

# **Emissioni di CO<sub>2</sub> nei Paesi europei: un'analisi empirica sulla convergenza tra settori manifatturieri**

di Marianna Gilli\* e Giovanni Morleo\*

## **Abstract**

Questo lavoro si concentra sulle performance ambientali dell'industria manifatturiera europea. L'obiettivo è verificare l'esistenza della convergenza  $\beta$  assoluta e relativa e della convergenza  $\sigma$  in termini di produttività ambientale (il rapporto tra il valore aggiunto e le emissioni di anidride carbonica in ciascun settore) in 14 settori per il periodo 1995-2009, utilizzando i dati del database WIOD. I risultati supportano l'ipotesi dell'esistenza di convergenza  $\beta$  assoluta ed evidenziano il ruolo di variabili aggiuntive quali l'apertura al commercio e lo stock di conoscenze nell'influenzare le performance ambientali a livello settoriale. Non è presente evidenza statistica per la convergenza  $\sigma$ .

*Classificazione JEL:* L52 Q53 Q55.

*Parole chiave:* performance ambientali; convergenza beta; convergenza sigma; industria manifatturiera; performance settoriali.

## **CO<sub>2</sub> Emissions in Europe: An Empirical Analysis on the Convergence among Manufacturing Sector**

### **Abstract**

This paper focuses on the environmental performances of the European manufacturing industry. Its aim is to test the existence of both absolute and conditional  $\beta$ -convergence as well as  $\sigma$ -convergence in environmental productivity (i.e. the ratio between the value added and the carbon dioxide emissions in each sector) of 14 sectors for the period 1995-2009, using data from the WIOD database. Results support the hypothesis of existence of absolute  $\beta$ -convergence and highlight the role of additional variables like trade openness and knowledge stock in affecting sectorial environmental performance. No statistical evidence of  $\sigma$ -convergence is found.

*JEL Classification:* L52 Q53 Q55.

*Keywords:* environmental performances; manufacturing industry;  $\beta$ -convergence;  $\sigma$ -convergence; sector performances.

\* Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Economia e Management, via Voltpaletto 11, 44121 – Ferrara. E-mail: gllmnn@unife.it.

\* Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Economia e Management, via Voltpaletto 11, 44121 – Ferrara. E-mail: giovanni01.morleo@student.unife.it.

## 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 continuamente 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) tenuta 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 ed empirico che nella letteratura economica fanno riferimento ai temi legati all'ambiente. A questo proposito, solo per citarne alcuni, ricordiamo gli studi sulla 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). Riconducibile a questo filone di ricerche è il recente lavoro di Calcagnini, Giombini e Travaglini (2016), che esaminano le relazioni esistenti tra la produttività del lavoro e l'intensità energetica e tra la produttività del lavoro e l'inquinamento pro capite e gli effetti di possibili shock di domanda e di offerta sull'andamento di queste variabili nel breve e nel lungo periodo.

<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 a ogni paese di autodefinire l'ammontare della riduzione nelle emissioni nocive da raggiungere (Robbins, 2016).

Altri lavori della letteratura economico-ambientale si concentrano sulla ricerca delle determinanti dell'inquinamento a livello delle imprese, analizzando gli effetti di fattori produttivi, dimensione, efficienza, innovazione tecnologica, normativa ambientale (un esempio a questo riguardo è il lavoro di Cole, Elliott e Shimamoto, 2005), e sull'analisi del ruolo delle politiche pubbliche e degli interventi migliori per contrastare l'inquinamento (con differenti tipologie di misure, dalle imposte ambientali pigouviane all'introduzione di *Emission Trading Scheme*). Uno dei temi trattati con più frequenza è poi la ricerca di pattern di convergenza nelle emissioni prodotte dai diversi paesi. Proprio su quest'ultimo argomento si concentra questo lavoro.

