effetti del commercio sulle emissioni poi, l'autore confronta la distribuzione assoluta delle emissioni pro capite con la distribuzione delle stesse emissioni condizionata al grado di apertura al commercio internazionale. I risultati mostrano che il grado di apertura al commercio non ha effetti rilevanti sull'andamento delle emissioni inquinanti, in quanto la forma delle due distribuzioni è simile.

### **3 Metodologia**

La metodologia di base utilizzata nel presente lavoro è ripresa dallo studio di Rodrik (2013), il quale si focalizza sulla convergenza in termini di produttività del lavoro a livello settoriale. Nel nostro caso è interessante analizzare cosa accade a livello di "produttività ambientale". In altri termini, definiamo un indice di produttività ambientale (*Environmental Productivity*) analogo a quello utilizzato da Repetto (1990) e Marin (2012):

---

<sup>5</sup> Vale a dire diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), composti organici volatili non metanici (NMVOC) e ossido di carbonio (CO).

$$EP_{c,i,t} = \frac{VA_{c,i,t}}{CO_{2c,i,t}}$$

dove  $VA_{c,i,t}$  indica il valore aggiunto nell' $i$ -esimo settore del paese  $c$  nel periodo  $t$ ,  $CO_{2c,i,t}$  indica le emissioni e  $EP_{c,i,t}$  rappresenta l'indice di produttività ambientale, in termini di valore aggiunto per unità di emissioni. Oltre all'indice di produttività ambientale in termini di livello, è necessario calcolare il tasso annuo di crescita composto (*compound annual growth rate*) relativo all'intera serie storica, ovvero il tasso medio di crescita dal 1995 al 2009:

$$CAGR_{c,i} = \left( \frac{EP_{c,i,2009}}{EP_{c,i,1995}} \right)^{1/2009-1995} - 1$$

In particolare, nello studio della convergenza di tipo  $\beta$  si fa uso di un modello lineare-logaritmico; quindi l'equazione da stimare è:

$$CAGR_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + \varepsilon_{c,i}$$

In questo modello, per l'interpretazione del coefficiente di regressione si fa riferimento ad una variazione dell'1% nella produttività ambientale, alla quale corrisponde una variazione pari allo  $0,01\beta$  nel tasso di crescita.

L'ipotesi da verificare è che il coefficiente  $\beta$  sia negativo e statisticamente significativo, ad indicare una chiara relazione inversa tra il logaritmo del livello iniziale di produttività ambientale,  $\log(EP_{c,i,1995})$ , e il tasso medio di crescita annuale,  $CAGR_{c,i}$ . Il processo di convergenza posto in questi termini indica una convergenza di tipo *assoluto*. Infatti, non si prendono in considerazione fattori specifici dei paesi o dei singoli settori industriali che possono avere un qualche effetto sull'andamento delle emissioni, quali ad esempio politiche attive del soggetto pubblico e l'apertura o meno al commercio internazionale. Quindi, il passo successivo nell'analisi è introdurre questo tipo di aspetti. In questo senso, qualora le stime econometriche tengano in conto effetti fissi specifici relativi al paese o al settore si parla di *convergenza condizionale*. Le stime sono in questo caso condotte introducendo nell'equazione gli effetti fissi relativi al paese e/o al settore:

$$CAGR_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + D_{c,i} + \varepsilon_{c,i}$$

dove  $D_{c,i}$  è la variabile dummy. In questo caso il valore assunto da  $\beta$  indica il coefficiente di convergenza condizionale, ovvero il coefficiente ottenuto controllando per gli effetti fissi.

Sul modello base sono condotti alcuni test di robustezza, prendendo in considerazione diversi sottocampioni. In primo luogo i paesi sono distinti sulla base dell'appartenenza o meno al nucleo dell'Unione Europea a 15, prima dell'allargamento verso Est dei primi anni 2000. In seguito, si considerano il sottocampione dei paesi che condividono l'utilizzo della moneta unica e quello dei paesi che al contrario mantengono ancora la propria valuta. Quindi la regressione è condotta considerando solo i paesi con i tassi di crescita della produttività ambientale ( $CAGR$ ) all'interno del relativo range interquartile e, in ultimo, distinguendo i paesi rispettivamente con alta e bassa produttività ambientale iniziale.

Se il modello base prende quindi in considerazione i tassi di crescita e i livelli iniziali della produttività ambientale, una seconda versione del modello prevede l'aggiunta di un secondo regressore come variabile di controllo.

La variabile in questione è il commercio settoriale, inteso in termini di crescita media dal 1995 al 2009 dei flussi commerciali totali ( $TRADE_{c,i}$ ). In altre parole la dimensione del commercio è introdotta all'interno del modello tramite i tassi di crescita medi composti dal 1995 al 2009 del totale di importazioni ed esportazioni a livello settoriale:

$$TRADE_{c,i} = \left( \frac{(Exp + Imp)_{c,i,2009}}{(Exp + Imp)_{c,i,1995}} \right)^{1/2009-1995} - 1$$

L'aggiunta del secondo regressore avviene all'interno del modello che contempla anche gli affetti fissi settoriali e di paese:

$$CAGR_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + \gamma TRADE_{c,i} + D_{c,i} + \varepsilon_{c,i}$$

Gli effetti del commercio sulle emissioni inquinanti sono oggetto di diversi studi empirici, come visto in precedenza. L'importanza di questa variabile a livello di emissioni di CO<sub>2</sub> è data dal fatto che attraverso il commercio i settori trasferiscono implicitamente anche tecnologia. Ciò che ipotizziamo è quindi che la relazione tra la crescita della produttività ambientale e la crescita dei flussi commerciali settoriali sia positiva. In altre parole ci aspettiamo che il coefficiente  $\gamma$  sia positivo e statisticamente significativo.

Un'ulteriore versione del modello che prendiamo in considerazione è caratterizzata dalla presenza di un regressore che fa riferimento all'aspetto tecnologico. In particolare, la tecnologia è introdotta nel modello attraverso la variabile della crescita dello stock di brevetti tra il 1995 e il 2009,<sup>6</sup> in ogni settore industriale  $i$  di ogni paese  $c$  considerato:

$$CAGR_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + \gamma TRADE_{c,i} + \delta TECH_{c,i} + D_{c,i} + \varepsilon_{c,i}$$

In modo analogo a quanto visto per la variabile commercio, anche per la tecnologia ci aspettiamo una relazione positiva con i tassi di crescita della produttività ambientale, quindi un valore del coefficiente  $\delta$  positivo. Ciò starebbe ad indicare che una maggiore crescita dello stock di brevetti corrisponderebbero migliori tassi di crescita della produttività ambientale, avendo l'avanzamento tecnologico effetti benefici sul valore aggiunto a parità di emissioni inquinanti.

