



Università
Ca'Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale in
Economia e Gestione delle Aziende
ordinamento ex D.M. 270/2004

Tesi di Laurea Magistrale

**Crescita economica
e ambiente.
Teorie ed evidenze empiriche
per l'inquinamento dell'aria.**

Relatore

Ch.ma Prof.ssa Marcella Lucchetta

Laureando

Alessandro Canuto
Matricola 836564

Anno Accademico

2017 / 2018

Indice

Introduzione	pag. 3
Capitolo Uno	pag. 5
Ambiente e crescita economica	
1.1 – Crescita economica: modelli matematici e ricerche empiriche	
1.2 – Crescita economica e ambiente: <i>literature review</i>	
1.3 – Le problematiche ambientali più diffuse: l'aria e il suolo	
Capitolo Due	pag. 41
Crescita endogena e ambiente	
2.1 – Le conseguenze teoriche della tematica ambientale inserita nelle tre classi di modelli di crescita endogena dell'economia.	
2.2 – Il modello di Criado e Stengos	
2.3 – Il modello di Ana Balcao Reis	
Capitolo Tre	pag. 78
Effetto difensivo ed effetto di scala: analisi delle serie storiche	
3.1 – Effetto difensivo VS Effetto di scala	
3.2 – I principali inquinanti	
3.3 – Metodologia di indagine	
3.4 – Analisi descrittiva dei dati	
3.5 – Analisi delle serie storiche	
3.6 – Risultati delle analisi	
Conclusione	pag. 153
Bibliografia	pag. 155
Appendice	pag. 160

Introduzione

L'ambiente è uno dei temi più dibattuti nella letteratura economica, che cerca da molto tempo di dedicarsi allo studio dello sfruttamento di tale risorsa, trattandola alla stregua di qualsiasi altro input produttivo e come componente della funzione di utilità dei consumatori. L'ambiente, in tal senso, riveste un importante ruolo nella società e nella modellazione (in particolare quella macroeconomica) e l'inserimento di tale tematica da un punto di vista analitico nella già ricca letteratura che studia la crescita dal punto di vista endogeno è una sfida attualmente aperta e sempre ricca di novità teoriche e di interpretazioni innovative e cangianti.

In questa tesi prenderemo in considerazione due importanti effetti che possono essere ragionevolmente inseriti in un contesto di interpretazione dell'ambiente dal punto di vista economico, secondo un'impostazione di crescita endogena: nel tempo, infatti, è possibile dimostrare analiticamente l'esistenza di un effetto difensivo e di un effetto di scala, contrapposti nelle loro conseguenze e nei loro segni rispetto all'accumulazione dinamica degli agenti inquinanti. L'effetto difensivo è la relazione inversa probabilmente esistente tra l'accumulazione di inquinante ed il suo tasso di crescita nel tempo: è verosimile, infatti, pensare che tale relazione non sia diretta, in quanto nel lungo periodo è probabile che vi sia una stabilizzazione dell'ammontare totale dell'agente inquinante in un determinato ambiente. L'effetto di scala, invece, più semplice da comprendere, è la relazione positiva tra il tasso di crescita dell'inquinante ed il tasso di crescita dell'economia: non vi può essere produzione senza inquinamento e quindi possiamo pensare che i trend di queste due variabili possano seguire il medesimo andamento.

I modelli di crescita endogena che hanno sviluppato la tematica ambientale appartengono a tre grandi macrocategorie: i modelli convessi, i modelli con presenza e accento sul ruolo del capitale umano ed i modelli che integrano poteri di tipo monopolistico sviluppati in contesti in cui la presenza dell'innovazione (e quindi di settori dedicati esclusivamente alla ricerca e allo sviluppo) è fondamentale per l'economia. In questi modelli sono stati presi in considerazione gli effetti diretti ed indiretti dell'inquinamento che possono essere così sintetizzati: gli effetti diretti riguardano il danno alla salute umana e alla qualità dell'ambiente (fattori profondamente collegati tra

di loro); gli effetti indiretti riguardano la riduzione della produttività nel tempo e, di conseguenza, la riduzione del tasso di crescita dell'economia.

L'inserimento della tematica ambientale all'interno di questi modelli ha generato delle conseguenze di tipo analitico che saranno identificate attraverso una intensa analisi della letteratura, al fine di stabilire quali fattori siano maggiormente determinanti nella produzione di un tasso di crescita dell'economia che integri un'efficienza dal punto di vista ambientale e non solo di mercato.

Saranno poi analizzati due modelli dal punto di vista teorico: il modello di Criado e Stengos, fulcro determinante del nostro lavoro di regressione sviluppato durante la trattazione dell'ultimo capitolo, ed il modello di Ana Balcao Reis, che rappresenta un modello visionario in termini di innovazioni e di rispettive conseguenze. Nel modello di Criado e Stengos troviamo appunto gli effetti difensivo e di scala, già prima descritti, i quali saranno investigati nell'ultima parte del lavoro attraverso una lunga serie di regressioni multivariate che tenteranno di trovare un riscontro empirico ai due effetti.

Capitolo Uno

Ambiente e crescita economica

Introduzione

La questione ambientale è un argomento quanto mai attuale nella dissertazione economica e le sfaccettature del fenomeno sono talmente ramificate da riuscire a coinvolgere praticamente ogni settore della produzione e del consumo e tutte le aree d'interesse economico finora esplorate dalla letteratura empirica e teorica degli ultimi decenni. L'inserimento delle variabili ambientali all'interno di un contesto analitico, infatti, hanno determinato l'emergere di molte problematiche e hanno coadiuvato la risoluzione di molte questioni definite ma non concluse negli ambiti degli incentivi e della tassazione. Il problema della gestione delle risorse ambientali dal punto di vista economico, infatti, risulta oggi un punto di vista che (anche se sviluppato in tempi non sospetti) risulta molto strano alle orecchie e agli occhi di chi non comprende quale sia la posizione dell'umanità nell'universo e sul nostro pianeta.

La vita umana è di fatto una piccola parentesi nella storia dell'universo e l'uomo, seppur dotato di un'intelligenza sociale ancora non riscontrata in altre forme di vita intelligenti, non riuscirà probabilmente mai ad avere un vero e proprio impatto sulla vita del cosmo e sul divenire degli eventi terrestri. Se noi immaginassimo che la vita della Terra potesse essere normalizzata ad un giorno soltanto, l'intervento umano e la sua esistenza sarebbero durati solamente 3 secondi e, anche dopo la nostra estinzione, la Terra e l'universo continueranno la propria evoluzione e l'Uomo diverrà solamente un ricordo (probabilmente, un ricordo di nessuno).

Il problema fondamentale dell'ambiente non riguarda dunque il modo in cui trattiamo le risorse ambientali, ma è molto più complesso e meno profondo di un amore incondizionato e antropologicamente ingiustificato verso le risorse del nostro pianeta: il dilemma è che lo sfruttamento eccessivo delle risorse ambientali può produrre un costo sociale che le prossime generazioni possono non essere in grado di sostenere, riducendo di molto la vita umana sulla terra in termini di durata e di qualità.

I movimenti ambientalisti hanno espresso, nel corso degli ultimi decenni, un punto di vista estremo rispetto alle questioni collegate allo sfruttamento delle risorse che, ad ogni modo, hanno prodotto un certo livello di sensibilità dell'opinione pubblica che ha scosso le menti, i portafogli e le capacità normative di molti consumatori, imprenditori e politici i quali hanno iniziato a sfruttare anche mediaticamente il fenomeno, creandosi indiscutibilmente un nuovo braccio diplomatico facente fulcro sull'ambiente e sullo sviluppo sostenibile in senso ambientale.

La sostenibilità ambientale ed i suoi sforzi per renderla pubblica e per riuscire a catturare la volontà e l'attenzione della massa, al fine ultimo (si pensa e si spera) di arrivare ad un adeguato metodo di gestione delle risorse al fine di mantenerne il valore economico e sociale nel tempo, sono alla base di moltissimi studi e ricerche, sia dal lato teorico che empirico e le determinanti di tali sistemi normativi hanno alla loro base il presupposto del riconoscimento da parte delle autorità dell'importanza dei temi non tanto a livello di sistema ambientale ma a livello del sistema economico e sociale in cui di fatto si opera.

L'economia dell'ambiente studia dunque l'applicazione delle teorie economiche allo sfruttamento delle risorse ambientali che quindi sono definite come scarse e sottoposte ai problemi della consueta ottimizzazione neoclassica, sulla base della quale sono stati sviluppati modelli statici e dinamici di cui vogliamo occuparci in questa tesi, con particolare riferimento ai casi dei Paesi in via di sviluppo i quali, molto spesso, si dirigono verso una crescita molto interessante da un punto di vista quantitativo senza però tenere conto della qualità di tale crescita, sia nel senso ambientale che nel senso sociale.

Ormai da molti anni la crescita delle imprese e la loro stessa vita all'interno delle società avanzate è sottoposta a continui freni e controlli causati dalle normative che impongono un determinato tipo di prevenzione a favore dell'ambiente: non sono rari i casi in cui intere industrie vengono fermate o sottoposte a pesanti sanzioni al fine di garantire un determinato standard di emissioni o un limite di impatto sociale e ambientale alle proprie attività. Tutti questi provvedimenti si inseriscono in un contesto generale che ha compreso come la crescita economica debba essere accompagnata da politiche strutturali, capaci di integrare nel lungo periodo la forza dell'attività produttiva con una crescita sostenibile.

1.1 – Crescita economica: modelli matematici e ricerche empiriche

Quando parliamo di letteratura economica della crescita, dobbiamo distinguere tra due concetti che riguardano tale variazione nel tempo delle misure macroeconomiche: la crescita economica, infatti, riguarda la crescita del prodotto nazionale lordo pro-capite della popolazione di uno Stato mentre lo sviluppo economico è un concetto che unisce la crescita del prodotto interno lordo pro-capite reale e nominale per un lungo periodo di tempo. Quando si parla di sviluppo economico, dunque, ci si riferisce ad una dinamica di lungo periodo che comprende molti più elementi rispetto ad una crescita quantitativa come quella espressa dal concetto di crescita economica. Alla base del concetto di sviluppo, infatti, possiamo anche recuperare il primo grande lavoro in economia, scritto da Adam Smith, *Wealth of Nations*¹, in cui descrive le primordiali forme di analisi di un'economia che doveva soddisfare i criteri di ricchezza nel mero senso economico del termine, iniziando di fatto un lavoro di sviluppo analitico e sociologico che durerà probabilmente per sempre.

Lo sviluppo economico riguarda dunque una lunga serie di variabili che possono comprendere i cambiamenti nello sfruttamento delle risorse economiche, il tasso di formazione del capitale ed il suo sviluppo nel tempo, la composizione e la crescita demografica, la tecnologia e le precise qualifiche delle singole popolazioni, l'efficienza istituzionale, organizzativa e il set-up di base dell'economia nel suo complesso. Per quanto riguarda questo concetto, è dunque utile rifarsi ai lavori di Meier e Baldwin (1975)², Okun e Richardson (1964)³ i quali hanno compreso che tale fenomeno può essere descritto come una catena di cambiamenti correlati che riguardano fattori fondamentali dell'offerta e la struttura della domanda, che permettano una crescita economica del prodotto nazionale netto di un Paese nel lungo periodo.

Ovviamente non sempre è necessario che entrambi i tipi di crescita siano presenti in un'economia con tassi molto elevati: ad esempio, un'economia sviluppata può non aver bisogno di un tasso di crescita consistente, ma comunque deve tenere sotto controllo il suo tasso di sviluppo, in modo da rendere sempre più stabile e sostenibile il proprio

¹ Cfr Smith A. (1975), *La Ricchezza delle Nazioni*, Grandi Tascabili Economici Newton, Roma.

² Cfr. Meier G. M., Baldwin R. E. (1975), *Economic Development*, John Wiley & Son Ltd.

³ Cfr. Okun B., Richardson R. W. (1964), *Studies in Economic Development*, Holt, Rinehart e Winston.

processo economico, con attenzione alla società e all'ambiente in cui opera. In Paesi in via di sviluppo, come ad esempio il Nepal, entrambi i tipi di sviluppo sono necessari affinché si verifichi un processo di graduale raggiungimento dei tassi di crescita delle economie più avanzate e modernamente strutturate. Un esempio in cui questo fenomeno non è avvenuto è la Cina, con la sua crescita senza precedenti degli ultimi due decenni, ma con i suoi elevatissimi livelli di inquinamento e la sua scarsa attenzione per la qualità della vita ed il livello delle retribuzioni della sua popolazione. Quando le politiche economiche non rispettano la necessità di ottenere equilibrati livelli di crescita e di sviluppo, allora si dovranno attuare in futuro provvedimenti anche amari che permettano alla società e all'economia di tali Paesi di rientrare negli standard che tutto il mondo avanzato si è ormai prefissato di raggiungere o di mantenere.