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 emis-

sioni di gas serra pari a 4477 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente<sup>2</sup> nel 2013 secondo l’Agenzia europea dell’ambiente (EEA, 2015). Le emissioni totali, peraltro in costante diminuzione sin dagli anni Novanta, 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 i dati elaborati dall’Eurostat, le emissioni che riguardano le attività industriali sono pari a 836,5 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> nel 2013, rappresentando quindi il 28% delle emissioni totali<sup>3</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 dell’intensità di 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

<sup>2</sup> Le emissioni complessive dei diversi gas serra sono espresse in “tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente”, un’unità di misura che rende equiparabili i diversi inquinanti sulla base del loro potenziale riscaldante complessivo.

<sup>3</sup> L’attività economica in assoluto più inquinante a livello europeo è la fornitura di energia elettrica e gas (sezione D della classificazione NACE Rev. 2) con 1191 milioni di tonnellate (39,5% del totale); altri settori rilevanti dal punto di vista delle emissioni sono i trasporti (sezione H) con 485 milioni di tonnellate (16%), e l’agricoltura (sezione A) con 100,5 milioni di tonnellate (3,3%). Tutti i dati si riferiscono all’Unione a 27.

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 1 presenta una rassegna sintetica della letteratura riguardante la convergenza dal punto di vista ambientale; nel paragrafo 2 sono contenute tutte le informazioni riguardanti la metodologia e nel paragrafo 3 quelle riguardanti i dati utilizzati; il paragrafo 4 include la presentazione e l'interpretazione dei risultati dell'analisi; nell'ultima sezione trovano spazio alcune considerazioni conclusive.

## 1. Review della letteratura

Prima di passare a una sintetica rassegna della letteratura rilevante, è necessario precisare che nel presente lavoro la variabile di interesse è un indicatore di performance, quella della produttività ambientale, come si vedrà specificamente più avanti. Gran parte della letteratura che negli anni è stata prodotta e che abbiamo considerato si concentra invece su un altro indicatore di performance ambientale, studiando andamento e determinanti delle emissioni inquinanti in senso stretto. Nonostante questa differenza nella variabile di studio, l'analisi della letteratura rimane dal nostro punto di vista interessante.

A partire dagli anni Novanta, 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>4</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  *$\beta$ -convergence* 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 rile-

<sup>4</sup> Una panoramica completa sui diversi concetti di convergenza e sulle relative tecniche di analisi è presente in Islam (2003).

vanza di variabili come i prezzi dei carburanti e le temperature medie 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 convergenza  $\beta$  nelle emissioni nel periodo dal 1960 al 2000.

La convergenza di tipo  $\sigma$  è individuata esaminando l'andamento delle misure di dispersione (ad esempio la deviazione standard) della distribuzione della variabile di interesse nel tempo: se l'andamento di questi indici è decrescente, si 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  $\sigma$ -convergence nelle emissioni pro capite di un campione formato da 128 paesi nel periodo 1960-2003. I 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 meno netta). 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 nel lavoro 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.

Una nozione di convergenza che di recente ha conosciuto un'ampia diffusione nel mondo accademico è quella di *stochastic convergence* (a questo proposito si vedano, tra gli altri, i contributi di Bernard e Durlauf, 1995; Bernard e Durlauf, 1996; Lee, Pesaran e Smith, 1997). L'analisi in questo caso si concentra sull'andamento nel lungo periodo delle emissioni pro capite, espresse in relazione alla media rispetto a un dato numero di paesi. In particolare, si ha convergenza stocastica nel campione se le differenze in termini di emissioni pro capite tra i paesi sono temporanee, ovvero se gli shock che ne influenzano l'andamento sono temporanei e il trend è quindi stazionario (Panopoulou e Pantelidis, 2009).

I risultati di Westerlund e Basher (2007) indicano l'esistenza di *stochastic convergence* nelle emissioni da carburanti fossili sia tra 16 paesi industrializzati nel periodo 1870-2002, sia nel campione più ampio ottenuto considerando altre 12 economie in via di sviluppo, con dati dal 1901 al 2002. Oltretutto, in questo secondo caso il processo di convergenza appare più rapido. Nonostante utilizzi dati più limitati, in particolare dal punto di vista temporale (considerando 23 paesi OCSE dal 1960 al 2002), Romero-Avila (2008) ottiene lo stesso risultato: l'esistenza di un processo di convergenza stocastica tra i paesi nelle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub>, seppur verso livelli diversi. Facendo uso di un campione simile, anche i già citati Lee e Chang (2008) individuano convergenza stocastica per almeno 7 delle 21 economie avanzate considerate. Di diverso avviso sono i risultati ottenuti da Barassi, Cole e Elliott (2008) che, studiando le emissioni da combustibili fossili di 21 paesi nel periodo 1950-2002, affermano la non esistenza di pattern di convergenza stocastica, essendo permanenti gli shock nelle emissioni pro capite relative.