Infine, l'ultima estensione del modello prevede l'introduzione di una variabile dummy relativa alla copertura o meno dei singoli settori da parte dell'Emission Trading Scheme dell'Unione Europea.<sup>7</sup> Nello specifico:

$$CAGR_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + \gamma TRADE_{c,i} + \delta TECH_{c,i} + \theta ETS_i + \varepsilon_{c,i}$$

La variabile  $ETS_i$  assume valore pari a 0 se il settore non è interessato dal sistema delle quote di emissione; assume valore pari a 1 se l'applicazione del sistema è prevista nel settore in questione.

In ultimo, oltre alla convergenza  $\beta$ , è interessante esaminare cosa accade a livello di convergenza  $\sigma$ , ovvero osservare l'andamento della variabilità nella distribuzione della produttività ambientale nel tempo. L'indicatore scelto per questo tipo di analisi è il coefficiente di variazione.<sup>8</sup> In questo caso, la presenza di un andamento decrescente indica una sempre minore variabilità, quindi una maggiore concentrazione di valori attorno alla media e, in definitiva, un processo di convergenza (Stegman e McKibbin, 2005; Aldy, 2006).

---

<sup>6</sup> L'appendice A contiene i dettagli circa la costruzione del dataset relativo ai brevetti.

<sup>7</sup> L'ETS è stato introdotto nell'Unione Europea nel 2005 ed è arrivato a coprire attualmente attività come la produzione di energia, le raffinerie, la lavorazione di acciaio, ferro, alluminio, cemento, vetro, carta e alcune sostanze chimiche, oltre al settore dell'aviazione civile.

<sup>8</sup> Il coefficiente di variazione è un indice di dispersione definito come il rapporto tra la deviazione standard e la media della popolazione.

## 4 Dati

La Tabella 1 riassume alcune informazioni e statistiche descrittive (media e standard deviation) delle variabili utilizzate nel nostro studio.

I dati relativi alla produttività ambientale utilizzati nella nostra analisi di convergenza provengono dal database WIOD (World Input-Output Database). Una descrizione dettagliata della costruzione del database è presente in Dietzenbacher et al. (2013). Le unità osservate sono in totale 40, comprendendo i 27 paesi membri dell'Unione Europea (dell'attuale composizione dell'UE, solo la Croazia non è presente nel database), altri 13 paesi (alcune tra le economie più importanti, tra cui ad esempio gli Stati Uniti, la Cina, il Giappone. A questi si aggiungono i dati aggregati relativi al resto del mondo. Per quanto riguarda questo studio, sono stati selezionati solo i dati relativi ai paesi facenti parte dell'UE.

Tabella 1.

Statistiche descrittive						
<i>Variabile</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Dev. std.</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Valore aggiunto	€	378	8075,04	18598,94	0	183979
Emissioni CO <sub>2</sub>	kiloton	374	3061,006	7225,334	0,05	65619,6
Produttività amb.	€/kiloton	374	75,797	871,1307	0,0015	16687,85
Δ prod. amb. 1995-2009	%	362	8,7414	13,34	-21,925	64,14
Δ flussi comm. 1995-2009	%	336	6,9546	4,586	-4,641	20,94
Δ patent stock 1995-2009	%	310	10,05	8,1462	-9,4261	67,91

Per ogni paese il database fa riferimento a 37 settori economici nel complesso. La classificazione delle attività economiche adottata è l'International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC Rev. 3), a due digit di dettaglio. Ad ogni modo, nel nostro studio sono presi in considerazione esclusivamente le attività manifatturiere, quindi i settori analizzati sono 14.<sup>9</sup> Nel complesso, quindi, il numero delle

<sup>9</sup> Nello specifico, i settori sono Alimentari e tabacco (ISIC 15-16), Tessile (17-18), Pelle e calzature (19), Legno (20), Carta e stampa (21-22), Petrolio e coke (23), Prodotti chimici (24), Gomma e plastica (25), Minerali non metalliferi (26), Metallurgia (27-28), Meccanica (29), Attrezzature elettriche e ottiche (30-33), Trasporti (34-35), Altri settori manifatturieri n.c.a. (36-37).

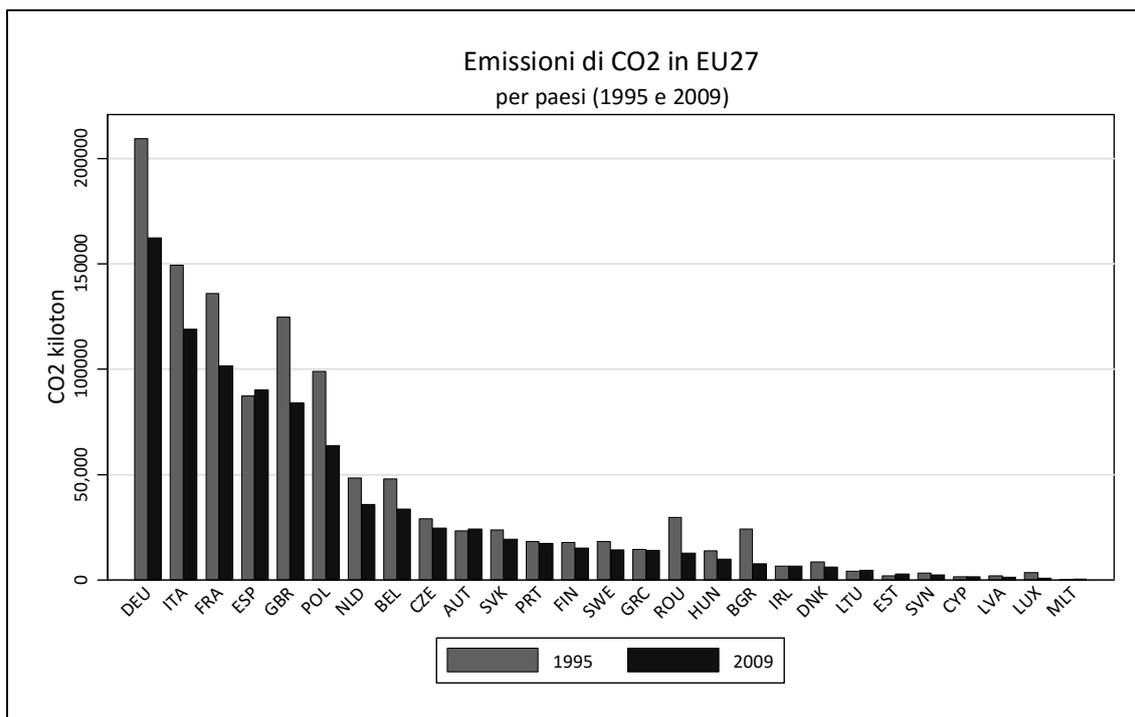


Figura 1. Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

osservazioni che compongono il database di riferimento per l'analisi è 378, ottenute partendo da un totale di 5670 osservazioni nel panel.