Sulla crescita economica in generale si è discusso per molto tempo e ancora oggi l'argomento suscita grande interesse anche per la possibilità di gestione dei parametri dei modelli e la grande flessibilità della struttura neoclassica alla sua base. Un ruolo importante in questi modelli è stato dato nel tempo all'accumulazione di capitale durante il processo di crescita e recenti studi come quelli condotti da Rosenstein-Rodan (1964)⁴, Nurkse (1952)⁵ e Lewis (1954)⁶ hanno dato una particolare enfasi a questo aspetto della crescita. Altri modelli successivi, come quello di Harrod-Domar (1954)⁷ hanno di seguito posto l'accento sul ruolo del tasso di interesse, fortemente legato all'accumulazione di capitale poiché correlato o addirittura uguale all'investimento (in un'economia chiusa e priva dell'intervento pubblico, come nel modello di Solow del 1961⁸). In questo modello si dimostra che un tasso di interesse più elevato porta ad una crescita più elevata, dato un rapporto capitale-output costante.

Purtroppo, l'ipotesi di un tasso costante tra capitale e produzione è stata definita irrealistica dallo stesso Solow che, impostando una funzione di produzione in stile neoclassico con rendimenti marginali decrescenti, ha dimostrato che nel lungo periodo il

⁴ Cfr. Rosenstein-Rodan P. N. (1964), *Capital formation and economic development*, Routledge Library Edition: Development.

⁵ Nurkse R. (1952), *Some International Aspects of the Problem of Economic Development*, The American Economic Review, Vol. 42, No. 2, pp. 571-583.

⁶ Lewis W. A. (1954), *Economic Development with Unlimited Supplies of Labour*, The Manchester School, Vol. 22, No. 2, pp. 139-191.

⁷ Jorgenson D. W., *The Development of a Dual Economy*, The Economic Journal, Vol. 71, No. 282, pp. 309-334.

⁸ Solow R. (1961), *A Contribution to Theory of Economic Growth*, Quarterly Journal of Economics, Vol. 70, No. 1, pp. 65-94.

tasso di crescita si sarebbe fermato e addirittura annullato a seguito della forte pressione data dall'eguaglianza tra l'accumulo di capitale e la sua svalutazione che, nel lungo periodo, tendono ad eguagliarsi. Il modello di Solow-Swan, dunque, prevede un'importante equazione alla base del meccanismo di formazione dello *steady state*: se, durante la transizione al lungo periodo, infatti, il tasso di crescita del capitale per addetto supera il suo tasso di deprezzamento, ci troviamo in una situazione di tasso di crescita positivo, che condurrà ad uno stato stazionario in cui tale tasso di crescita si annullerà.

Tramite questo tipo di modelli è dunque difficile proiettare un tasso di crescita dell'economia in un sistema in cui vigono sempre i rendimenti marginali decrescenti per le funzioni di produzione. Le condizioni Inada⁹, infatti, molto importanti perché applicate alla funzione di produzione ne determinano le condizioni di stabilità nel breve periodo, conducono però ad un equilibrio con tasso di crescita nullo, se non si stimolano i parametri in qualche modo alternativo. Le condizioni Inada, portano una funzione dalla produzione zero, qualora non si utilizzi uno dei due fattori produttivi o non si utilizzino entrambi, verso l'infinito ma con una funzione concava, come quella del radicale, che produce rendimenti marginali decrescenti (quindi una derivata prima positiva e una derivata seconda negativa) rispetto a tutti i singoli fattori produttivi, generando nei modelli di crescita economica un tasso nullo nel lungo periodo. Anche Krugman nel 1994, ha evidenziato la non sostenibilità di un miracolo economico basato sulla crescita degli input.

La teoria neoclassica della crescita economica, che ha come suoi capostipiti Abramovitz (1956)¹⁰ e Solow (1961), guardano allo sviluppo come determinato dallo sviluppo tecnologico, considerato esogeno nei primi modelli. L'innovazione tecnologica, di fatto, è un fattore caotico che non è, probabilmente, predeterminabile o controllabile completamente: la maggior parte delle scoperte e delle invenzioni, nel corso del tempo, è stata prodotta dal caso o dalla ricerca di singoli individui che temerariamente si addentravano in nuove materie o approfondivano quelle già note con un occhio critico differente. Non è raro, infatti, che le imprese appartenenti a particolari settori in cui la ricerca è considerata fondamentale, rinuncino ad una parte di tale settore poiché la

⁹ Inada K. (1963), *On a Two-Sector Model of Economic Growth: Comments and a Generalization*, The Review of Economic Studies, Vol. 30, No. 2, pp. 119-127

¹⁰ Abramovitz M. (1956), *Resource and Output Trends in the U.S. since 1870*, The American Economic Review, Vol. 46, No. 2, pp. 5-23

determinazione del settore corretto in cui investire è molto complesso o addirittura impossibile (non sono rari i casi in cui imprese farmaceutiche rinunciano completamente alla ricerca interna, acquistando altre imprese con medicinali già sviluppati e brevettati, conquistando profitti a breve termine di notevole entità).

Purtroppo, le teorie neoclassiche che non cercano di spiegare le motivazioni alla base dello sviluppo tecnologico e del progresso sociale, non hanno molto da offrire ad un policy maker che cerca una vita per lanciare un settore o rilanciare l'intera economia: ci dicono solamente che è necessario realizzare un importante numero di innovazioni, tale da generare nuovi cicli economici virtuosi. In sintesi, tali modelli, comunque raffinati da un punto di vista analitico e degni di far parte della letteratura economica, ci dicono semplicemente che la ricerca è importante, ci spiegano il perché, ma non spiegano il come, che in periodi come quelli che stiamo vivendo, risulta di fondamentale importanza.

L'evoluzione di tali teorie, dunque, è stato lo sviluppo dei modelli di crescita endogena, che cercavano (e ancora studiano) le determinanti dello sviluppo tecnologico e del suo ruolo nella crescita economica di uno Stato. Lo scopo iniziale di tali teorie era quello di spiegare il motivo della maggior crescita delle economie con una presenza abbondante di capitale, rispetto ad economie in cui tale risorsa scarseggia. Inoltre, i modelli che appartengono a queste scuole, come la nuova geografia economica, tentano di abbandonare l'ipotesi dei rendimenti marginali decrescenti, cercando di comprendere le basi dei rendimenti crescenti, che apparivano allora ed oggi come le determinanti del tasso di crescita perennemente positivo delle economie più ricche.

Uno dei principali esponenti di queste teorie è stato Paul Romer¹¹ che, nel 1986, fondò le basi della teoria della crescita endogena tramite il suo articolo *Increasing Return and Long-Run Growth*. In questo articolo, l'approccio rivoluzionario di Romer fu quello di partire dal concetto che in un'economia il tasso di crescita era governato dal processo di accumulazione di conoscenza. In tali modelli, molto spesso, l'accumulazione di conoscenza è rappresentata dal numero di nuovi beni intermedi che vengono generati dal settore ricerca e sviluppo o da un'industria a parte che si occupa di avanzamento tecnologico. Le nuove varianti dei beni intermedi servono per creare nuovi prodotti e beni finali. Tramite questa impostazione, la nuova scuola della crescita endogena produce una

¹¹ Romer P. (1986), *Increasing Return and Long-Run Growth*, The Journal of Policy Economy, Vol. 94, No. 5, pp. 1002-1037.

visione alternativa a quella dei rendimenti marginali decrescenti per la funzione di produzione e nell'investimento del capitale.

È in questo frangente che emerge il concetto di spillover tecnologici, cioè le esternalità positive che emergono a seguito del progresso tecnologico e della sua diffusione. Gli spillover possono configurarsi in vari modi, a seconda del parametro che i modelli matematici vanno a modificare e dei fenomeni che scelgono di studiare: possono riguardare la diffusione della conoscenza, tacita o espressa, all'interno di un cluster oppure possono essere generati all'interno della stessa realtà, grazie alla conoscenza cumulata durante la produzione dei nuovi beni intermedi e la gestione del processo produttivo. Un nuovo bene intermedio, infatti, aumenta la conoscenza riguardo la produzione, rende più specializzati i lavoratori e, soprattutto, rende il prodotto marginale dell'investimento in capitale un fattore non più decrescente nel tempo.

Il ruolo delle esternalità nella determinazione del tasso di rendimento dell'investimento in capitale è stato studiato molto bene negli anni successivi, come ad esempio nel modello di Todaro e Smith del 2009. L'investimento in tecnologia, dunque, permette alla funzione di produzione di ottenere rendimenti crescenti nei fattori produttivi che utilizzano tale tecnologia, dato che l'utilizzo dello sviluppo tecnologico permette la scoperta di nuove combinazioni di fattori produttivi ed il miglioramento dei processi esistenti. Il tutto può ridurre i costi totali di produzione, permettendo ad un'economia di avanzare più di un'altra e quindi di riuscire a detenere una posizione di leadership nel proprio settore. Dunque i rendimenti marginali crescenti vanno a braccetto, in questi modelli, al concetto di concorrenza imperfetta, in cui l'accumulazione di conoscenza può generare uno squilibrio di mercato e quindi una fonte di potere per una o più imprese, autorizzando di fatto la creazione di cluster, monopoli, duopolio e, in generale, forme di mercato in cui la concorrenza viene limitata in modo automatico e naturale.

Secondo Romer, dunque, la conoscenza è dotata di una esternalità naturale e quindi non è brevettabile o secretabile al 100%. Qui si è aperto il mondo della diffusione tacita delle conoscenze e molti scienziati, ricercatori e docenti si sono dedicati allo sviluppo di modelli matematici in cui parte della conoscenza poteva essere tramandata in via orale o informale e parte, invece, tramite la codificazione dei processi produttivi. Ovviamente, tali metodi di diffusione della tecnologia e del sapere hanno portato allo sviluppo di teorie molto interessanti, nel tentativo di spiegare come le differenti visioni della conoscenza

potessero essere considerate come mezzo veicolante la crescita costante di un'economia capace di sfruttarne i vantaggi e le potenzialità.

Cerchiamo ora di comprendere al meglio l'aspetto tecnico del modello di Romer. Per lo sviluppo della crescita economica endogena, ci voleva quattro precondizioni: lavoro, capitale umano (educazione e formazione), capitale e un indice di livello tecnologico iniziale. La più importante intuizione di Romer fu quella di comprendere che alla base del processo di crescita endogena non vi fosse il tasso di crescita della popolazione, ma la dinamica associata allo sviluppo del capitale umano: in tal caso, dunque, il focus del modello sarebbe stato l'investimento in ricerca e sviluppo e non in capitale fisico e nella sua accumulazione. La potenza del modello di Romer, infatti, non era quella di aver proposto nuovi metodi matematici di chissà quale livello applicati a concetti economici di difficile comprensione: il modello matematico spiega una caratteristica dei cicli economici fondamentale e che era rimasta sopita fino ad allora, ma di cui tutto il mondo aveva bisogno di parlare. La ricerca, la formazione e l'educazione sono i cardini dello sviluppo di una società industriale avanzata e devono essere tenuti in considerazione quando si parla di crescita di un paese in termini dinamici e di sviluppo sostenibile.

Il messaggio che la teoria della crescita endogena vuole passare durante gli anni in cui è stata sviluppata per la sua maggior parte, era quello di accettare il punto di partenza dei Paesi da un punto di vista tecnologico e di sviluppare endogenamente il proprio tasso di crescita sfruttando al meglio le risorse a disposizione. Si tratta, dunque, di uno stop molto forte al concetto tipico dell'economia internazionale neoclassica, in cui la ricchezza di un Paese era interpretata come la conseguenza della sua dotazione iniziale di ricchezza. Si pensi, ad esempio, al modello di Heckscher-Ohlin¹² e al suo teorema, che tale concetto ribadisce e ne dà una spiegazione analitica. A quanto pare, le cose nella realtà non vanno così: in una realtà imperfetta, piena di spillover e imperfezioni di mercato, un Paese deve sfruttare le risorse a sua disposizione per creare il proprio *pattern* di crescita economica nel lungo periodo. Elemento di particolare ilarità di questi modelli era che inizialmente non sembravano applicabili alle economie più povere: la storia degli ultimi anni ci ha dato invece dimostrazione che si trattava di una visione che si sarebbe poi realizzata (si

¹² Feenstra R. C. (2004), *The Heckscher-Ohlin Model*, Advanced International Trade: Theory and Evidence. Princeton University Press, pp. 31-63.

vedano Cina, India e Paesi simili, in cui il semplice sfruttamento delle risorse a disposizione, che fossero anche solamente quelle inerenti la capacità di imitazione dei prodotti occidentali, ha portato a tassi di crescita incredibili, anche se non sostenibili da tutti i punti di vista principali).