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, Elliott e Shimamoto (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>5</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 a 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.

Anche il lavoro di Marin (2012) si concentra sull'inquinamento derivante da diverse fonti<sup>6</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, Rosa e Dietz (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 conside-

<sup>5</sup> In particolare gli autori ipotizzano che un aumento nell'utilizzo dell'energia porti a 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 dell'impatto 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, ovvero innovazione, efficienza e modernità degli impianti. Dal lato dell'offerta il focus è sulla regolamentazione, sia essa formale e quindi relativa a *command and control regulations*, *pollution tax* e *tradable permits*, o informale tramite azioni di *lobbying* e pressioni da parte della comunità a rispettare l'ambiente (Cole, Elliott e Shimamoto, 2005).

<sup>6</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).

rato. Martinez-Zarzoso, Bengochea-Morancho e Morales-Lage (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.

## 2. 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):

$$EP_{c,i,t} = \frac{VA_{c,i,t}}{CO_{2c,i,t}} \quad (1)$$

dove in riferimento all' $i$ -esimo settore del paese  $c$  nel periodo  $t$ ,  $VA_{c,i,t}$  indica il valore aggiunto,  $CO_{2c,i,t}$  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:

$$\Delta EP_{c,i} = \left( \frac{EP_{c,i,2009}}{EP_{c,i,1995}} \right)^{1/2009-1995} - 1 \quad (2)$$

Si ottiene così un campione di dati *cross-section*. In particolare, nello studio della convergenza di tipo  $\beta$  si fa uso di un modello lineare-logaritmico, quindi l'equazione da stimare è:

$$\Delta EP_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + \varepsilon_{c,i} \quad (3)$$

In questo modello, per l'interpretazione del coefficiente di regressione si fa riferimento a una variazione dell'1% nella produttività ambientale iniziale, 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, a 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,  $\Delta EP_{c,i}$ . 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:

$$\Delta EP_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + D_{c,i} + \varepsilon_{c,i} \quad (4)$$

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 ( $\Delta EP$ ) 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:

$$TRADE_{c,i} = \left( \frac{(Exp + Imp)_{c,i,2009}}{(Exp + Imp)_{c,i,1995}} \right)^{1/2009-1995} - 1 \quad (5)$$

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

$$\Delta EP_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + \gamma TRADE_{c,i} + D_{c,i} + \varepsilon_{c,i} \quad (6)$$

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>7</sup> in ogni settore industriale  $i$  di ogni paese  $c$  considerato:

$$\Delta EP_{c,i} = \alpha + \beta \log(EP_{c,i,1995}) + \gamma TRADE_{c,i} + \delta TECH_{c,i} + D_{c,i} + \varepsilon_{c,i} \quad (7)$$

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

<sup>7</sup> L'appendice contiene i dettagli circa la costruzione del dataset relativo ai brevetti.

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>8</sup> Nello specifico:

$$\Delta EP_{c,t} = \alpha + \beta \log(EP_{c,t,1995}) + \gamma TRADE_{c,t} + \delta TECH_{c,t} + \theta ETS_t + \varepsilon_{c,t} \quad (8)$$

La variabile  $ETS_t$  assume valore pari a 0 se il dato settore non è interessato dal sistema delle quote di emissione; assume valore pari a 1 se è prevista l'applicazione del sistema 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>9</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).

### 3. Dati

La Tab. 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 de-

<sup>8</sup> L'ETS è stato introdotto nell'Unione Europea nel 2005 e copre attualmente attività come la produzione di energia, la raffinazione di petrolio, la lavorazione di acciaio, ferro, alluminio, cemento, vetro, carta e alcune altre sostanze chimiche, oltre al settore dell'aviazione civile.