Le serie storiche relative ai diversi paesi sono nell'insieme complete. Tuttavia, esistono alcune lacune nel *data coverage*. Il paese più problematico dal punto di vista della completezza dei dati risulta essere il Lussemburgo. Infatti, per quest'ultimo le serie storiche sono complete esclusivamente in 4 industrie su 10 (ISIC 24: Prodotti chimici, 25: Gomma e plastica, 26: Minerali non metalliferi, 29: Meccanica). Per gli altri settori i dati sono del tutto mancanti, oppure non coprono interamente la serie storica.<sup>10</sup>

Come già visto nella parte relativa alla metodologia, tra tutti gli indicatori presenti nel database le due variabili di interesse sono il valore aggiunto e le emissioni di CO<sub>2</sub> a livello settoriale. Il valore aggiunto è espresso in milioni di dollari mentre le emissioni sono indicate in kilotonnellate (Tabella 1).

<sup>10</sup> Oltre al Lussemburgo, i dati mancano con riguardo alla Finlandia e ai Paesi Bassi nel settore "Pelle e calzature" (ISIC 19); lacune meno gravi fanno riferimento a singoli anni nelle serie storiche relative a Lettonia, Slovenia e Svezia.

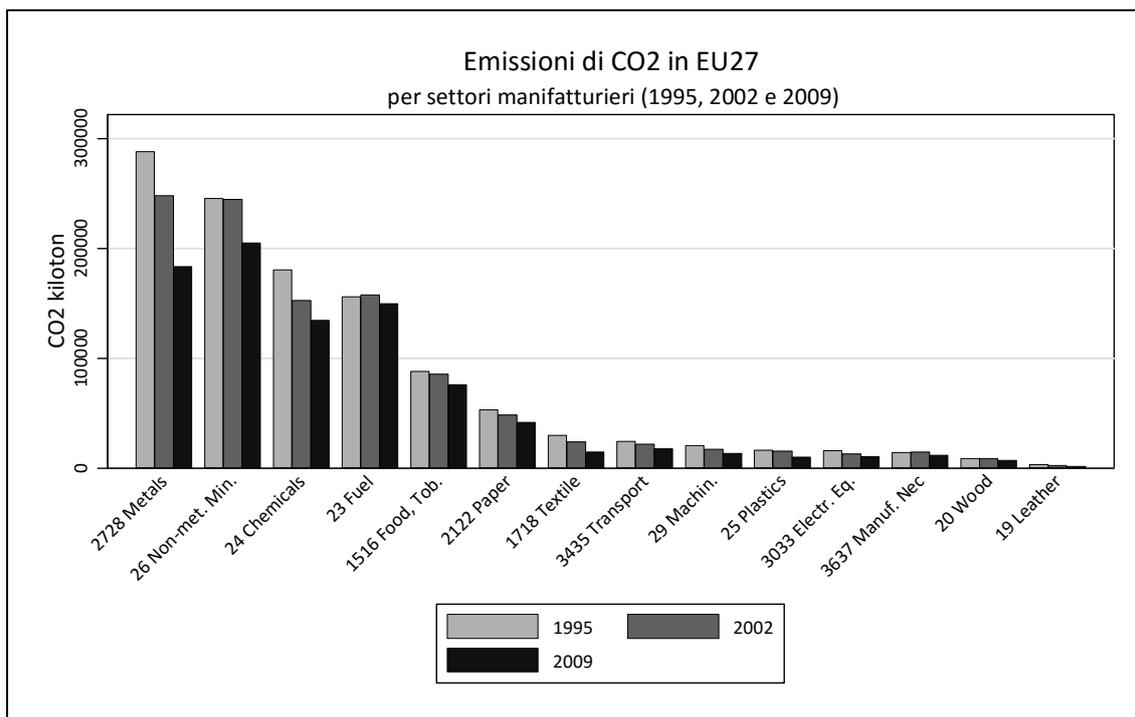


Figura 2. Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

Volendo effettuare un'analisi preliminare sui dati dal punto di vista descrittivo, possiamo fare riferimento alla Figura 1 e alla Figura 2, che mostrano l'andamento delle emissioni totali di CO<sub>2</sub> rispettivamente a livello di paesi e di settori manifatturieri.

Le performance dei paesi risultano alquanto eterogenee (Figura 1). Tra il 1995 e il 2009, le emissioni europee sono diminuite di circa il 23%, ovvero di 268 mila kiloton. Nello specifico, venti paesi in totale hanno visto le proprie emissioni diminuire. Cinque paesi (Germania, Italia, Francia, Regno Unito e Polonia) fanno registrare una diminuzione di 187 mila kiloton nel complesso, rappresentando il 70% della riduzione totale. Lussemburgo, Romania e Bulgaria presentano le riduzioni più rilevanti in termini relativi, tra il 57 e il 75,5% rispetto ai livelli del 1995. Tra i sette paesi con emissioni più alte rispetto all'inizio della serie storica spiccano Spagna (+3,4%) e Austria (+4,3%).

Nella Figura 2 è mostrato il livello delle emissioni a livello settoriale nel 1995, nel 2002 e nel 2009. Le attività più inquinanti in termini di anidride carbonica sono la lavorazione di minerali non metalliferi (come ceramica, vetro, cemento; ISIC 26), la metallurgia (ISIC 27-28), il raffinamento di carburanti (ISIC 23) e la produzione di sostanze chimiche e prodotti farmaceutici (ISIC 24). Ciononostante, tutti i settori manifatturieri mostrano una riduzione del loro impatto ambientale. In particolare i