Un'ulteriore questione inerente il trattamento della questione della crescita economica nella letteratura è quella delle politiche da adottare per migliorare la qualità dei posti di lavoro in economie che hanno già a disposizione un discreto livello di ricchezza. In questo caso, l'attenzione deve essere sviluppata attraverso l'incremento ed il miglioramento dei sistemi educativi, dell'istruzione, delle infrastrutture, dell'accesso al mercato e al lavoro per le fasce della popolazione più deboli e la gestione sempre migliore delle proprie predisposizioni naturali. Sarà dunque necessario considerare sempre al meglio le dotazioni del proprio Paese e non voltare mai le spalle a quelli che sono i vantaggi naturali di un'economia, magari sfruttati durante il periodo di iniziale crescita e dimenticati in quelli di relativa stabilità.

Le teorie della crescita endogena hanno prodotto numerosi studi successivi a quello di Romer che hanno creato dei casi successivi e delle espansioni dinamiche e analitiche del modello molto interessanti. Sono certamente da citare i lavori di Krugman (1990 e 1993)¹³¹⁴, Murphy et al. (1989)¹⁵ e Aghion e Howitt (1998)¹⁶.

Il modello di Krugman del 1990 presenta un semplice modello di crescita che mostra come un Paese possa endogenamente differenziarsi, trasformandosi da un'economia di tipo agricolo ad un'economia di tipo industriale. Al fine di realizzare economie di scala che abbiano l'obiettivo della minimizzazione dei costi di trasporto, le industrie manifatturiere tendono a localizzare le proprie imprese nei luoghi in cui si concentra la maggiore domanda, la quale dipende a sua volta dalla localizzazione delle industrie. Da questo modello, dunque, emerge una questione di attrazione e dipendenza di tipo centro-periferia che dipende dai costi di trasporto, dalle economie di scala e dalla quota di manifattura nel reddito nazionale. Quando parliamo di questo tema, ci stiamo

¹³ Krugman P. (1990), *Increasing Returns and Economic Geography*, NBER Working Papers 3275, National Bureau of Economic Research.

¹⁴ Krugman P. (1993), *Inequality and the Political Economy of Eurosclerosis*, CEPR Discussion Papers 867.

¹⁵ Murphy K., Schleifer A., Vishny R. (1989), *Income Distribution, Market Size, and Industrialization*, The Quarterly Journal of Economics, No. 104, pp. 537-564

¹⁶ Aghion P., Howitt P. (1998), *Endogenous Growth Theory*, MIT Press

quindi riferendo alla nascita di una delle scuole più affascinanti della storia che riguarda l'analisi della crescita e della sua sostenibilità, cioè la Nuova Geografia Economica, della quale Krugman è il riconosciuto capostipite.

Lo studio della geografia economica in senso analitico, e quindi tramite l'utilizzo di strumenti matematici come l'ottimizzazione intertemporale, ha tuttavia prodotto un piccolo spazio nello scibile economico e letterario: quando parliamo di tale scuola, ci riferiamo allo studio teorico e analitico della localizzazione nello spazio della distribuzione e dei fattori produttivi. Se ci riferiamo allo studio della geografia economica, comunque, possiamo anche identificare alcuni lavori di importanza strategica per la letteratura economica e anche a livello di applicazione pratica dei concetti: si vedano a tal proposito i lavori di von Thünen (1826) e Hotelling (1929).

Quello della crescita è dunque uno dei principali studi in ambito economico, soprattutto perché la sostenibilità della crescita è la più importante determinante dello standard di vita e della sua qualità. Non c'è nulla, dunque, di fondamentale quanto apprendere quali siano le determinanti della crescita economica e di come funzioni il caos che determina l'innovazione e lo sviluppo, con tutte le conseguenze che questi fenomeni hanno per la società nel suo complesso. Dato che il fine ultimo della crescita è un miglioramento della qualità della vita della popolazione (almeno in teoria), il capitale umano è stato identificato come principale fattore per lo sviluppo.

Non può di certo essere negato il fatto che lo sviluppo del fattore umano sia dal punto di vista dell'educazione che delle abilità professionali sia il motore di una crescita di qualità per un Paese di qualsiasi tipo e cultura: nessuna nazione potrà mai svilupparsi senza un adeguato livello di investimento in istruzione e formazione del proprio capitale umano; i differenziali tra i tassi di crescita del prodotto nazionale pro-capite, quindi, non possono essere spiegati tramite ragionamento isolati e separati dallo sviluppo del capitale umano. Le componenti di questo fattore sono, prima di tutto, l'educazione e la salute e sono questi i fattori su cui più si deve puntare se si vogliono dirigere le attenzioni politiche ed economiche verso una crescita di tipo sostenibile nel lungo periodo.

In molti casi, dunque, i modelli economici di grandi maestri della macroeconomia e dello studio degli equilibri in un contesto dinamico, hanno incorporato il capitale umano come variabile e parametro, alla ricerca di una spiegazione a proposito del ruolo giocato dall'educazione, dalla formazione e dal miglioramento delle condizioni di salute nel tasso

di crescita del prodotto nazionale pro-capite. Dato che il capitale umano è identificato tramite la conoscenza cumulata all'interno di un Paese, allora l'educazione è uno dei più importanti ed efficaci metodi per la misurazione del capitale umano stesso ed è proprio in base a questo assunto che sono stati generati i modelli di crescita economica che tengono conto dell'istruzione come fattore contribuente alla crescita del sistema.

Alcuni economisti iniziarono a prendere in considerazione l'utilizzo del tasso di iscrizione scolastico come metodo per la misura del capitale umano. Si faccia, ad esempio riferimento al lavoro di Barro e Lee (1993)¹⁷, i quali attraverso uno studio di 129 Paesi e dei dati tra gli anni 1960 e 1985 hanno concluso empiricamente che l'istruzione femminile stimola l'acquisizione di capitale umano attraverso la prole, cosa che tra l'altro era già stata scoperta da altri studiosi empirici come De Tray (1773), Becker e Lewis (1973)¹⁸. Barro e Lee hanno semplicemente riconciliato le loro conoscenze con quanto scoperto da De Long e Summers (1992)¹⁹, che avevano identificato il ruolo strategico e cruciale dell'inserimento nel mercato del lavoro di tipo produttivo e manifatturiero di figure femminili in posti di responsabilità. A onore del vero, vi sono anche lavori che hanno trovato correlazioni negative e non significanti tra l'istruzione e la crescita economica, come ad esempio quello di Kyriacou (1991)²⁰.

Purtroppo, l'utilizzo del tasso di iscrizione alla scuola è abbastanza critico perché non è in grado di stabilire se chi frequenta gli istituti poi sia di fatto in grado di mettere a frutto le proprie conoscenze nel mercato del lavoro. Così vennero stimulate nuove ricerche di tipo empirico come quella svolta da Nehru, Swason e Dubey (1993)²¹ che cercarono di misurare la relazione tra il capitale umano e gli anni di scolarizzazione cumulati dagli studenti che risultavano avere l'età per l'impiego. Lo stesso tipo di approccio era stato utilizzato da Lau, Jarison e Louat (1991)²² e Psacharopoulos e

¹⁷ Barro R., Lee J. (2013), *A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950-2010*, Journal of Development Economics, Vol. 104, pp. 184-198.

¹⁸ Becker G. S., Lewis H. G., *On the Interaction Between the Quantity and Quality of Children*, Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 2, pp. S279-S288.

¹⁹ De Long J. B., Summers L. H., Abel A. B., *Equipment Investment and Economic Growth: How Strong is the Nexus?*, Brooking Papers of Economic Activity, Vol. 1992, No. 2, pp. 157-211

²⁰ Kyriacou, G. A., (1991), *Level and Growth Effects of Human Capital: A Cross-Country Study of the Convergence Hypothesis*, WP 91-26, C.V. Starr Center for Applied Economics, New York University.

²¹ Nehru V., Swanson E. & Dubey A., (1993), *A new database on human capital stock: sources, methodology and results*, Policy Research Working Paper Series 1124, The World Bank.

²² Stengos T., Kottaridi C. (2008), *Foreign Direct Investment, Human Capital and Nonlinearities in Economic Growth*, WP 20-08, The Rimini Centre for Economic Analysis.

Arriagada (1986)²³. Il risultato di questi studi mostrò una correlazione positiva tra lo stock dell'educazione e la sua influenza sul prodotto interno lordo pro-capite; inoltre gli studiosi hanno trovato una importante correlazione positiva tra lo stock dell'educazione e altri indicatori del capitale umano che riusciva quindi a giustificare l'utilizzo di questo approccio come *proxy* per misurare il capitale umano stesso.

Purtroppo questo metodo contiene dei limiti, a causa di chi ripete gli anni per scarso rendimento e chi abbandona la scuola prima di averla conclusa. Queste problematiche, pur essendo di poco conto da un punto di vista di numerosità assoluta, possono influenzare a livello di dati complessivi, di diversi punti percentuali le stime. Si pensi, ad esempio, ad una classe in cui, almeno una volta l'anno, una persona viene costretta a ripetere l'anno scolastico per scarso rendimento: tale fenomeno, che supponiamo avvenga in una classe di 20 persone, costituisce il 5% del totale. A livello di macro dati, tale distorsione può generare dei problemi di inferenza da non sottovalutare.

Un approccio più sofisticato al fine di misurare il capitale umano è quello di considerare il rendimento che una persona ottiene da un mercato del lavoro attraverso l'investimento in istruzione. Mulligan e Sala-i-Martin (1995)²⁴ definiscono la presenza di capitale umano utilizzando il reddito percepito da ciascuna persona secondo la concezione, da essi stessi definita, secondo la quale ciascuno guadagna per quello che dimostra di essere a livello del capitale umano accumulato durante la propria istruzione e la propria formazione. In sintesi, secondo i due scienziati, la qualità di una persona può essere misurata tramite il salario percepito nel mercato del lavoro: tale misura è stata quindi chiamata lavoro-reddito. Purtroppo in questo studio il problema principale è stato l'utilizzo degli anni medi di scolarizzazione, che vennero dispersi grazie alla grande crescita avvenuta negli anni Ottanta e che fece divenire fuorviante il rapporto lavoro-istruzione che invece era alla base della ricerca empirica di Mulligan e Sala-i-Martin.

Un altro importante filone che collega il capitale umano alla crescita di un Paese è stato certamente quello che ha identificato l'istruzione come fattore principale scatenante di un miglioramento della propria posizione professionale e quindi reddituale nel futuro. In effetti, l'educazione è un importante tassello della propria formazione professionale poiché garantisce l'apprendimento di determinati linguaggi che altrimenti potrebbero

²³ Psacharopoulos G., Arriagada A. M. (1986), *The Educational Composition of the Labour Force: An International Comparison*, International Labour Review, Vol. 125, No. 5, pp. 561 ss.

²⁴ Sala-i-Martin X. X., Mulligan C. B., *Measuring Aggregate Human Capital*, WP No. 273, EconStor

essere fraintesi o mal gestiti dalla popolazione. Si pensi, ad esempio, all'educazione finanziaria: se fin da giovani le persone vengono abituate a parlare di denaro, previdenza sociale integrativa e risparmio, saranno certamente più inclini a gestire e a partecipare attivamente alla vita economica di un Paese e della propria famiglia, e saranno certamente incentivati a valutare professioni che hanno a che fare con la finanza. Così vale per qualsiasi altro scibile della conoscenza umana, cosicché si possa costruire una rete di possibilità per le future generazioni, che riescano ad identificare nello studio e nell'istruzione un metodo di sicuro miglioramento della propria posizione professionale e di apertura verso nuove possibilità e nuove strade che altrimenti sarebbero loro negate.

Talvolta, però, il cosiddetto capitale sanitario non viene considerato tramite i consueti metodi di calcolo del capitale umano: l'indice di fertilità, la salute e la mortalità infantile sono, infatti, molto spesso omessi dalle concezioni di misura di tali fenomeni. Il capitale sanitario è una fonte di educazione e di guadagni futuri, come possiamo riscontrare anche grazie ai lavori di grandi studiosi come Grossman (2000)²⁵, Case, Fertig e Paxson (2005)²⁶, Currie e Madrian (1999)²⁷ e Smith (1999)²⁸. Un capitale sanitario contenuto e povero, infatti, ha molte ripercussioni sul futuro tasso di crescita di una nazione, poiché impatta sul grado educazione e sullo status economico generale della popolazione. Questo tipo di capitale può avere una forte influenza sia nel breve periodo (si vedano, a tal proposito, i lavori di Strauss e Thomas, 1998²⁹, Currie e Stabile, 2006³⁰) che nel lungo periodo (si vedano, a tal fine, i lavori di Cunha e Heckman, 2007³¹, Currie e Hyson, 1999³²).

Il tutto può essere sintetizzato in maniera esemplare tramite la citazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità su Macroeconomia e Salute, che nel 2001

²⁵ Grossman M. (2000), *The Human Capital Model*, Handbook of Health Economics, Vol. 1, Parte A, Capitolo 7, pp. 347-408.

²⁶ Case A., Fertig A., Paxson C. (2005), *The Lasting Impact of Childhood Health and Circumstance*, Journal of Health Economics, Vol. 24, No. 2, pp. 365-389.

²⁷ Currie J., Madrian BC (1999), Vol. 3, Parte C, Capitolo 50, pp. 3309-3416.