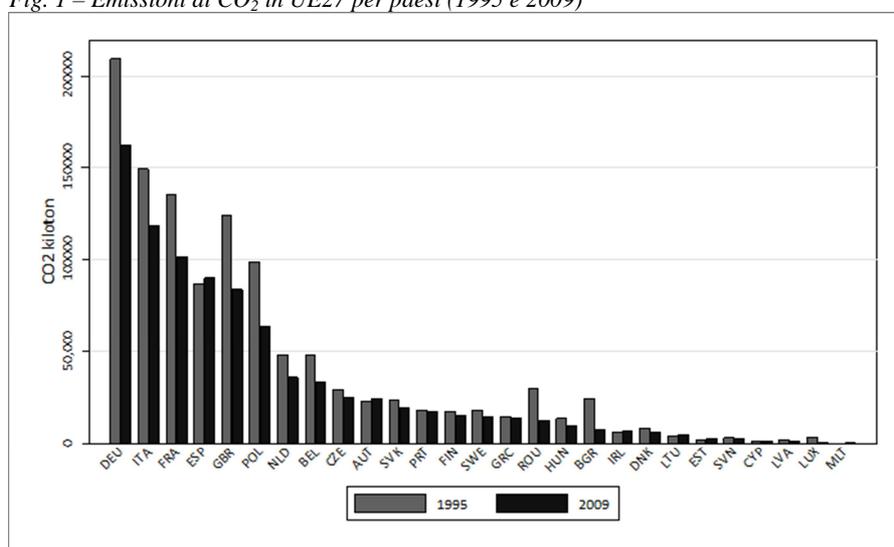
<sup>9</sup> Il coefficiente di variazione è un indice di dispersione definito come il rapporto tra la deviazione standard e la media della popolazione.

scrizione dettagliata della costruzione del database è presente in Dietzenbacher *et al.* (2013).

Tab. 1 – Statistiche descrittive

Variabile	Unità di misura	N	Media	Dev. standard	Min	Max
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 ambientale	€/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

Fig. 1 – Emissioni di CO<sub>2</sub> in UE27 per paesi (1995 e 2009)



Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

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.

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 (ISIC Rev. 3), a due *digit*

di dettaglio. Ad ogni modo, nel nostro studio sono prese in considerazione esclusivamente le attività manifatturiere, quindi i settori analizzati sono 14.<sup>10</sup> Nel complesso, quindi, il numero delle osservazioni che compongono il database di riferimento per questa analisi *cross-section* è 378.

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>11</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 (Tab. 1).

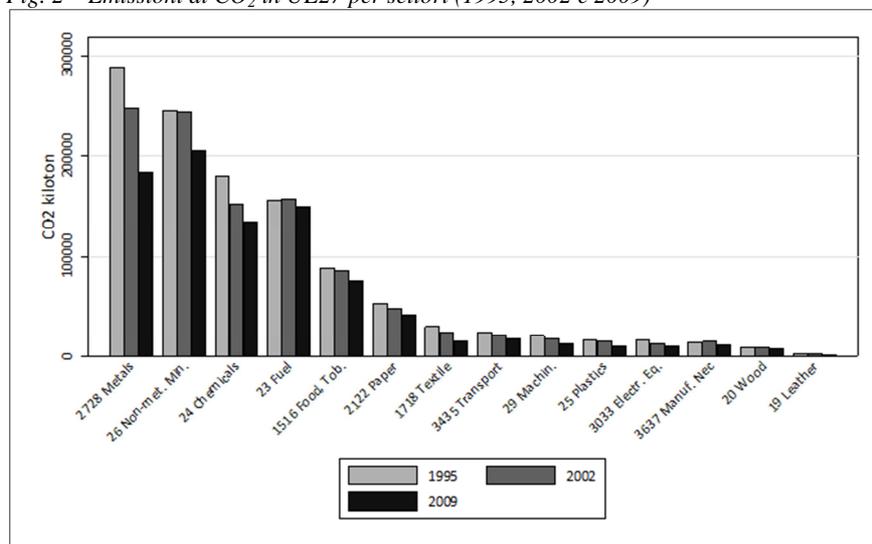
Volendo effettuare un'analisi preliminare sui dati dal punto di vista descrittivo, possiamo fare riferimento alla Fig. 1 e alla Fig. 2, che mostrano l'andamento delle emissioni totali di CO<sub>2</sub> rispettivamente a livello di paesi e di settori manifatturieri.