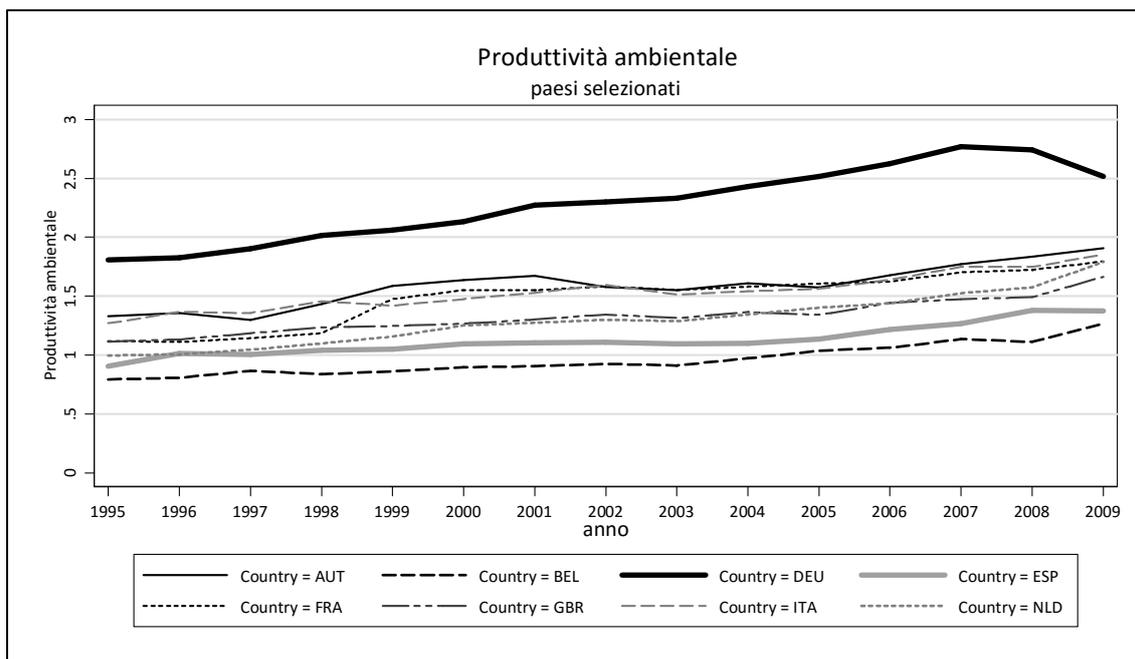


Figura 3. Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

risultati migliori in termini assoluti provengono dall'industria metallurgica (-104 mila kiloton), dal settore chimico e farmaceutico (-45 mila kiloton) e dalla lavorazione di minerali non metalliferi (-40 mila kiloton). Il settore relativo alla lavorazione della pelle (ISIC 19) e quello tessile (ISIC 17-18) presentano le riduzioni più consistenti in termini relativi, avendo più che dimezzato le proprie emissioni durante il periodo preso in esame. Nell'interpretazione di tutti questi risultati, tuttavia, va preso in considerazione l'andamento del valore aggiunto totale dei diversi settori. In effetti, almeno parte di queste diminuzioni nelle emissioni potrebbero essere dovute a una minore attività produttiva, a sua volta legata al processo di terziarizzazione dell'economia europea (con una sempre maggiore importanza dei servizi), a cui va aggiunta la recente crisi economica che ha ridimensionato i settori manifatturieri europei.

La Figura 3 mostra quindi l'andamento delle emissioni inquinanti in relazione al valore aggiunto del totale manifatturiero di otto paesi europei selezionati. Dalla figura si nota come l'evoluzione dell'indice sia simile tra i paesi. In particolare, la produttività ambientale presenta un continuo aumento, ad eccezione dell'ultimo periodo in cui mostra una flessione, soprattutto con riferimento alla manifattura tedesca. I livelli su cui si attesta al 2009 sono compresi tra 1 e 2,5 euro di valore aggiunto per ogni kilotonnellata di CO<sub>2</sub> emessa.

Per quanto riguarda i tassi di crescita medi dei flussi commerciali totali, i dati provengono dal database STAN dell'OCSE (OECD-STAN Bilateral Trade Database in Goods). La classificazione dei settori industriali utilizzata in questo database corrisponde a quella utilizzata nel database WIOD (ISIC Rev. 3). Con riferimento ai dati mancanti, tre dei 27 paesi considerati nel complesso (Bulgaria, Lussemburgo e Slovacchia) non presentano dati per nessuno dei 14 settori industriali. Nella parte dello studio relativa all'introduzione del commercio nella regressione si farà quindi riferimento a 330 osservazioni totali.

La dimensione relativa alla tecnologia è presa in considerazione attraverso i brevetti in ogni settore manifatturiero, quindi attraverso un concetto relativo all'output del processo innovativo. Più nello specifico, la variabile considerata fa riferimento ai tassi di crescita medi dello stock di brevetti in ogni settore manifatturiero dal 1977 al 2009. I dati elementari dai quali si è partiti provengono dal database OCSE e fanno riferimento al numero di "patent applications" annuali allo European Patent Office distinti sulla base del paese di residenza dell'inventore e della classe di patent (secondo la classificazione International Patent Classification). Per quanto riguarda la copertura dei dati, le osservazioni ottenute sono in totale 310, risentendo della mancanza dei dati relativi ai paesi dell'Est Europa (Estonia, Lettonia, Lituania, Romania e Slovacchia sono tra i paesi che hanno minor numero di dati). Una descrizione dettagliata del procedimento seguito per ottenere la variabile partendo dai dati sul numero di brevetti è presente nell'Appendice A.

## **5 Risultati**

La Tabella 2 riporta i risultati delle stime condotte secondo la metodologia introdotta in precedenza.

Ricordiamo che la regressione utilizzata è impostata in forma lineare-logaritmica e quindi ad una variazione dell'1% nella produttività ambientale corrisponde una variazione pari allo  $0,01\beta$  del tasso di crescita.

Il modello base di convergenza assoluta, che non considera quindi gli effetti fissi di paese o settore industriale, mostra un coefficiente di regressione pari a  $-0,026$ , che è statisticamente significativo (Figura 4 e Tabella 2a).