²⁸ Smith J. P. (1999), *Healthy Bodies and Thick Wallets: The Dual Relation Between Health and Economic Status*, Journal of Economic Perspectives, Vol. 13, No. 2, pp. 145-166.

²⁹ Strauss J., Duncan T. (1998), *Health, Nutrition, and Economic Development*, Journal of Economic Literature, Vol. 36, No. 2, pp. 766-817.

³⁰ Currie J., Stabile M. (2006), *Child Mental Health and Human Capital Accumulation: The Case of ADHD*, Journal of Health Economics, Vol. 25, No. 6, pp. 1094-1118.

³¹ Cunha F., Heckman J. (2007), *The Technology of Skill Formation*, American Economic Review, Vol. 97, No. 2, pp. 31-47.

³² Currie J., Rosemary H. (1999), *Is The Impact of Health Shocks Cushioned by Socioeconomic Status? The Case of Low Birthweight*, American Economic Review, Vol. 89, No. 2, pp. 245-250.

afferma che lo sviluppo economico ha alla sua base il miglioramento della salute e della longevità della popolazione più povera. Tramite la realizzazione di questo obiettivo, inoltre, è possibile raggiungerne altri che includono tutti la riduzione generale della povertà in tutto il mondo. Nel lungo periodo, i legami tra salute, riduzione della povertà e crescita economica sono molto forti, anche se la percezione generale non è molto attiva in tal senso. Gli sforzi, quindi, che devono essere fatti e i provvedimenti che devono essere messi in pratica per riuscire ad intervenire nei Paesi in Via di Sviluppo al fine di garantire una sanità migliore e quindi una cultura più elevata ed una crescita responsabile e sostenibile, sono molti e i loro benefici di lungo periodo riuscirebbero a far rientrare alcune problematiche legate alla gestione dei rapporti internazionali anche a livello diplomatico.

Purtroppo, per quanto riguarda la letteratura, sia teorica che empirica, che mostri l'impatto della salute sulla crescita economica nel lungo periodo è molto povera. Vi sono stati esperimenti abbastanza recenti condotti ad esempio da Thomas e Franckberg (2002)³³ che hanno scoperto come un intervento per il miglioramento del sistema sanitario porti a guadagni importanti nel lungo periodo; inoltre le loro ricerche riuscirono a dimostrare che, empiricamente parlando, la salute e la nutrizione possono essere utilizzati come adeguati indicatori per comprendere il futuro successo economico di una nazione. A livello macroeconomico, infatti, sono molti gli studiosi che ritengono importanti il settore sanitario e la cura per il suo capitale come fattori stimolanti una crescita economica positiva: tra questi possiamo citare i lavori di Barro (1996)³⁴, Bloom e Canning (2003)³⁵, Bloom Canning e Sevilla (2004)³⁶, Gyiman-Brempong e Wilson (2004)³⁷. Tutti questi studi hanno identificato una correlazione positiva tra gli indicatori della bontà di un sistema sanitario e l'output aggregato prodotto da un'economia.

³³ Thomas D, Frankenberg E. (2002), *Health, Nutrition and Prosperity, A Microeconomic Perspective*, Bulletin of the World Health Organization, Vol. 80, pp. 106-113.

³⁴ Barro R. (1996), *Health, Human Capital and Economic Growth*, World Health Organization.

³⁵ Bloom D. E., Danning D. (2003), *The Health and Poverty of Nations: From Theory to Practice*, Journal of Human Development, Vol. 4, No. 1, pp. 47-71.

³⁶ Bloom D. E., Danning D., Sevilla J. (2004), *The Effect of Health on Economic Growth: A Production Function Approach*, World Development, Vol. 32, No. 1, pp. 1-13.

³⁷ Kwabena G. B., Wilson M. (2004), *Health Human Capital and Economic Growth in Sub-Saharan African and OECD Countries*, The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol. 44, No. 2, pp. 296-320.

1.2 – Crescita economica e ambiente: literature review

Il nesso energia-ambiente-crescita è stato attivamente studiato dagli economisti durante gli ultimi 30 anni: in questo paragrafo cercheremo di dare un ordine a tutte le ricerche in questo campo, elencando e spiegando le principali scoperte empiriche ed i principali modelli che sono stati sviluppati nel corso del tempo. L'ambiente, inteso come risorsa economica in grado di generare profitti ed esternalità positive nel lungo periodo, è infatti un importante tassello del processo produttivo delle aziende moderne che devono sottostare a sempre più stringenti normative ambientali man mano che le proprie economie diventano più raffinate e sviluppate e quindi sempre più attente al benessere delle generazioni successive a quelle che attualmente le stanno rappresentando.

Nella letteratura, man mano che la scorriamo e scopriamo i vari momenti che più rappresentano i progressi scientifici ed empirici di questo ambito di studi, possiamo trovare moltissimi modelli che si sono concentrati sugli strumenti di regolamentazione che dovrebbero avere o che hanno già a disposizione i policy maker per riuscire a gestire al meglio i provvedimenti che devono essere emanati a tutela dell'ambiente con scopi di breve e di lungo periodo (Islam e Lopez, 2015)³⁸. Questi studi si focalizzano su due aspetti principali: in primo luogo sugli strumenti di natura commerciale, ampiamente studiati e largamente dibattuti; in secondo luogo gli strumenti di tipo impositivo, con molta meno letteratura e molta meno analisi a dispetto di quanto possa pensare uno studente che per la prima volta si avvicina all'economia ambientale e incontra le tasse pigouviane.

Se facciamo riferimento ad un concetto di ambiente più ampio di quello che normalmente s'intende, possiamo annoverare tra la letteratura a tema anche gli scritti di alcuni studiosi delle epoche classiche dell'economia: Thomas Malthus³⁹, in particolare, già sosteneva che la popolazione del mondo fosse in una trappola costituita dall'eccessivo sfruttamento delle risorse a fini economici e che tale situazione le avrebbe prima o poi esaurite. In questo caso, la miseria futura, avrebbe impedito alla fine di generare tassi di crescita positivi sia per l'economia che per la società nel suo complesso. Ovviamente si parla di altri tempi, e Malthus si riferiva al sovraffollamento terrestre, che all'epoca sembrava dover diventare un problema reale entro poco tempo: l'economista classico

³⁸ Islam F., Lopez R. (2015), *Government Spending and Air Pollution in the U.S.*, International Review of Environmental and Resource Economics, Vol. 8, No. 2, pp. 139-189

³⁹ Malthus T. (1798), *An Essay on the Principle of Population*, W. Pickering, London, 1986

infatti proponeva come misure per gestire e limitare questo fenomeno il controllo delle nascite e alcuni controlli positivi che potessero aumentare il tasso di mortalità.

Data questa impostazione ed alcune altre affermazioni di Malthus, il quale sosteneva che il miglioramento dello sfruttamento delle risorse agricole non sarebbe comunque bastato a migliorare la futura situazione e che quindi non avrebbe fermato il circolo vizioso che oramai era iniziato, non sorprende sapere che l'economia allora era considerata come la triste scienza (Heilbroner, 1953)⁴⁰. Bisogna ovviamente ricordare che l'economia classica non era una scienza basata sulla gestione analitica dei fenomeni e le analisi di statica comparata, ma era formata per lo più di filosofi che riuscivano a percepire i primi concetti guardando ad un tessuto economico che doveva ancora aprirsi al vero e proprio liberismo e che era ancora in qualche modo basato sull'andamento dei cicli naturali in molte parti del mondo. La prima rivoluzione industriale era appena terminata e le profonde trasformazioni dell'economia prodotte da tale fenomeno non erano ancora mature come lo sono state nel Novecento: è chiaro, dunque, che era molto difficile per gli economisti riuscire a pensare ad un futuro positivo in termini di crescita e prosperità.

Tuttavia, le cose sono poi cambiate e fino agli anni Settanta del Novecento l'economia aveva conosciuto un grado di sviluppo e di crescita talmente elevato da non far emergere il problema del degrado ambientale o, perlomeno, a non farlo sentire come un vero e proprio problema, caratterizzato da un'urgenza tale da dover essere considerato e risolto al più presto. In questo senso, dunque, possiamo fare riferimento a quanto scritto da Brock (1973)⁴¹, che parlava di una teoria economica ancora parziale, a causa dell'assenza della considerazione del problema ambientale come vincolo per lo sfruttamento delle risorse. Vent'anni dopo, infatti, nel 1990, Daly⁴² scrisse a proposito del fallimento delle politiche macroeconomiche ambientali e quindi anche dei tentativi di far rientrare nella contabilità nazionale la problematica ambientale.

Il trattamento macroeconomico della politica ambientale considera l'allocazione ottimale di un dato flusso di risorse all'interno dell'economia, ma trascura la scala e la

⁴⁰ Heilbroner R. (1953), *The Worldly Philosopher: The Lives, Times and Ideas of the Great Economic Thinkers*, Simon & Schuster

⁴¹ Brock W. A. (1973), *A Polluted Golden Age*. In: Smith, V. L. (Ed.), *Economics of Natural and Environmental Resource*, Gordon & Breach, New York, pp. 441-461

⁴² Daly H. (1990), *Commentary: Toward Some Operational Principles of Sustainable Development*, *Ecological Economics*, Vol. 2, pp. 1-6

composizione dell'attività economica relativa all'ecosistema che la sostiene. Questo significa, in parole più semplici, che la macroeconomia aveva fino ad allora considerato come allocare ottimamente le risorse a disposizione di una società, ma non aveva considerato che tali risorse dovevano potersi rigenerare nel tempo se si volevano ottenere condizioni di crescita sostenibile nel lungo periodo (Daly, 1991, Heyes, 2000)⁴³⁴⁴. Il problema per il policy maker è che la questione ambientale, normalmente, è abbastanza impopolare perché percepita dalle generazioni che vengono coinvolte nei regolamenti e nelle imposizioni che riguardano tale sfera della politica, come un'inutile coercizione: infatti, la tematica ambientale, calata in un contesto di tipo economico, non riesce a generare quasi mai condizioni per il miglioramento della produzione e per la sua espansione, ma si configura nella maggior parte dei casi come l'aggiunta di nuovi vincoli che altrimenti non ci sarebbero.

Uno strumento teorico molto importante nella tematica ambientale a livello macroeconomico è il modello a flusso circolare. Nella formulazione standard di questo modello sono previsti due agenti economici (consumatore e produttore) che interagiscono tra di loro tramite lo scambio di beni e servizi: in questa formulazione, perciò, non si considerano le risorse naturali ed il loro sfruttamento. Ma secondo l'economia contemporanea, un sistema è prodotto dall'interazione tra tre fattori principali, capitale umano, capitale fisico e capitale naturale (Lopez et al. 2010)⁴⁵. Quest'ultimo comprende le risorse naturali e la qualità ambientale, quindi tutto ciò che riguarda l'ambiente in senso lato, che concede alle imprese di gestire la propria produzione sia da un punto di vista dello stabilimento dei fattori produttivi che della trasformazione degli stessi in prodotti finiti, acquistabili dal consumatore finale.

Si è dunque pensato che il modello a flusso circolare potesse essere migliorato inserendo la biosfera che poteva essere trattata da due punti di vista differenti: il primo è quello di un fornitore di beni e servizi per il processo produttivo delle imprese; il secondo è quello di ricettore di output indesiderati dai processi di produzione e consumo (ci riferiamo dunque all'inquinamento, agli scarti e ai rifiuti in generale) (Harris e Codur,

⁴³ Daly H. (1991), *Elements of Environmental Macroeconomics*, Capitolo 3 in Costanza R., *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, Columbia University Press, New York

⁴⁴ Heyes A. (2000), *A Proposal for Greening of Textbook Macro: IS-LM-EE*, Ecological Economics, Vol. 32, pp. 1-7

⁴⁵ Lopez R., Thomas V., Wang I. (2010), *The Quality of Growth: Fiscal Policies for Better Results*, IEG World Bank

2004)⁴⁶. Quando parliamo di sistema ambientale e di capitale ambientale, dunque, ci riferiamo ad una generale struttura fisica su cui tutto il processo di trasformazione basa la propria esistenza e all'interno del quale si sviluppano i rapporti di scambio di beni e servizi tra imprese e produttori: si tratta quindi di un terzo agente economico oltre a questi due, che può essere dunque coinvolto nelle scelte economiche e che rappresenta sia un nuovo vincolo che una nuova opportunità di espansione della produzione. Seguendo dunque i lavori di Harris e Codur (2004), la biosfera può essere completamente integrata nell'attività economica.

Grazie a questa impostazione, dunque, sono seguiti molti altri lavori sia teorici che empirici, come quello di Kumbhakar e Tsionas (2016)⁴⁷ che hanno esaminato il processo di produzione ambientale e sottolineato l'esistenza di inefficienze nelle tecnologie dei sottoprodotti (significa, in sostanza, che vi sono delle quantità massime dei prodotti indesiderati che non devono essere superate, ma che vengono comunque superato in ogni caso). I due scienziati hanno inoltre notato che vi erano delle inefficienze anche a livello di input, cosicché non veniva prodotto il massimo output possibile. Date tali premesse, dunque, è opportuno pensare ad un modello più sofisticato, che rappresenti le procedure ed i meccanismi dell'attività economica e le sue interazioni con la biosfera, tenendo conto che determinati sottoprodotti dell'attività economica sono poi riciclati attraverso processi biologici e fisici.