Le performance dei paesi risultano alquanto eterogenee (Fig. 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%).

<sup>10</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).

<sup>11</sup> Oltre al Lussemburgo, i dati mancano con riguardo alla Finlandia e ai Paesi Bassi nel settore ISIC 19 – Pelle e calzature; lacune meno gravi fanno riferimento a singoli anni nelle serie storiche relative a Lettonia, Slovenia e Svezia.

Fig. 2 – Emissioni di CO<sub>2</sub> in UE27 per settori (1995, 2002 e 2009)

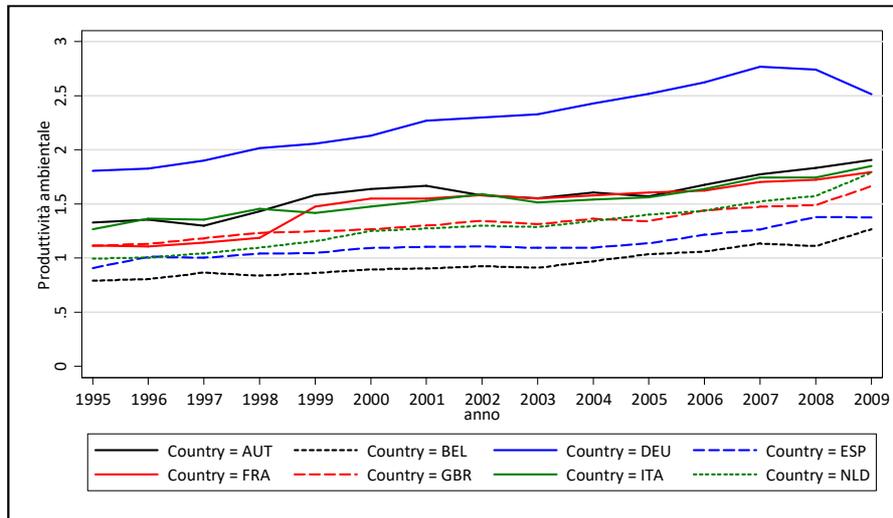


Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

Nella Fig. 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 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.

Fig. 3 – Produttività ambientale (paesi selezionati, 1995-2009)



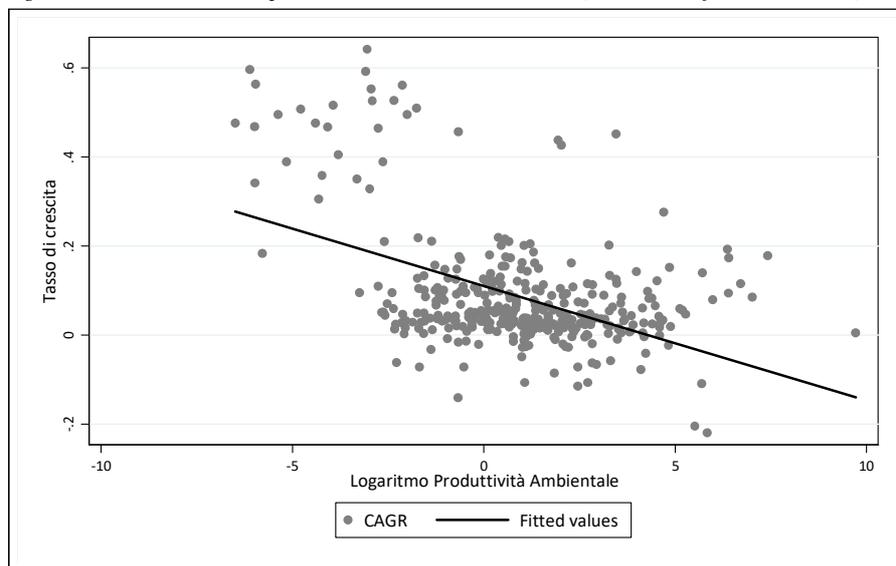
Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

La Fig. 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 atesta 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.