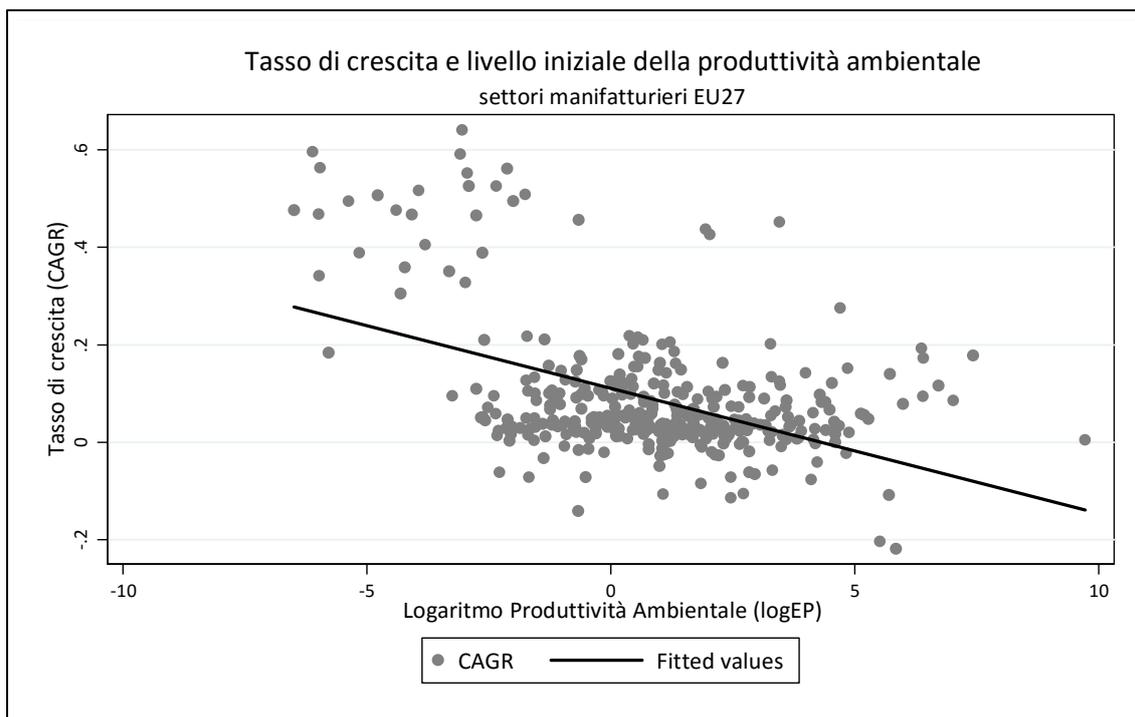


Figura 4. Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

Introducendo gli effetti fissi per paese, la relazione tra *CAGR* e livello iniziale di produttività ambientale sembra meno forte (-0,008), pur rimanendo statisticamente significativa ad un livello del 95%. Rispetto allo studio di Rodrik (2013) secondo cui all'introduzione degli effetti fissi segue un aumento del coefficiente  $\beta$ , i nostri risultati sono quindi meno forti. Introducendo anche gli effetti fissi per settore, il coefficiente di convergenza è pari a -0,021 e si assiste ad un aumento della significatività del coefficiente stesso e del coefficiente di determinazione  $R^2$ .

Oltre alla specificazione base, è necessario effettuare delle stime su alcuni sottocampioni, per verificare la robustezza dell'analisi, in modo analogo a quanto fatto da Rodrik (2013).

Dapprima distinguiamo i paesi sulla base del momento in cui sono entrati a far parte dell'Unione Europea ed in seguito sulla base della loro adesione all'Euro.

Le colonne (4) e (5) fanno riferimento ai sottocampioni composti rispettivamente dai paesi dell'EU15 (ovvero dell'Unione Europea al 2003, prima dell'allargamento verso est), e dai paesi subentrati dopo quella data. In questo caso, si nota come la relazione non sia statisticamente significativa per i paesi EU15. Per i paesi non EU15 invece, il coefficiente di correlazione (-0,031) è statisticamente significativo ad un livello del 99%.

Tabella 2a.

Modello di regressione lineare (variabile dipendente: tasso di crescita medio composto delle emissioni di CO <sub>2</sub> nei settori manifatturieri europei)					
	Modello base			EU15	Non EU15
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Logaritmo EP (1995)	-0,026*** (0,004)	-0,008** (0,003)	-0,021*** (0,005)	-0,003 (0,004)	-0,031*** (0,004)
Effetti fissi paese	no	sì	sì	no	no
Effetti fissi settore	no	no	sì	no	no
Numero di paesi	27	27	27	15	12
Numero di osservazioni	362	362	362	197	165
R <sup>2</sup>	0,23	0,80	0,84	0,00	0,31

Note: per ciascuna specificazione, in parentesi gli errori standard della regressione.  
Livello di significatività: \*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$ .

Tabella 2b.

Modello di regressione lineare (variabile dipendente: tasso di crescita medio composto delle emissioni di CO <sub>2</sub> nei settori manifatturieri europei)					
	Euro	Non euro	Osservazioni con valore CAGR nel range interquartile	Osservazioni con valore EP nella metà più alta della distribuzione	Osservazioni con valore EP nella metà più bassa della distribuzione
	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Logaritmo EP (1995)	-0,011*** (0,004)	-0,035*** (0,004)	-0,003 (0,002)	0,001 (0,005)	-0,060*** (0,006)
Effetti fissi paese	no	no	no	no	no
Effetti fissi settore	no	no	no	no	no
Numero di paesi	17	10	26	25	25
Numero di osservazioni	224	138	324	181	181
R <sup>2</sup>	0,10	0,43	0,01	0,00	0,40

Note: per ciascuna specificazione, in parentesi gli errori standard della regressione.  
Livello di significatività: \*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$ .

Volendo distinguere il campione sulla base dell'adozione o meno della moneta unica, otteniamo i risultati mostrati nelle prime due colonne della Tabella 2b. Ora

entrambi i sottocampioni mostrano un certo grado di convergenza (entrambi i coefficienti sono statisticamente diversi da zero), ma la relazione per i paesi non-Euro è più forte, presentando un valore di  $\beta$  pari a -0,035.

I risultati ottenuti finora potrebbero tuttavia essere determinati dalla presenza di *outlier*. Per capire se è questo il caso, la colonna (8) della Tabella 2b mostra i risultati ottenuti sul sottocampione ottenuto prendendo in considerazione esclusivamente i valori del tasso di crescita appartenenti al range interquartile (ovvero incluse tra il 25° e il 75° percentile). Il range interquartile nel nostro caso è dato dalle 324 osservazioni il cui CAGR è compreso tra -0,1039 e 0,2322. Le osservazioni escluse dal sottocampione sono dunque 38 (7 verso il basso e 31 verso l'alto). In effetti, le stime perdono di significatività, non essendo il coefficiente  $\beta$  statisticamente diverso da zero.

Stessa situazione si ha con il sottocampione composto dai settori migliori in termini di livello iniziale di produttività ambientale (ovvero la specificazione (9) che comprende esclusivamente il 50% dei valori di  $\log(EP)$  più alti). La colonna (10) infine fa riferimento alle stime ottenute dal sottocampione composto dai settori *laggard* in termini di produttività ambientale nel 1995. In questo caso, la convergenza sembra sussistere e il coefficiente è statisticamente significativo e mostra il valore più alto tra tutti i casi finora analizzati (-0,060).

In definitiva, ciò che emerge è che apparentemente esiste una tendenza alla convergenza  $\beta$  assoluta tra i settori manifatturieri dei paesi dell'Unione Europea tra il 1995 e il 2009 dal punto di vista della produttività ambientale. Per controllare la robustezza dei risultati ottenuti, abbiamo eseguito una serie di ulteriori regressioni, distinguendo i paesi sulla base dell'adozione della moneta unica. Inoltre, altre regressioni sono state condotte sul sottocampione costituito esclusivamente dalle osservazioni di CAGR rientranti nel range interquartile e sui sottocampioni formati rispettivamente dai valori più alti e dai valori più bassi di produttività ambientale.

Effettuando tutti questi test aggiuntivi, si scopre che l'ipotesi principale è verificata, e quindi il coefficiente  $\beta$  è negativo e robusto, solo considerando i sottocampioni che includono i paesi *laggard*. Per il gruppo delle economie avanzate dell'Unione Europea il processo di convergenza non esiste, in quanto questi paesi hanno già raggiunto lo *steady state*, ovvero sono proprio su quella frontiera verso la quale si muovono i paesi in ritardo.