Vista l'importanza che la tematica ambientale ha prodotto durante gli ultimi decenni, sono state molte le ricerche teoriche che hanno tentato di inserire il fattore ambientale all'interno di modelli di crescita. Questi modelli incorporano fattori di inquinamento, crescita delle variabili macroeconomiche pro-capite e degrado ambientale. Alla base di questi modelli vi è la percezione dell'esistenza di un flusso di materiale di scarto come sottoprodotto del processo di produzione che deteriora l'ambiente e riduce, di conseguenza la capacità produttiva delle imprese operanti in un determinato tessuto economico. Un'altra caratteristica molto importante di questi modelli è la considerazione positiva che i consumatori e la società nel suo complesso hanno in merito alla

⁴⁶ Harris J. M., Codur A. M. (2004), *Macroeconomics and Environment*, Global Development and Environment Institute, Boston, MA, USA

⁴⁷ Kumbhakar S. C., Tsionas E. G. (2016), *The Good, The Bad and the Technology: Endogeneity in Environmental Models*, Journal of Econometrics, Volume 190, No. 2, pp. 315-327

preservazione ambientale: tale presupposto, ovviamente, gioca un ruolo fondamentale nelle conclusioni a cui arrivano tali modelli negli equilibri di lungo periodo.

Seguendo il lavoro di Xepapadeas⁴⁸, le funzioni di produzione che possono seguire tale caratteristica impostazione possono essere così espresse:

$$Y = F(K_p, AL, K_a)$$

dove K_p è il capitale che genera inquinamento, AL rappresenta il consueto concetto di efficienza del lavoro che genera accumulazione di capitale, K_a rappresenta il capitale di abbattimento, che aiuta a risolvere il problema dell'inquinamento. Il flusso di emissioni può essere rappresentato da

$$Z = \varphi(K_a)Y$$

dove φ rappresenta le emissioni per unità di output e $\varphi'(K) < 0$, assumendo quindi l'esistenza di tecnologie in grado di ridurre le emissioni.

Alternativamente, l'effetto del flusso di inquinamento, BZ , può essere compreso nella funzione di produzione per catturare l'effetto della produzione sull'inquinamento, ad esempio attraverso il miglioramento della salute della forza lavoro, come proposta da Brock (1973)⁴⁹:

$$Y = F(K, AL, BZ)$$

dove la derivata della funzione fatta rispetto al flusso di inquinamento è positiva. Per quanto riguarda il consumo, la qualità dell'ambiente può entrare a far parte della funzione di utilità assumendo che gli individui ottengano soddisfazione dal consumo di beni e dalla qualità dell'ambiente. Quindi, la funzione di utilità per l' i -esimo individuo sarà la seguente:

⁴⁸ Xepapadeas A. (2005), *Economic Growth and the Environment*, in Maler K. G., Vincent J. R., *Handbook of Environmental Economics*, Edizione 1, Volume 3, Capitolo 23, pp. 1219-1271, Elsevier

⁴⁹ Brock W. A. (1973), *A Polluted Golden Age*, In Smith V. L., *Economic of Natural and Environmental Resources*, Gordon & Brench, New York, pp. 441-461

$$U(c_i, Z)$$

La funzione tramite la quale il governo riesce ad ottenere l'ottimo sociale assume la seguente forma:

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} N(t) U(c(t), P(t)) dt$$

dove $N(t)$ è la popolazione al tempo t , c è il consumo pro-capite e ρ è il tasso di sconto dei flussi di utilità futuri.

Alla luce di quanto sopra capiamo immediatamente la presenza di un forte legame tra lo sviluppo dei modelli di crescita economica e l'inserimento della questione ambientali in tali costrutti teorici: i primi modelli di tali scuole, tuttavia, consideravano dei tassi di crescita tecnologica esogeni e un limitato se non nullo intervento del governo a livello di politiche economiche, come assunzioni di base. Un quadro in cui vi fosse la giustificazione teorica per un intervento più attivo del governo all'interno della vita economica è stato poi dato dalle teorie della crescita endogena, che hanno prodotto un'abbondante letteratura cercando di comprendere le dinamiche sottostanti la generazione del progresso tecnologico. Incorporando il progresso tecnologico come un fattore endogeno della crescita, dunque, si è dato il via ad un nuovo tipo di visione globale dell'economica, in cui il ruolo delle istituzioni che possano garantire fondi per la ricerca, sistemi di brevetti e di protezione delle industrie nascenti, ha ottenuto notevole importanza.

Vi sono dunque tre tipologie di modelli di crescita che è necessario considerare quando ci si riferisce all'inserimento in tale ambito della trattazione ambientale: i modelli con un tasso di risparmio fisso, i modelli con un tasso di progresso tecnologico esogeno e, infine, i modelli di crescita endogena. Nelle seguenti pagine analizzeremo le peculiari caratteristiche di ciascuno di questi costrutti teorici, passando in rassegna i lavori principali che hanno fatto emergere le più interessanti problematiche e le possibili soluzioni alla questione ambientale durante gli anni in cui tale argomento era particolarmente sentito all'interno degli ambienti accademici.

I modelli a tasso di risparmio fisso non contengono processi di ottimizzazione seguiti dagli individui. Dunque, la degradazione ambientale non riduce l'utilità e non è tenuta in considerazione dai singoli agenti economici: si tratta di una situazione che, di fatto, a volte non dista molto dalla realtà, si pensi ad esempio ai Paesi industrializzati, cui è scontato che le istituzioni di occupino della materia ambientale e che vi sia una particolare attenzione da parte degli organi di governo per tale problematica. Ad un certo punto i consumatori subiscono una sorta di disinteresse riguardo la questione ambientale.

Sotto tale condizione, nello stato stazionario, l'inquinamento dell'ambiente cresce ad un tasso fisso pari al seguente:

$$n + g$$

dove n e g rappresentano i tassi esogeni di crescita della popolazione e di progresso tecnologico. Questa impostazione ha come unica conclusione quella di vedere un possibile azzeramento dell'aumento dei fattori inquinanti quando la crescita dell'economia è nulla, cioè quando non crescono né la tecnologia né la popolazione nel tempo. In questo modello è possibile comunque l'inserimento di una tecnologia capace di ridurre le emissioni, ottenendo dei risultati leggermente differenti: in questo caso il livello di inquinamento collegato allo stato stazionario è ridotto tramite l'utilizzo di dette tecnologie il che legittima ovviamente un intervento del governo al fine di incentivare l'adozione di precauzioni tecniche di salvaguardia ambientali.

Una successiva serie di modelli possono essere classificati come modelli di crescita ottima: in questi modelli il problema ambientale è espressamente preso in considerazione tramite l'inserimento di tale problematica all'interno della funzione di utilità dell'agente rappresentativo. In questi modelli l'equilibrio ha le stesse caratteristiche di base del modello di Ramsey-Cass-Koopmans con una variante sul tasso di crescita finale che risulta inferiore rispetto a tale casistica. Questo risultato proviene dall'assenza della considerazione della disutilità dell'inquinamento quindi il degrado dell'inquinamento continuerà fino a quando vi sarà un tasso di crescita esogeno dell'economia e fino a quando vi saranno rendimenti marginali decrescenti per il capitale fisico.

C'è da dire che, d'altro canto, se il problema dell'inquinamento è preso in considerazione dal policy maker, il risultato finale dal punto di vista analitico è la

riduzione dei livelli di equilibrio di stato stazionario per le variabili aggregate prese in considerazione. Questa riduzione è dovuta all'internalizzazione delle esternalità negative prodotte dall'inquinamento, che non fanno altro che limitare la possibilità di espansione della produzione e, in parte, anche del benessere generale (si veda, ad esempio, la tassa). Comunque, anche in questo caso, il tasso di crescita è esogeno e quindi non influenzato dalla situazione ambientale e da tutte le esternalità positive o negative tipiche di imprese che operano in un mercato in cui alcune attività generano effetti che lo attraversano senza peraltro avere un prezzo e poter essere scambiate.

Un altro insieme di modelli proposti dalla letteratura riguarda quelli di crescita endogena che, fondamentalmente, cambia le ipotesi di base dei modelli neoclassici inserendo la possibilità dei rendimenti costanti e quindi intende il capitale in senso lato, includendo anche quello umano sotto forma di conoscenza, avanzamento tecnologico e progresso tecnico. Con queste premesse, i modelli generano dei pattern di crescita stabili e sostenibili anche in presenza di accumulazione del livello di inquinamento nell'economia, sempre tenendo conto di prevenire analiticamente la presenza di rendimenti decrescenti nel settore preposto all'abbattimento delle emissioni. In questi modelli, il fattore fondamentale su cui si basano gli equilibri di lungo periodo trovati, è che la ricerca e lo sviluppo permettono di accumulare conoscenza nella speranza di poter passare da un'economia con una concorrenza molto forte ad un mercato in cui, invece, i profitti sono monopolistici o sotto la forma della concorrenza monopolistica.

In questi casi i modelli sono generati attraverso sistemi che prevedono la presenza dell'ambiente e anche di un settore pubblico che influenza le decisioni private tramite interventi che, a loro volta, possono cambiare gli equilibri di lungo periodo generando distorsioni (non sempre negative) in grado di consentire al mercato di internalizzare i costi esterni dell'inquinamento. Vi sono dunque, in questi modelli, due tipi di esternalità: quelle positive, date dall'accumulazione della conoscenza (anch'esse internalizzate tramite metodi analitici) date dall'accumulazione di capitale umano e tecnico e quelle negative, date dall'inquinamento.

In questi modelli l'intervento governativo può riguardare vari aspetti: in fondo, matematicamente parlando è sufficiente variare alcuni parametri per riuscire a gestire diversi punti di vista in termini di politiche economiche. Si parla infatti di istruzione, ricerca e sviluppo, tasse per l'abbattimento di emissioni, ordine pubblico,

regolamentazione del commercio internazionale, e protezione contro l'inquinamento: tutte queste politiche possono essere suddivise in due principali filoni di indagine: le politiche basate sul mercato e quelle che, invece, utilizzano strumenti di regolamentazione macroeconomica.

Nel 2011, Bithas⁵⁰ ha riflettuto sulla questione fondamentale inerente la possibilità di combinare i due tipi differenti di politiche per assicurare la sostenibilità, al fine di soddisfare le condizioni necessarie e sufficienti riguardo all'internalizzazione delle esternalità ambientali nel lungo periodo. In particolare, gli strumenti convenzionali di politica ambientale possono garantire il benessere ambientale delle generazioni attuali e raggiungere l'efficienza allocativa in condizioni economiche e sociali esistenti. Tuttavia, gli strumenti di comando e controllo, opportunamente progettati per riflettere obiettivi ecologici assoluti che rispettano i diritti ambientali delle generazioni future, potrebbero integrare le regole di pagamento e fornire le condizioni sufficienti per la sostenibilità.

Il problema fondamentale di tutti questi modelli teorici, dunque, è l'indeterminatezza del segno esistente tra ambiente e crescita economica. La questione, in effetti, è piuttosto complessa e coinvolge un numero elevatissimo di fattori, dato che ciascun elemento in economia provoca degli effetti esterni che molto spesso si ripercuotono sull'ambiente e quindi sull'economia stessa. Nella definizione del termine ambiente, infatti, a seconda dell'accezione che se ne fa, sono molti gli elementi che possono contraddistinguere la sua essenza e altrettanti sono, dunque, tutti gli interventi che possono essere portati avanti da un policy maker o dalla società stessa al fine di definire meglio questo rapporto ancora da esplorare e comprendere.

La domanda fondamentale che dobbiamo porci riguarda l'effettiva possibilità che tra ambiente e crescita economica vi possa essere una relazione diretta, che riesca dunque a collimare una crescita produttiva e profittevole ad una sostenibilità ambientale e sociale che permetta il protrarsi dei vantaggi economici nel lungo periodo e alle generazioni che nel futuro dovranno comunque pagare il prezzo prodotto dalle generazioni passate. Il problema delle esternalità, infatti, da tale punto di vista è piuttosto complesso, poiché quando ci occupiamo di scelte intertemporali e quindi di modelli in cui imprese, governo, consumatori e ambiente vivono per più di un periodo o addirittura all'infinito, le

⁵⁰ Bithas K. (2011), *Sustainability and Externalities: Is The Internalization of Externalities a Sufficient Condition for Sustainability?*, Ecological Economics, Vol. 70, pp. 1703-1706

esternalità passano di generazione in generazione, producendo un'accumulazione la cui sostenibilità e quindi il cui abbattimento ottimo diventa variabile strategica per garantire un futuro alla società e all'economia.