Fig. 4 – Tasso di crescita e produttività ambientale iniziale (settori manifatturieri UE27)



Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

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.

#### 4. Risultati

La Tab. 2a e la Tab. 2b riportano i risultati delle stime *cross-section* condotte secondo la metodologia introdotta in precedenza.

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

Tab. 2a – Modello di regressione lineare. Analisi cross-section (variabile dipendente: tasso di crescita medio composto delle emissioni di CO2 nei settori manifatturieri europei)

	Modello base		UE15	Non UE15	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Logaritmo	-0,026***	-0,008**	-0,021***	-0,003	-0,031***
EP (1995)	(0,004)	(0,003)	(0,005)	(0,004)	(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
Nr. di osservazioni	362	362	362	197	165
R <sup>2</sup>	0,23	0,8	0,84	0	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.

Tab. 2b – Modello di regressione lineare. Analisi cross-section (variabile dipendente: tasso di crescita medio composto delle emissioni di CO2 nei settori manifatturieri europei)

	Euro	Non euro	Osservazioni con valore $\Delta EP$ 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	-0,011***	-0,035***	-0,003	0,001	-0,060***
EP (1995)	(0,004)	(0,004)	(0,002)	(0,005)	(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
Nr. di osservazioni	224	138	324	181	181
R <sup>2</sup>	0,1	0,43	0,01	0	0,4

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

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 (Fig. 4 e Tab. 2a).

Introducendo gli effetti fissi per paese, la relazione tra  $\Delta EP$  e livello iniziale di produttività ambientale sembra meno forte (-0,008), pur rimanendo statisticamente significativa a 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 a 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 e in seguito sulla base della loro adesione all'Euro.

Le colonne (4) e (5) fanno riferimento ai sottocampioni composti rispettivamente dai paesi dell'UE15 (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 UE15. Per i paesi non UE15 invece, il coefficiente di correlazione (-0,031) è statisticamente significativo a un livello del 99%.

Volendo distinguere il campione sulla base dell'adozione o meno della moneta unica, otteniamo i risultati mostrati nelle prime due colonne della Tab. 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 Tab. 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  $\Delta EP$  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  $\Delta EP$  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.

Tab. 3 – Modello di regressione lineare con più regressori: livello iniziale della produttività ambientale, crescita dei flussi commerciali, crescita dello stock di brevetti, dummy ETS.  
Analisi cross section

	(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)
<i>Knowledge stock</i>	-	-0,093 (0,095)	0,011 (0,093)
<i>Dummy ETS</i>	-	-	-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: per ciascuna specificazione, in parentesi gli errori standard della regressione.  
Livello di significatività: \* p < 0,10, \*\* p < 0,05, \*\*\* p < 0,01.

La seconda versione del modello prevede l'introduzione di un altro regressore che inglobi la dimensione del commercio. I dati presentati nella

Tab. 3 nella colonna (1) indicano che, tenendo conto dei tassi di crescita di esportazioni e 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.