La seconda versione del modello prevede l'introduzione di un altro regressore che inglobi la dimensione del commercio. I dati presentati nella Tabella 3 colonna (1) indicano che, tenendo conto dei tassi di crescita di esportazioni ed importazioni (apertura commerciale), il coefficiente di regressione relativo al logaritmo dei livelli iniziali di produttività ambientale è negativo (pari a -0,016) e statisticamente significativo (con un livello di significatività pari a 0,01), quindi la convergenza risulta confermata. Per quanto riguarda il coefficiente relativo ai tassi di crescita di export e import, si ottiene un coefficiente positivo (pari a 1,269) e anche in questo caso statisticamente significativo (con un livello di significatività pari a 0,01). In definitiva, ciò che otteniamo è che a più alti tassi di crescita dei flussi commerciali corrispondono maggiori tassi di crescita della produttività ambientale.

Tabella 3.

Modello di regressione lineare con più regressori: livello iniziale della produttività ambientale, crescita dei flussi commerciali, crescita dello stock di brevetti, dummy ETS			
	(1)	(2)	(3)
Logaritmo produttività ambientale nel 1995	-0,016*** (0,004)	-0,013*** (0,004)	-0,008** (0,003)
Apertura commerciale	1,269*** (0,145)	1,266*** (0,203)	1,049*** (0,180)
Knowledge stock	-	-0,093 (0,095)	0,011 (0,093)
Dummy Emission Trading Scheme	-	-	-0,027** (0,012)
Effetti fissi paese	no	No	no
Effetti fissi settore	sì	Sì	no
Numero di osservazioni	330	275	275
R <sup>2</sup>	0,37	0,36	0,29

Note: in parentesi gli errori standard della regressione.

Livello di significatività: \*  $p < 0,10$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$ .

La seconda colonna della Tabella 3 riporta i risultati relativi alla regressione che considera anche la dimensione tecnologica tramite la variabile della crescita media dello stock di brevetti (knowledge stock), come spiegato in precedenza. Si nota come i valori relativi ai coefficienti per il logaritmo della produttività ambientale (indicato da  $\beta$  nell'equazione) e per il tasso di crescita dei flussi commerciali (indicato da  $\gamma$ ) siano simili rispetto a quelli indicati nella colonna (1).

Anche introducendo la tecnologia, quindi, la relazione di convergenza a livello di produttività ambientale e gli effetti del commercio sono ribaditi. Ciò che è interessante analizzare a questo punto è il valore assunto dal coefficiente relativo alla crescita dello stock di brevetti. Il coefficiente ha segno negativo (è pari a -0,093) e non è statisticamente diverso da zero, quindi non si può parlare di relazione significativa tra la tecnologia e le performance ambientali. Provando a interpretare questi dati, si può affermare che l'ipotesi per cui la tecnologia ridurrebbe le disuguaglianze in termini di emissioni non tiene conto di possibili disparità nella capacità di innovare dei diversi paesi. In questo senso, dato che nel nostro dataset esistono importanti differenze nella crescita dello stock di brevetti tra paesi avanzati "più innovativi" (Germania e paesi nord-europei in primis) e gli altri paesi (tra cui in particolare i paesi dell'Europa dell'est), la tecnologia tende a aumentare le disparità. Per questi motivi, la dimensione tecnologica non sembra essere uno dei fattori principali per il processo di convergenza tra le performance ambientali.

L'ultima estensione del modello prevede l'introduzione di una variabile dummy relativa al sistema di Emission Trading Scheme europeo. A questo proposito, la colonna (3) della Tabella 3 mostra come l'introduzione di questa variabile non modifichi i segni e i livelli di significatività delle altre variabili rispetto a questo descritto poco sopra. Per di più, la variabile dummy presenta segno negativo ed è significativa al 95%. Ciò indica che i settori che sono interessati dall'ETS (con dummy pari a 1) mostrano in media dei tassi di crescita della produttività ambientale più bassi rispetto ai settori che non lo sono (con dummy pari a 0), avendo quindi performance ambientali peggiori. Il risultato può essere interpretato ricordando come nel momento in cui questo sistema fu introdotto nel 2005, furono definiti dei limiti di emissioni non stringenti (Abrell et al., 2011), disincentivando gli agenti economici a investire nella riduzione dell'inquinamento. In aggiunta a ciò, il primo sistema di attribuzione delle quote (tuttora in vigore per alcuni settori) prevedeva l'assegnazione gratuita delle quote alle imprese sulla base delle emissioni storiche, vanificando secondo Borghesi e Montini (2015) gli sforzi *environmental-friendly* delle imprese e scoraggiando gli investimenti in eco-innovazioni.

La seconda parte del nostro studio passa all'analisi della cosiddetta  $\sigma$ -convergenza. Se finora è emerso un certo grado di convergenza in termini di tassi di crescita della produttività ambientale, dal punto di vista della convergenza  $\sigma$  i risultati ci

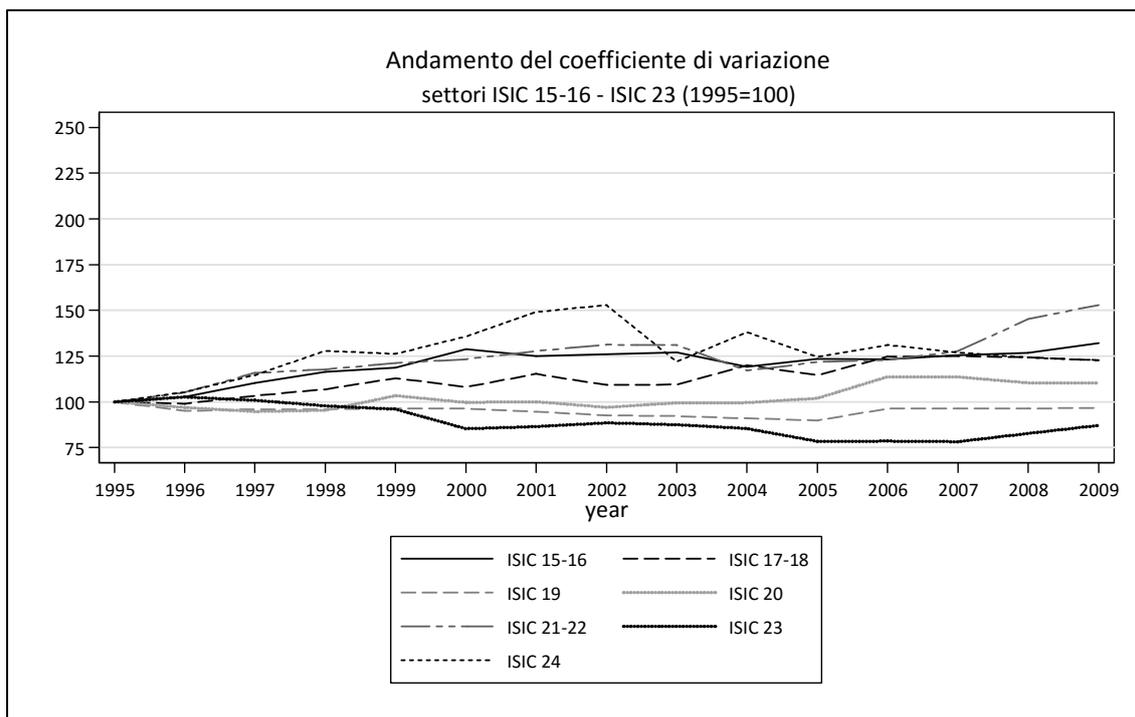


Figura 5. Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

portano ad escludere l'esistenza di convergenza. La Figura 5 e la Figura 6 mostrano l'andamento del coefficiente di variazione per tutti gli anni presi in considerazione, calcolato fissando a 100 il valore iniziale dell'indicatore per ciascun settore manifatturiero.