Ecco allora che è necessario far intervenire l'aspetto empirico dell'economia, con esperimenti e regressioni che consentano di comprendere appieno l'aspetto meno formale e più sostanziale dell'inquinamento, al fine di permettere la scoperta delle convergenze o divergenze esistenti nel mondo tra crescita economica e crescita ambientale, a seconda dei differenti contesti in cui un policy maker si trova ad operare. In effetti, i modelli matematici, per quanto complessi possano essere, non hanno ancora la capacità di essere specifici in un mondo così variegato come il nostro e sarà dunque forse solo l'empirismo che potrà dirci veramente, Stato per Stato, nazione per nazione e regione per regione, quali siano gli interventi correttivi da apportare in modo da garantire all'economia una crescita sostenibile di lungo periodo.

Quali sono dunque i punti fondamentali sui quali si devono basare le decisioni riguardo le ricerche empiriche in termini di preservazione ambientale (da un punto di vista economico)? In primo luogo, dobbiamo tenere in considerazione che se un regolatore e una società non tengono conto della disutilità dell'inquinamento ambientale, allora la crescita economica si abbasserà man mano che il degrado ambientale aumenterà. Questo, come abbiamo visto, produce dei costi intertemporali che potranno essere troppo alti per le future generazioni che, comunque e inevitabilmente, si troveranno a pagarli.

In secondo luogo, se le esternalità ambientali sono tenute in considerazione, il livello eccessivo di preservazione ambientale potrebbe bloccare una crescita economica adeguata e sostenibile. L'accumulazione di capitale, infatti, viene comunque affiancata dall'accumulazione di inquinamento poiché emissioni dannose e produzione sono due facce della stessa medaglia e devono essere considerate come necessarie al fine di garantire un progresso sociale ed economico costante. In sintesi, produzione e inquinamento sono legati da una relazione diretta ed indissolubile poiché senza l'uno, l'altro non è possibile perciò, qualora si volesse abbattere completamente l'inquinamento, dovremmo abbattere interamente la produzione, portando a zero l'accumulazione di capitale, l'accumulazione della conoscenza, i profitti e la società strutturata come la nostra nel suo complesso. Infine, una crescita sostenibile può essere affiancata ad una

sostenibilità ambientale in presenza di rendimenti non decrescenti nei processi di abbattimento delle emissioni.

La maggior parte degli studi empirici che testano la relazione tra crescita economica e sostenibilità ambientale hanno come obiettivo quello di testare l'esistenza della famosa curva di Kuznets⁵¹, cioè di una relazione concava tra un indicatore di ineguaglianza economica e la crescita economica stessa. Tale costrutto teorico, infatti, postula che in una situazione iniziale in ogni economia il degrado ambientale aumenta fino a quando non si raggiunge un determinato livello di ricchezza e di consapevolezza, tale da richiedere interventi per la preservazione ambientale. In effetti, anche da un punto di vista superficiale, è normale pensare che una crescita economica sospinta da un momento iniziale di euforia, faccia dimenticare alla società e soprattutto al policy maker il benessere, l'eguaglianza e la preservazione ambientale: è un po' quanto sta succedendo in Cina dove, raggiunta una crescita meno forte, si ricerca ora la sostenibilità (anche se con strumenti ancora un po' rudimentali e non troppo efficaci).

In questi termini, dunque, possiamo così classificare il rapporto tra crescita economica e ambiente in termini di effetti prodotti:

- effetto di scala: l'espansione della produzione, a parità di ogni altra condizione (che avviene tramite nuove composizioni degli intermedi già esistenti, nuove scoperte tecniche, progresso tecnologico e accumulazione della conoscenza) aumenta il problema ambientale e la pressione che le attività economiche generano sull'ambiente, incrementando dunque il degrado ambientale⁵²;
- effetto di composizione: durante lo sviluppo economico le tecnologie cambiano poiché durante una fase iniziale l'agricoltura partecipa in gran parte al prodotto interno lordo mentre, durante la maturità del processo, il contributo si sposta verso settori come il secondario che, ovviamente, producono un livello maggiore di emissioni inquinanti. È anche vero che, ad uno stadio successivo in cui la tecnologia e la conoscenza sono accumulato ad un buon livello, la maggior parte del prodotto interno lordo è dovuto alle attività del terziario e del

⁵¹ Kuznets S. (1955), *Economic Growth and Income Inequality*, American Economic Review, Vol 49, pp. 1-28

⁵² Panayotou T. (1993), *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development*, WP 238, Geneva: Technology and Employment Programme, International Labour Office.

terziario avanzato. Questo potrebbe essere il motivo della forma concava della curva di Kuznets che rispecchia i differenti livelli di maturità tecnologica e di consapevolezza nella ricerca di un equilibrio di lungo periodo sostenibile⁵³;

- effetto tecnologico: tale effetto può essere associato a tre diversi interventi che possono ridurre la pressione ambientale e dipendono dall'elasticità di sostituzione nella produzione⁵⁴.

La prima possibilità è quella di sostituire gli input che danneggiano l'ambiente con altri che invece sono ecologicamente più compatibili: in tal caso parleremo di una sostituzione di fattori ad alta intensità di produzione delle emissioni inquinanti a favore di fattori produttivi che, invece, sono il prodotto dell'avanzamento della conoscenza in termini di ricerca e sviluppo ambientale, capaci di integrare un andamento profittevole della produzione con un abbattimento (ovviamente parziale) dell'inquinamento.

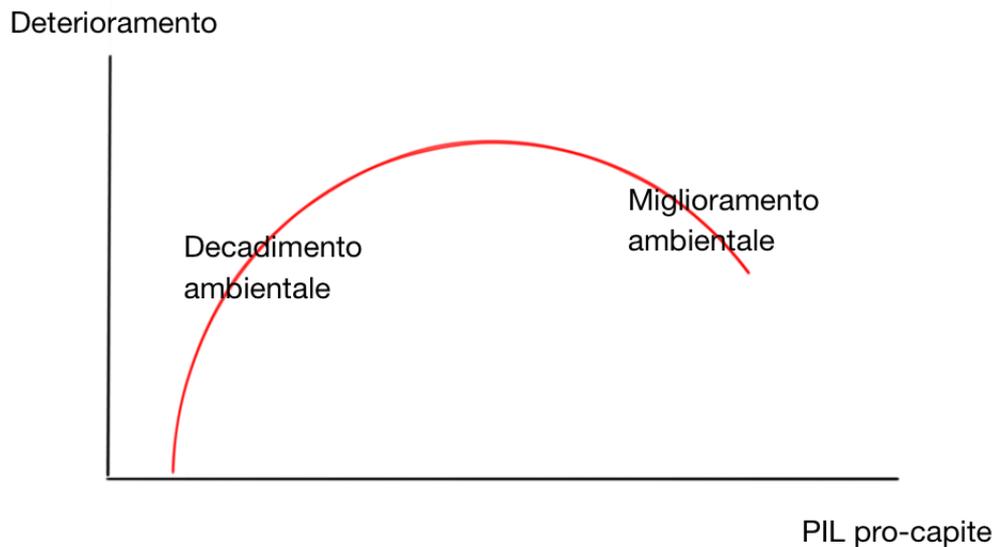
In secondo luogo, quando l'economia cresce, la ricchezza a disposizione della ricerca e dello sviluppo cresce a sua volta, generando un circolo virtuoso di programmazione ambientale tale da inserire all'interno dei cicli di produzione degli strumenti che andranno a generare altri cicli produttivi per la realizzazione dei beni finali, la questione ambientale e la riduzione delle emissioni.

Infine, dunque, le nuove tecnologie sviluppate grazie a questi trend positivi potranno inserire all'interno dei cicli di produzione strumenti ed input che siano più *friendly* dal punto di vista ambientale, ottenendo nel tempo una riduzione dell'inquinamento e quindi una relazione diretta tra la ricchezza cumulata di un Paese e la sanità dell'ambiente in cui opera.

⁵³ Janicke M., Binder M., Monch H. (1997), *Dirty Industries: Patterns of Change in Industrial Countries*, Environmental and Resource Economics, Vol. 9, pp. 467-491

⁵⁴ Grossman G. M., Helpman A. B. (1993), *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*, in P. Garber, *The US-Mexico Free Trade Agreement*, MIT Press, Cambridge, MA.

Grafico: La Curva di Kuznets



- La domanda per la qualità dell'ambiente: quando la ricchezza di un Paese aumenta, diventa maggiore anche la percezione delle persone e dell'economia nel suo complesso della qualità dei servizi e dell'ambiente in cui svolgono le proprie attività. Quando un Paese diventa più ricco e quindi quando il PIL pro-capite cresce, la domanda per un ambiente che sia di maggiore qualità cresce anch'essa, dimostrando che la qualità ambientale è un bene normale e quindi ha un'elasticità positiva.

Ci si trova dunque in una situazione molto chiara: quando un Paese è in via di sviluppo, la domanda per la qualità ambientale è ancora molto scarsa ma, mano a mano che si diventa più ricchi e quindi cresce una maggiore consapevolezza per ciò che sta attorno, la società comincia a domandare ambienti (in senso generale del termine) migliori. Il tutto può essere sintetizzato nell'indice di Frisch, che dimostra come il valore dei beni decresca assieme alla crescita del reddito pro-capite e come l'utilità marginale dei beni decresca man mano che un Paese diventa più ricco.

- Il commercio internazionale: molti studi hanno mostrato che l'esistenza di una curva di Kuznets può cambiare la scala, la composizione e le tecniche che sono associate al libero commercio e alla crescita economica⁵⁵.

Secondo il lavoro di Halkos⁵⁶ l'effetto sull'ambiente del libero commercio internazionale possono essere distinti in tre categorie: in primo luogo il degrado ambientale può aumentare man mano che aumenta il livello del commercio internazionale. In effetti, quando l'economia e gli scambi progrediscono in termini di ricchezza e volume, anche gli effetti esterni delle attività collegate direttamente o indirettamente al commercio stesso diventano più grandi e non passando per il mercato non possono essere integralmente assorbite solo da un punto di vista di dimensione.

Ciononostante, l'evidenza empirica della questione è sotto gli occhi dell'opinione pubblica, che quindi preme sui governi affinché vengano emanate regolamentazioni adeguate al fine di prevenire eccessivi aumenti delle emissioni inquinanti. Il libero commercio, così, viene di fatto frenato ma gli interventi correttivi e restrittivi, in fasi di apertura internazionale e di gestione delle forze economiche, slegate da un concetto di concorrenzialità perfetta e capaci di generare potenti forze di mercato in grado di destabilizzare la concorrenza stessa, si rivelano necessari in un'ottica prospettica. Tra questi interventi, ovviamente, vi sono anche quelli a scopo incentivante, che sussidiano in un modo o nell'altro l'utilizzo di tecnologie migliori da un punto di vista ambientale e ne diffondono le conoscenze e la percezione dei vantaggi strategici.

Purtroppo, le possibilità di espansione presenti nei Paesi in via di sviluppo genera la possibilità per le economie già avanzate di individuare una scorciatoia per la produzione a basso costo e non regolamentata delle proprie produzioni ad alto contenuto inquinante. I minori standard richiesti dalle società in cui è possibile produrre a tali condizioni, sono un forte incentivo e sono dotate di una potente attrattività per le imprese dei paesi sviluppati che spostano le proprie produzioni in quei territori e sfruttano un sistema ancora molto giovane di governo, privo di regolamentazioni ambientali e sociali stringenti come quelle che, invece, sono presenti in società in cui la percezione ambientale e la domanda per la qualità del lavoro e della vita è molto elevata. Tale realtà è stata ben

⁵⁵ Alstine J., Neumayer E. (2010), *The Environmental Kuznes curve*, in Gallagher K. P., *Handbook on Trade and The Environment*, Elgar original reference, Edward Elgar, Cheltenham, UK.

⁵⁶ Halkos G. E. (2013), *Exploring the Economy- Environment Relationship in the Case of Sulphur Emissions*, *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 56, No. 2, pp. 159-177

descritta da Dinda (2004)⁵⁷ e da Cole (2004)⁵⁸ e può essere sintetizzata nella *pollution haven hypothesis*.

- La crescita dell'inquinamento. L'equilibrio ambientale è abbastanza precario perché, nonostante una crescita delle possibilità economiche di uno Stato aumenti la richiesta di una qualità ambientale migliore da parte della popolazione, un degrado ambientale è spesso associato ad una crescita della popolazione stessa⁵⁹.

1.3 – Le problematiche ambientali più diffuse: l'aria ed il suolo.

Il tema ambientale gioca un ruolo importante nella quotidianità di qualsiasi sistema economico e sociale, in particolare in situazioni in cui la percezione della qualità dell'ambiente viene messa al secondo posto rispetto all'inquinamento, alla riduzione delle emissioni e, in generale, alla qualità della vita e dell'ambiente che ci circonda. In senso generale, il mondo non ha preso mai delle vere e proprie decisioni che globalmente potessero avere un impatto sulle attività economiche e sulle attività umane e che potessero veramente porre un freno all'eccessivo sfruttamento delle risorse. Quando ci affacciamo a tali questioni e prendiamo in esame tali problematiche, però, il contesto teorico ed empirico in cui dobbiamo muoverci è caratterizzato da un'estrema complessità, dovuta alle mutevoli condizioni che si devono affrontare: i cambiamenti climatici, quindi, di cui tanto si discute a livello nazionale e sovranazionale, procedono parallelamente rispetto alle variazioni economiche e ai mutamenti sociali di tutti i Paesi, producendo effetti a catena molto difficili da gestire con politiche e provvedimenti che abbiano l'ambizione di essere generali.