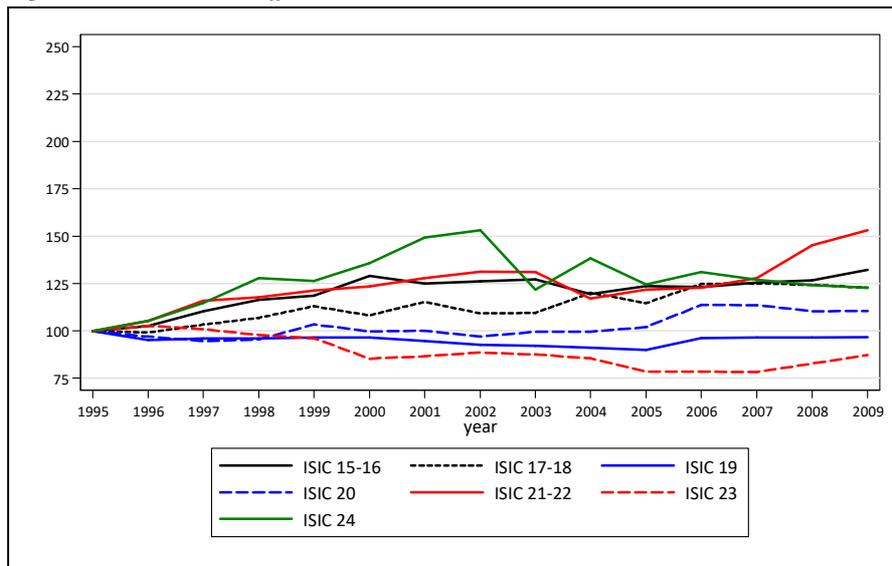
La seconda colonna della Tab. 3 riporta i risultati relativi alla regressione che considera anche la dimensione tecnologica tramite la variabile della crescita media dello stock di brevetti (*knowledge stock*), come spiegato in precedenza. Si nota come i valori relativi ai coefficienti per il logaritmo 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 Tab. 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.

Fig. 5 – Andamento del coefficiente di variazione (settori ISIC 15-16 – ISIC 23, 1995=100).

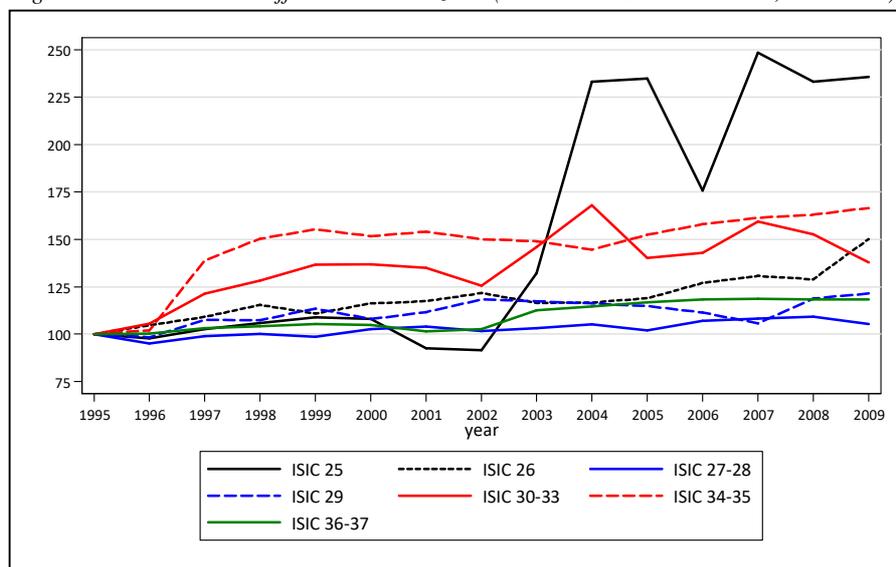


Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

Questo 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, Ndoye Faye e Zachmann, 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 portano a escludere l'esistenza di convergenza. La Fig. 5 e la Fig. 6 mostrano l'andamento del coefficiente di variazione per tutti gli anni presi in considerazione, posto pari a 100 il valore iniziale dell'indicatore per ciascun settore manifatturiero.

Fig. 6 – Andamento del coefficiente di variazione (settori ISIC 25 – ISIC 36-37, 1995=100).



Fonte: nostra elaborazione dal database WIOD.

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, dato che come Stegman e McKibbin (2005) fanno notare, la presenza di convergenza  $\beta$  è condizione 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).

## 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 i risultati ottenuti dagli studiosi non vadano in un'unica direzione.

Facendo uso del concetto di “produttività ambientale” e riprendendo 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.