A livello di singoli settori manifatturieri, le uniche industrie per le quali la variabilità al 2009 è minore rispetto a quella del 1995 sono il settore relativo alla produzione di beni in pelle (ISIC 19) e il settore relativo alla raffinazione del petrolio e alla produzione di altri carburanti (ISIC 23). Per la lavorazione della pelle, il coefficiente di variazione è pari a 96,58, mentre per la produzione di carburanti il dato è pari a 87,14. Per tutti gli altri settori, l'indice di variabilità suggerisce una maggiore dispersione.

Questo risultato contrasta con quanto era stato affermato nell'analisi di  $\beta$ -convergence, ovvero con l'esistenza di percorsi di convergenza nei valori di produttività ambientale dei settori manifatturieri europei quando si considera il dataset nel suo complesso, quindi includendo anche i paesi *laggard*.

I risultati ottenuti nelle due parti dell'analisi sono compatibili, in quanto come Stegman e McKibbin (2005) fanno notare, la presenza di convergenza  $\beta$  è condizione

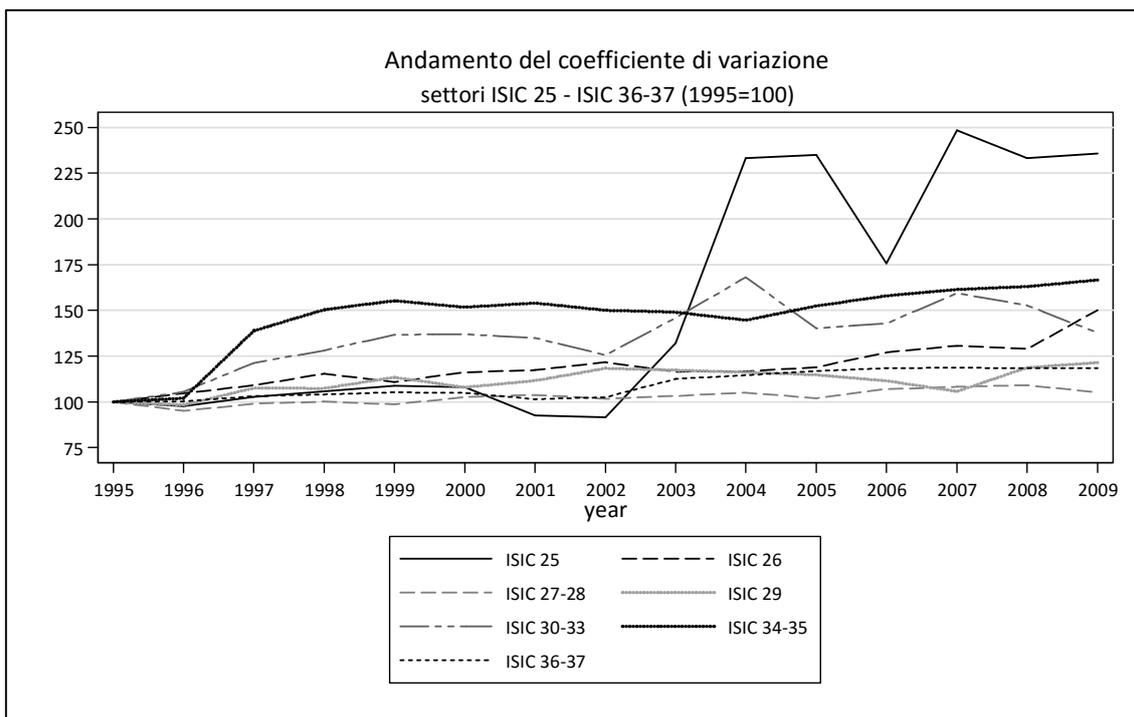


Figura 6. Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

necessaria ma non sufficiente per avere anche convergenza  $\sigma$ . In altri termini, la presenza di convergenza nei tassi di crescita non garantisce una diminuzione della variabilità della distribuzione, dato che altri fattori diversi dai tassi di crescita (come shock esogeni) possono avere effetti sul processo di convergenza (Rodrik, 2013).

## 6 Conclusioni

In questo lavoro abbiamo trattato delle performance ambientali dei settori manifatturieri europei, per provare a individuare dei possibili percorsi di convergenza nel periodo che va dal 1995 al 2009. Prima di presentare i risultati del nostro studio empirico, abbiamo sottolineato come in letteratura il tema della convergenza nelle performance ambientali sia ampiamente dibattuto, anche per la sua rilevanza dal punto di vista politico nelle negoziazioni internazionali, e come esistano differenti definizioni di convergenza, dalla convergenza  $\beta$  (relativa al legame tra i livelli iniziali e i tassi di crescita di una variabile), alla convergenza  $\sigma$  (relativa all'andamento della variabilità di un certo dato), alla cosiddetta convergenza stocastica (prettamente utilizzata nell'analisi di dati panel). D'altra parte si è anche fatto notare come dal punto di vista empirico non esista un'unica concordanza nei risultati ottenuti dagli studiosi.

Facendo uso del concetto di “produttività ambientale” e riprendendo grosso modo la metodologia utilizzata da Rodrik (2013), la parte empirica del lavoro si è concentrata dapprima sulla ricerca di convergenza  $\beta$  nel campione composto dai 14 settori manifatturieri dei paesi dell’Unione Europea. I risultati hanno evidenziato un certo grado di convergenza in termini assoluti, anche impiegando particolari sottocampioni di osservazioni. La convergenza è stata confermata anche in termini condizionali, quando cioè nell’analisi sono state considerate altre variabili possibilmente rilevanti, nel nostro caso i tassi di crescita dei flussi commerciali e i tassi di crescita dello stock di brevetti, oltre a una variabile dummy relativa al sistema di quote di emissioni in Europa. Oltre alla convergenza  $\beta$ , lo stesso campione è stato utilizzato per la ricerca di convergenza  $\sigma$ . In quest’ultimo caso, i risultati indicano l’assenza di convergenza.