Uno dei principali problemi che possiamo riscontrare per i Paesi in via di sviluppo è il degrado della terra, cioè la sua progressiva perdita di rendimento: si tratta di un fenomeno che può essere certamente legato ai cambiamenti climatici che sono naturali e riguardano il normale ciclo della vita sulla Terra, ma per la maggior parte sono attribuibili

⁵⁷ Dinda S. (2004), *Environmental Kutznes Curve Hypotesis: A Survey*, Ecological Economics, Vol. 49, pp. 431-455.

⁵⁸ Cole M. A. (2004), *Trade, the Pollution Haven Hypothesis and th Environmental Kutznes Curve: Examining the Linkages*, Ecological Economics, Vol. 48, No. 1, pp. 71-81

⁵⁹ Zhu Q., Peng X. (2012), *The Impacts of Population Change on Carbon Emission in China 1978-2008*, Environmental Impact Assessment Review, Vol. 36, pp. 1-8

alle attività umane che possono essere riassunte in forme di impresa insostenibili e nell'eccessiva deforestazione. Purtroppo, le conseguenze di questo fenomeno sono molto gravi: tra le tante che possono essere anche di minore interesse poiché con risvolti rilevabili solo nel lungo periodo, possiamo invece annoverare la scarsità di acqua e cibo, la perdita di risorse strategiche ed il conseguente impoverimento delle popolazioni e il deterioramento di tutto l'ambiente.

Uno dei maggiori esempi che possiamo trovare in termini di degrado della terra è certamente l'Africa. Il suolo Africano, infatti, è il meno produttivo del mondo e tale condizione è stata causata (o inasprita) dall'utilizzo eccessivo di pesticidi da parte delle imprese che operano in quelle zone. Ovviamente siamo in presenza di terreni che probabilmente non avrebbero avuto una produttività enorme, data la latitudine e la scarsa preparazione tecnica della popolazione, ma l'applicazione di metodi di raccolta e di gestione della terra non adeguati al mantenimento delle risorse nel lungo periodo, non hanno aiutato la crescita e la stabilizzazione del rendimento della terra, provocandone il repentino e continuo deterioramento.

L'utilizzo dei pesticidi ha un'origine abbastanza comprensibile: la diffusione di malattie come la peste, in queste zone, ha legittimato il pensiero errato secondo il quale solamente tramite questi strumenti si sarebbero potuti ottenere raccolti non compromessi e la riduzione della diffusione di problematiche di salute molto gravi. La questione fondamentale derivante da tale impostazione e che ha aggravato nel tempo il degrado della terra, fu l'incentivo da parte dei governi africani e soprattutto da parte degli altri Stati del Mondo, che hanno promosso l'utilizzo dei pesticidi decretando, di fatto, la lenta morte della produttività del suolo africano.

Come se non bastasse, questi pesticidi erano spesso importati in container che poi venivano abbandonati dagli acquirenti: con il tempo, i container arrugginivano progressivamente, rilasciando sostanze tossiche nel terreno, impossibili da debellare in tempi brevi. L'effetto finale di tali politiche e incentivi fu, dunque, quello di rendere ancora meno sicuro il suolo africano, di aumentare le malattie derivanti dall'utilizzo dei prodotti della terra e di aumentare il degrado delle condizioni dell'acqua potabile. Interventi che inizialmente avevano lo scopo di rendere migliori e più sicuri i prodotti del suolo hanno invece, nel lungo periodo, prodotto effetti totalmente contrari, aumentando la povertà dell'economia dell'Africa e dei suoi abitanti.

Un altro problema importante collegato alle economie in via di sviluppo è quello della desertificazione che in ogni caso è ovviamente collegato al degrado del terreno: si tratta di regioni che hanno già un aspetto molto arido alla loro base e quindi con terreni che difficilmente possono essere coltivati in modo intensivo e che, dopo anche un tempo non eccessivamente lungo di sfruttamento, somigliano sempre di più a deserti, perdendo qualsiasi forma di vegetazione, vita selvatica e fonti di acqua potabile. Questo effetto è causato dall'intervento umano unito al cambiamento climatico endemico: è sufficiente un grado o anche meno di differenza stabile rispetto al passato per rendere molto meno fertili e vitali questi terreni, che giorno dopo giorno perdono la loro naturale prolificità e vanno via via verso una condizione desertica non recuperabile.

La desertificazione, in particolare nelle regioni dell'Africa Sub-Sahariana, è la causa di un enorme numero di problemi che si ripercuotono sull'attività e sulla presenza degli esseri umani in moltissime zone: la scarsità di cibo, la carestia, la migrazione ed i conflitti che sono generati da tali fenomeni sono ormai una triste realtà di una fetta troppo grande del mondo. La povertà ed il degrado della terra sono dunque fattori fortemente collegati tra di loro, dato che le popolazioni povere che dipendono direttamente dai frutti della terra stessa devono trovare soluzioni alternative alla morte per fame, sete e per garantirsi una futura vita dignitosa. Si scatenano così le cosiddette guerre tra poveri: conflitti tra queste popolazioni che spesso si vedono costrette a combattere tra di loro per accaparrarsi quelle poche risorse che sono in grado di trovare nei territori che via via danno sempre meno possibilità di sopravvivenza a chi li abita.

Tutto questo innesca un circolo vizioso di povertà che ha come unica conseguenza quella di continuare a creare povertà: i popoli, infatti, diventano nomadi e sono soggetti a continue insurrezioni e attacchi da parte di altri nomadi, alla ricerca di risorse per riuscire a sopravvivere. Viene perpetuato così un circolo di povertà di proporzioni bibliche che, in un mondo avanzato come quello in cui stiamo vivendo, non dovrebbe essere che un lontano ricordo del passato.

L'acqua è un altro importante aspetto del degrado ambientale di una regione. In Cina, ad esempio, gli agricoltori erano alla disperata ricerca di acqua per l'irrigazione: l'assenza di una normativa e di controlli efficaci a riguardo ha permesso agli stessi di scavare pozzi profondi prelevando acqua dalla falda rinnovabile presente sotto il terreno. Tale falda è stata dunque oggetto di anni ed anni di sovrappompaggio, che ha causato la

sua estinzione, tanto che l'acqua per la regione è ora prelevata da una falda acquifera ancora più profonda e peraltro non rinnovabile. Le riserve d'acqua, dunque, stanno decrescendo ad una velocità allarmante e quando sarà esaurita, il raccolto di grano non sarà più alimentabile, calando di 40 milioni di tonnellate, pari alla sussistenza di 120 milioni di persone in Cina.

Un altro problema molto grave è quello della concentrazione di gas serra nell'atmosfera: una volta si chiamava riscaldamento globale, oggi lo chiamiamo cambiamento climatico, ma è la stessa cosa. Quando la temperatura dell'atmosfera cresce, aumentano anche alcuni rischi molto gravi per la popolazione terrestre: il pericolo di inondazioni e siccità derivante da queste fenomeni minaccia colture di ogni tipo, distrugge l'habitat, esercita pressioni sulla fauna e sulla vegetazione oltre ad aumentare il tasso di incidenza delle malattie. Il problema fondamentale sono le conseguenze esponenziali che possiamo verificare nelle popolazioni caratterizzate da un grado di povertà elevato: nei Paesi ricchi, infatti, è possibile prevenire i problemi oppure ovviare agli stessi qualora si verificano; laddove, invece, non ci sono fondi per la prevenzione, non è possibile affrontare tali disastri che quindi fanno il loro corso lasciando dietro di loro una scia ancora più profonda di povertà e degrado. L'impegno internazionale a tale proposito è quello di una riduzione progressiva dei gas serra: in particolare, entro il 2020 era prevista una riduzione pari al 20% ed entro il 2050 una riduzione pari al 50%, cosa peraltro difficile da raggiungere e probabilmente non conciliabile con il ritardo nella ricerca di tecnologie a minore impatto ambientale.

Vi sono molte istituzioni che stanno lavorando al miglioramento delle economie nei Paesi in via di sviluppo: una di queste è la canadese CIDA, Canadian International Development Agency che, assieme a molti altri gruppi di tipo governativo, sta aiutando questi Paesi a migliorare il proprio approccio alla risoluzione dei problemi ambientali e a vincere queste sfide che, ad oggi, sembrano non dare speranza per una crescita sostenibile ad alcune economie. Questa agenzia opera direttamente sul territorio del Paese che deve essere aiutato: ad esempio, rilascia un particolare tipo di insetto all'interno dei container e dei magazzini in cui è stipato il grano affinché si nutra delle larve e di tutti gli agenti naturali che con il tempo e in quelle condizioni climatiche danneggiano i raccolti. In tal modo si riduce la necessità di utilizzo dei pesticidi, che è la prima problematica da affrontare, come abbiamo visto nelle pagine precedenti.

Da dove proviene, dunque, il problema dell'eccessiva presenza dei gas serra nei Paesi in via di sviluppo? Il problema atmosferico dovuto alla presenza di questi gas sta incidendo in modo sempre più forte nella vita dei centri urbani di queste nazioni: mentre l'urbanizzazione l'industrializzazione ed i settori del trasporto crescono, infatti, la produzione di questi gas serra cresce a sua volta, dato che la maggior parte delle fonti di energia è composta da combustibili fossili. La dipendenza dalle risorse naturali dei paesi in via di sviluppo, assieme alla scarsa consapevolezza ambientale, impedisce la definizione di piani di governo strutturale delle risorse a disposizione o anche la semplice acquisizione di metodi e progetti al fine di internalizzare una policy di tipo climatico per la sostenibilità ambientale.

I paesi in via di sviluppo hanno così sovraccarichi di depositi acidi generati da problematiche di inquinamento atmosferico che stanno alla base di modifiche sostanziali della qualità del terreno, dell'acqua e dunque anche della vita delle persone che abitano tali luoghi. Il problema di questo degrado ambientale è amplificato dal fatto che nei Paesi in via di sviluppo sono concentrate molte delle più popolose città del mondo (si pensi che 12 di queste sono tutte concentrate nel continente Asiatico). Molti dei Paesi in via di sviluppo sono comunque coinvolti in collaborazioni ed accordi internazionali per la riduzione delle emissioni inquinanti, come ad esempio il protocollo di Montreal e la Convenzione delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico; ciononostante la verità è che queste nazioni hanno spesso una quantità di risorse, sia umane che tecnologiche, molto più bassa di quella necessaria a risolvere un problema di simili dimensioni.

Nel 1992, l'Agenzia per la Cooperazione e lo Sviluppo Internazionale svedese ha garantito la partecipazione dell'Istituto di Stoccolma per l'Ambiente al fine di coordinare, sviluppare e monitorare i progetti per la protezione ambientale nei Paesi in via di sviluppo: si tratta di un accordo e di un segnale molto importante che, anche se in modo non ancora immediato e probabilmente non ancora sufficiente, rafforza la volontà di una cooperazione istituzionale ed internazionale tra i Paesi sviluppati e quelli in via di Sviluppo, al fine di garantire nel lungo periodo una crescita sostenibile in senso ambientale. Il programma di questo progetto prevede l'incentivo alla capacità dei Paesi in via di sviluppo di partecipare a programmi locali e regionali e ad attività finalizzate a risolvere i problemi ambientali e a incrementare e facilitare la partecipazione e il coinvolgimento di questi paesi alle iniziative sovranazionali e alle negoziazioni.

Quando parliamo di Paesi in via di sviluppo, ovviamente possiamo osservare in modo molto più netto l'impatto dell'avanzamento in termini economici sull'ambiente e sui processi naturali in generale. Ovviamente, è proprio dallo sfruttamento dell'ambiente che molte delle innovazioni che hanno cambiato il nostro mercato ed il nostro modo di guardare all'economia e al profitto si sono sviluppate ed hanno iniziato a fare parte della nostra vita quotidiana. Possiamo dunque identificare alcune dimensioni sulle quali è necessario organizzare un dibattito riguardo alle problematiche ambientali nei Paesi in via di sviluppo: tali dimensioni sono il rapporto tra economia e ambiente, il capitale ambientale iniziale dei singoli Paesi ed il suo punto critico e l'impatto sull'ambiente della crescita della popolazione.