## Riferimenti bibliografici

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), 533-555. DOI 10.1007/s10640-005-6160-x
- 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), 121- 137. DOI 10.1007/s10640-007-9144-1
- Barro, R.J. & Sala-i-Martin, X. (1991). Convergence across States and Regions. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 107-182.
- Bernard, A.B. & Durlauf, S.N. (1995). Convergence in international output. *Journal of applied econometrics*, 10(2), 97-108. DOI 10.1002/jae.3950100202
- Bernard, A.B. & Durlauf, S.N. (1996). Interpreting tests of the convergence hypothesis. *Journal of Econometrics*, 71, 161-173. DOI 10.1016/0304-4076(94)01699-2
- 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.
- Calcagnini, G., Giombini, G. & Travaglini, G. (2016). Modelling energy intensity, pollution per capita and productivity in Italy: A structural VAR approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1482-1492. DOI 10.1016/j.rser.2016.01.039
- 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), 121-143. DOI 10.1016/j.jeem.2004.08.001
- Commissione Europea (2014). For a European Industrial Renaissance. *COM 14/2*.
- 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), 71-98. DOI 10.1080/09535314.2012.761180
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49, 431-455. DOI 10.1016/j.ecolecon.2004.02.011
- EEA - European Environment Agency (2014). *Resource-efficient green economy and EU policies (EEA Report 2/2014)*. Luxembourg, Publications Office of the European Union. DOI 10.2800/18514
- 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. DOI 10.2800/274962
- Ezcurra, R. (2007). Is there cross-country convergence in carbo dioxide emissions? *Energy Policy*, 35(2), 1363-1372. DOI 10.1016/j.enpol.2006.04.006
- Herrerias, M.J. (2013). The environmental convergence hypothesis: Carbon dioxide emissions according to the source of energy, *Energy Policy*, 61, 1140-1150. DOI 10.1016/j.enpol.2013.06.120
- Islam, N. (2003). What have we learnt from the convergence debate? *Journal of Economic Surveys*, 17(3), 309-362. DOI 10.1111/1467-6419.00197
- Lee, K., Pesaran, M.H. & Smith, R.P. (1997). Growth and convergence in a multi-country empirical stochastic Solow model. *Journal of applied Econometrics*, 12(4), 357-392. DOI 10.1002/(SICI)1099-1255(199707)12:4<357::AID-JAE441>3.0.CO;2-T
- 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), 1468-1475. DOI 10.1016/j.energy.2008.05.002
- 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 CO2 emissions: evidence from European countries. *Environmental and Resource Economics*, 38(4), 497-512. DOI 10.1007/s10640-007-9096-5
- Panopoulou, E. & Pantelidis, T. (2009). Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions. *Environmental and Resource Economics*, 44(1), 47-70. DOI 10.1007/s10640-008-9260-6
- Phillips, P.C.B. & Sul, D. (2007). Transition Modeling and Econometric Convergence Tests. *Econometrica*, 75(6), 1771-1855. DOI 10.1111/j.1468-0262.2007.00811.x
- Repetto, R. (1990). Environmental Productivity and Why It Is So Important. *Challenge*, 33(5), 33-38. DOI 10.1080/05775132.1990.11471458
- Robbins, A. (2016). How to understand the results of the climate change summit: Conference of Parties21 (COP21) Paris 2015. *Journal of Public Health Policy*, 1-4. DOI 10.1057/jphp.2015.47
- Rodrik, D. (2013). Unconditional Convergence in Manufacturing. *The Quarterly Journal of Economics*, 128(1), 165-204. DOI 10.1093/qje/qjs047
- Romero-Avila, D. (2008). Convergence in carbon dioxide emissions among industrialised countries revisited. *Energy Economics*, 30(5), 2265-2282. DOI 10.1016/j.eneco.2007.06.003
- 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 CO2 Emission Levels Converging Among Industrial Countries? *Environmental and Resource Economics*, 24(3), 263-271. DOI 10.1023/A:1022910701857
- 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), 247-263. DOI 10.1007/s10018-015-0126-1
- 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), 351-265. DOI 10.1016/S0921-8009(03)00188-5

## Appendice

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):

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

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 utilizzata per la crescita della produttività ambientale e dei flussi commerciali:

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

ottenendo il tasso di crescita medio composto su base annuale.