In generale, il lavoro qui svolto potrebbe essere ampliato e approfondito tramite l’utilizzo di campioni più ampi, in particolare dal punto di vista temporale, così da ottenere risultati interessanti circa un processo come quello della convergenza che, per sua natura, è relativo a orizzonti temporali di lungo e lunghissimo periodo.

## Appendice A

Per ottenere lo stock di brevetti relativo a ogni settore manifatturiero, si è partiti dai dati presenti nel database dell'OCSE, relativi al numero di "patent application" allo European Patent Office (EPO) distinti in base al paese di residenza dell'inventore e in base alla classe del brevetto secondo l'International Patent Classification (IPC). I dati fanno riferimento al periodo 1977-2009.

Essendo i settori manifatturieri considerati nell'analisi distinti secondo la classificazione ISIC Rev. 3, i dati relativi ai patent sono stati riclassificati secondo la tabella di corrispondenza da IPC a ISIC elaborata da Schmoch et al. (2003).

Ottenuti i brevetti annuali per ogni settore manifatturiero, è stato possibile calcolarne lo stock in modo che considerasse per ogni periodo il flusso di nuovi patent e lo stock di patent già presenti, quest'ultimo deprezzato per tenere conto dell'obsolescenza della tecnologia. In particolare, la formula utilizzata per il calcolo dello stock è ripresa da Weina et al. (2016):

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

dove  $\beta_1$  indica il tasso di obsolescenza della conoscenza, posto pari a 0,1, e  $\beta_2$  indica il tasso di diffusione della conoscenza, posto pari a 0,25, come in Weina et al. (2016).

Con i dati sullo stock tecnologico così elaborati è possibile calcolare il tasso di crescita media dello stesso stock dal 1995 al 2009, tramite la stessa formula utilizzate per la crescita della produttività ambientale e dei flussi commerciali:

$$TECH_{c,i} = \left( \frac{KStock_{c,i,2009}}{KStock_{c,i,1995}} \right)^{1/2009-1995} - 1$$

## Bibliografia

- Abrell J., Ndoye Faye A., Zachmann G. (2011), *Assessing the impact of the EU ETS using firm level data*, Bruegel Working Paper 2011/08.
- Aldy J.E. (2006), *Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?*, *Environmental and Resource Economics*, 33 (4), pp. 533-555.
- Barassi M.R., Cole M.A., Elliott R.J.R. (2008), *Stochastic Divergence or Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Re-examining the Evidence*, *Environmental and Resource Economics*, 40 (1), pp. 121- 137.
- Barro R.J., Sala-i-Martin X. (1991), *Convergence across States and Regions*, *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, pp. 107-182.
- Borghesi S., Montini M. (2015), *The allocation of carbon emission permits; theoretical aspects and practical problems in the EU ETS*, Financialisation, Economy, Society & Sustainable Development (FESSUD) Project, Working Paper 75.
- Cole M.A., Elliott R.J.R., Shimamoto K. (2005), *Industrial characteristics, environmental regulations and air pollution: an analysis of the UK manufacturing sector*, *Journal of Environmental Economics and Management*, 50 (1), pp. 121-143.
- Commissione Europea (2014), *For a European Industrial Renaissance*, COM 14.
- Dietzenbacher E., Los B., Stehrer R., Timmer M., De Vries G. (2013), *The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project*, *Economic Systems Research*, 25 (1), pp. 71-98.
- Dinda S. (2004), *Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey*, *Ecological Economics*, 49, pp. 431-455.
- EEA - European Environment Agency (2014), *Resource-efficient green economy and EU policies*, EEA Report 2/2014, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- EEA - European Environment Agency (2015), *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2013 and inventory report 2015*, EEA Technical report 19/2015, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Ezcurra R. (2007), *Is there cross-country convergence in carbon dioxide emissions?*, *Energy Policy*, 35 (2), pp. 1363-1372.
- Herrerias M.J. (2013), *The environmental convergence hypothesis: Carbon dioxide emissions according to the source of energy*, *Energy Policy*, 61, pp. 1140-1150.
- Islam N. (2003), *What have we learnt from the convergence debate?*, *Journal of Economic Surveys*, 17 (3), pp. 309-362.
- Lee C.-C., Chang C.-P. (2008), *New evidence on the convergence of per capita carbon dioxide emissions from panel seemingly unrelated regressions augmented Dickey-Fuller tests*, *Energy*, 33 (9), pp. 1468-1475.

- Marin G. (2012), *Closing the gap? Dynamic analyses of emission efficiency and sector productivity in Europe*, IMT Lucca EIC Working Paper Series 02.
- Martinez-Zarzoso I., Bengochea-Morancho A., Morales-Lage R. (2007), *The impact of population on CO<sub>2</sub> emissions: evidence from European countries*, *Environmental and Resource Economics*, 38 (4), pp. 497-512.
- Panopoulou E., Pantelidis T. (2009), *Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions*, *Environmental and Resource Economics*, 44 (1), pp. 47-70.
- Phillips P.C.B., Sul D. (2007), *Transition Modeling and Econometric Convergence Tests*, *Econometrica*, 75 (6), pp. 1771-1855.
- Repetto R. (1990), *Environmental Productivity and Why It Is So Important*, *Challenge*, 33 (5), pp. 35-38.
- Robbins A. (2016), *How to understand the results of the climate change summit: Conference of Parties 21 (COP21) Paris 2015*, *Journal of Public Health Policy*, pp. 1-4.
- Rodrik D. (2013), *Unconditional Convergence in Manufacturing*, *The Quarterly Journal of Economics*, 128 (1), pp. 165-204.
- Romero-Avila D. (2008), *Convergence in carbon dioxide emissions among industrialised countries revisited*, *Energy Economics*, 30 (5), pp. 2265-2282.
- Schmoch U., Laville F., Patel P., Frietsch R. (2003), *Linking Technology Areas to Industrial Sectors*, Final Report to the European Commission, DG Research.
- Strazicich M.C., List J.A. (2003), *Are CO<sub>2</sub> Emission Levels Converging Among Industrial Countries?*, *Environmental and Resource Economics*, 24 (3), pp. 263-271.
- Stegman A., McKibbin W.J. (2005), *Convergence and Per Capita Carbon Emission*, *Brookings Discussion Papers in International Economics*, No. 167.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (2015), *Adoption of the Paris Agreement*, Conference of the Parties, Twenty-first session, from 30 November to 11 December 2015, Paris.
- Weina D., Gilli M., Mazzanti M., Nicolli F. (2016), *Green inventions and greenhouse gas emission dynamics: a close examination of provincial Italian data*, *Environmental Economics and Policy Studies*, 18 (2), pp. 247-263.
- Westerlund J., Basher S.A. (2007), *Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data*, MPRA Paper No. 3262.
- 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), pp. 351-265.