Quando ci riferiamo a Paesi già avanzati, in cui l'economia è matura e magari l'attenzione per l'ambiente ha raggiunto un buon livello (magari non come quello Giapponese, ma comunque un livello tale da garantire interventi che prevengano disastri ecologici), il buon andamento delle attività è legato al flusso di consumi di beni e servizi che la società esegue durante un determinato periodo di tempo. In queste economie, dunque, è normale che le persone e le imprese utilizzino le risorse naturali per riuscire a trasformarle in beni finali, tali da formare sempre nuovi flussi di consumo oppure di accumulazione di capitale. Alla fine di questo processo, ciò che non viene consumato o accumulato ritorna nella natura sotto forma di rifiuto che, se l'economia è particolarmente attenta, sarà riutilizzato senza generare disagio e degrado ambientale. In queste economie, dunque, il processo di trasformazione economica non genera nessun problema sociale (si veda ad esempio, la Germania con un suo numero zero di discariche sul territorio visto il 100% di riciclo).

Tutto questo processo, però, manca nelle economie in via di sviluppo e questo causa un grandissimo divario energetico e in termini di efficienza gestionale delle risorse. In questo caso possiamo dunque parlare del concetto termodinamico di entropia applicato all'economia: come in tutti i processi energetici, anche le risorse economiche (che sono risorse naturali) dopo essere state utilizzate si disperdono in parte e in forme non riutilizzabili per il processo di trasformazione. Queste proprietà vale per qualsiasi prodotto e qualsiasi risorsa coinvolta nella trasformazione quindi, se non si provvede a procedimenti di rigenerazione della risorsa, tale fenomeno finirà per disperdere tutte le risorse in forme non più utilizzabili e, in termini pratici, vedremo finita l'acqua potabile,

desertificate le zone che prima erano coltivate e morire il terreno. In molte economie in via sviluppo questi procedimenti non esistono o non sono adeguati a garantire la continuità dell'esistenza delle risorse economiche e naturali nel tempo.

Il problema del punto critico delle risorse naturali esistenti sul nostro pianeta riguarda soprattutto quelle che non sono rinnovabili, come ad esempio molti combustibili fossili: l'uomo in questi casi non può intervenire tramite la sua scala produttiva. Vi sono altre forme di energia che sono rinnovabili, come quella solare, che può essere trasformata in energia elettrica e che la natura già trasforma in altre forme di energia che vengono utilizzate da organismi per cibarsi o sopravvivere (come le piante attraverso la fotosintesi). La questione è molto semplice: se il tasso di sfruttamento della risorsa da parte dell'uomo è maggiore rispetto al tasso di rigenerazione della risorsa stessa, allora questa si ridurrà fino a scomparire.

Questa, dunque, è la più grande sfida da combattere per i Paesi in via di sviluppo: riuscire a gestire l'entropia in termini di sfruttamento delle risorse ambientali. Come abbiamo potuto constatare nelle pagine precedenti, infatti, il degrado della terra, dell'acqua e dell'ambiente in questi Paesi è una delle principali motivazioni che portano a fame, carestie e migrazioni di massa, le quali portano a loro volta a scontri durissimi che si ripercuotono sulle economie e nuovamente sull'ambiente, innescando un circolo vizioso duraturo nel tempo, incentivato da meccanismi estrattivi troppo intensivi e produzioni ad uso eccessivo di prodotti non adatti a mantenere nel tempo la produttività di terreni e di intere zone urbane e rurali.

La seconda questione da risolvere in questi Paesi è l'eccessiva crescita della popolazione che, per la maggior parte, è povera, improduttiva e soggetta ad una distribuzione iniqua delle risorse e del reddito. Il tasso di disoccupazione, dunque, in queste economie è altissimo, problema che è accentuato dalle condizioni di deforestazione e utilizzo peggiore del terreno di cui abbiamo già parlato. La responsabilizzazione in termini di controllo delle nascite, che nelle economie industrializzate proviene direttamente da uno stato di consapevolezza delle persone, in questi Paesi non è presente e quindi deve essere incentivato attraverso la regolamentazione giuridica.

Una situazione di questo tipo, in cui le risorse naturali ed economiche stanno lentamente esaurendosi e la popolazione povera cresce sempre di più, non sono sostenibili

nel lungo periodo soprattutto quando le politiche internazionali non prevedono aiuti in loco ma solo la speculazione sul fenomeno migratorio. È stato dimostrato più volte che il tasso di potenziale migrazione verso i Paesi industrializzati è infinitamente più basso rispetto al tasso di natalità dei Paesi in via di sviluppo, dunque un approccio in termini di accettazione dell'immigrazione non è probabilmente la strada corretta da seguire in rapporto invece ad un'impostazione più difficile ma più efficace, cioè quella di rendere vivibili i Paesi in via di sviluppo utilizzando le risorse economiche a disposizione della parte ricca del mondo.

Capitolo Due

Crescita endogena e ambiente

Introduzione

La stabilizzazione delle emissioni inquinanti è il requisito fondamentale per una crescita sostenibile: nonostante vi siano molti altri fattori che possono contribuire ad una ripresa economica o ad un miglioramento della posizione politica di una nazione all'interno del panorama mondiale, la situazione interna al Paese deve essere stabilizzata con interventi di una maturità economica tale da inserire all'interno del proprio modello di sviluppo tutte le dinamiche ambientali possibili, al fine di garantire il godimento dei flussi positivi di consumo e benessere anche alle generazioni successive a quella attuale.

In questo capitolo, dunque, procediamo all'analisi della modellazione teorica più recente in modo da identificare quali siano i pattern di sviluppo sostenibile ottimali e quali siano i fattori che prevengono il deterioramento dell'ambiente. In questo senso è necessario comprendere le dinamiche ambientali di crescita dell'inquinamento, cercando di identificare le cause della crescita di tale fenomeno: andremo dunque a studiare i modelli matematici che negli ultimi anni hanno contribuito in maniera - a nostro avviso sostanziale - a migliorare la letteratura teorica ed i metodi di indagine per quanto riguarda la preservazione dell'ambiente.

Non vi può essere produzione senza inquinamento: questo è un principio che qualsiasi modello deve integrare nelle sue formule e nelle sue conclusioni. Il semplice fatto che vi siano stabilimenti di produzione porta ad una modifica del territorio e dell'ambiente che può essere considerata essa stessa come inquinante: ogni produzione, di beni e servizi, provoca emissioni che in qualche modo intervengono nell'equilibrio dell'ecosistema e, dato che risultano necessarie per la nostra sopravvivenza e per il progressivo sviluppo della nostra società così com'è stata strutturata dalla storia, allora sarà necessario intervenire al fine di incentivare la produzione e quindi l'inquinamento, ma arrivando al controllo dei flussi delle emissioni, in modo che l'ambiente abbia la capacità di rigenerare le proprie risorse e di debellare le conseguenze nefaste di uno sfruttamento umano.

Il nodo focale della questione è comprendere appieno la relazione intertemporale tra il livello delle emissioni ed il tasso di crescita dell'inquinamento: può sembrare banale, ma probabilmente la variabile che possiamo chiamare inquinamento marginale non ha un effetto di semplice deduzione analitica. Non è detto, infatti, che la relazione tra queste due grandezze sia positiva: è possibile che all'aumentare del livello delle emissioni inquinanti si verifichi una riduzione del tasso di crescita delle stesse, poiché si potrebbe arrivare ad un livello di saturazione tale da rendere impossibile una produzione crescente di sostanze inquinanti. In questo caso, ovviamente, arriveremo nel tempo ad un'ipotesi di convergenza che potrà essere riassunta da un'equazione e che cercheremo di comprendere e, se possibile, di testare tramite l'analisi dei dati e delle serie storiche presenti nelle banche a disposizione del pubblico.

Grazie all'analisi che abbiamo effettuato nel primo capitolo e grazie alle evidenze empiriche che ci portano quotidianamente le notizie e l'opinione pubblica, capiamo che la commistione tra una crescita economica e una preservazione ambientale è una delle più importanti sfide che le moderne società si trovano ad affrontare durante gli ultimi anni. Abbiamo visto come la letteratura economica consideri il problema della relazione tra crescita e sostenibilità attraverso dei processi bilanciati che possano condurre all'aumento delle variabili pro-capite associato a dei trend di preservazione ambientale e quindi dei pattern di qualità dell'ambiente che abbiano andamento non decrescente.

È necessario dunque produrre modelli matematici che siano in grado di raggiungere un livello di stato stazionario dell'inquinamento stabile nel lungo periodo, nonostante la presenza di un tasso di crescita positivo del reddito pro-capite. Appare quindi un problema di una certa complessità analitico quello che vuole trovare un equilibrio di lungo periodo che consenta una stabilità di una variabile e una crescita dell'altra, soprattutto in vista del fatto che, in una condizione iniziale, la produzione e l'inquinamento devono seguire lo stesso tipo di trend e l'esclusione dell'una esclude, a sua volta, anche la presenza dell'altra. Si tratta quindi di una questione difficile da affrontare che prevede la comprensione profonda delle interazioni tra il livello di inquinamento ambientale e le dinamiche della produzione in un percorso di equilibrio sostenibile di lungo periodo.

Ovviamente il problema va affrontato da un punto di vista teorico e anche da un punto di vista pratico e le teorie della crescita endogena fanno al nostro caso quando vogliamo prevedere un possibile scenario in cui la variabile dell'abbattimento delle

emissioni non sia esogena, ma riesca ad essere frutto delle dinamiche del modello stesso, in ottemperanza alla necessità di raggiungere un equilibrio di stato stazionario tale da generare, contemporaneamente, crescita e abbattimento delle emissioni inquinanti. Dobbiamo quindi basare le nostre analisi sul rapporto esistente tra inquinamento e benessere sociale, tenendo chiaramente presente che tale relazione sia inversa e che quindi un aumento della presenza di fattori degenerativi per l'ambiente nel suo complesso porti, nel tempo, ad una riduzione del benessere sociale privato.

Per affrontare il problema delle emissioni dal punto di vista analitico dobbiamo inserire all'interno dei modelli di crescita endogena una tecnologia di produzione che possa essere misurata in termini di efficienza ambientale e la possibilità per il governo di effettuare spesa pubblica di tipo difensivo e quindi conservativo. Tale problematica e tale proposta di risoluzione è stata già affrontata molte volte in passato, segnale che la questione non deve essere sottovalutata ed era già all'ordine del giorno scientifico molti anni fa. Come ad esempio nel 1991, quando Van Der Ploeg pubblicò un articolo su *Environmental and Resource Economics* individuando come il mercato, lasciato a sé stesso, non possa raggiungere un livello di efficienza sociale in cui si preveda anche il mantenimento di una stabilità ambientale e una crescita sostenibile¹.

Anche altri autori hanno provato ad inserire nei modelli di crescita endogena l'inquinamento come fattore scatenante il degrado ambientale e le conseguenti riduzioni di benessere privato. Ad esempio, il lavoro di Bovenberg e Smulders del 1995 ha prodotto un modello che incorpora nella sua struttura un cambiamento tecnologico che aumenta il tasso di inquinamento: anche in questo caso, gli autori arrivano alla conclusione che un livello di crescita sostenibile è raggiungibile solamente attraverso l'intervento del settore pubblico in termini di garanzia dei livelli ottimali di capitale naturale e di conoscenze (entrambi, ovviamente, considerati beni pubblici per semplicità di trattazione analitica). La politica ambientale, in questo modello, può essere ambiziosa nel desiderio di creare percorsi di crescita sostenibile in cui l'aumento delle variabili pro-capite possa essere

¹ Van der Ploeg F., Withagen C. (1991), *Pollution Control and the Ramsey Problem*, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 1, No. 2, pp. 215-236.

maggiore grazie all'intervento governativo, pur mantenendo la stabilità ambientale in termini dinamici².

Altro lavoro particolarmente rilevante in tal senso è quello elaborato da Brock e Taylor nel 2010: in questo modello gli autori propongono un legame tra la teoria economica della crescita di base, proposta tramite il modello di Solow del 1961, e la curva Kutznes. Secondo questo studio, la relazione in questione è particolarmente importante: il modello studiato integra una tecnologia capace di abbattere le emissioni inquinanti, che prevede come condizione necessaria la presenza della curva di Kutznes. Anche in questo caso viene descritto ampiamente l'importante ruolo che il governo deve ricoprire durante la ricerca di un percorso per la crescita sostenibile che contempra anche la preservazione dell'ambiente e l'incentivo all'utilizzo efficiente delle tecnologie che possono ridurre il degrado ambientale³.

In uno Stato avanzato il tessuto del sistema economico deve consentire e stimolare l'utilizzo di tecnologie pulite, tali da generare un ritorno positivo sulla qualità ambientale e sul benessere privato: tale meccanismo dovrebbe far parte delle variabili integrate in un meccanismo decisionale tramite il quale il policy maker possa attivare tutte le iniziative necessarie a rendere la crescita sostenibile nel lungo periodo, pur non riducendo la possibilità di profitto e di consumo attuale. In tal senso, un modello deve proporre una crescita delle variabili pro-capite anche mossa da un progresso tecnologico in grado di aumentare l'efficienza del lavoro, mentre allo stesso tempo l'aumento dell'inquinamento deve essere frenato dalla presenza di tecnologie in grado di abatterlo nel tempo.

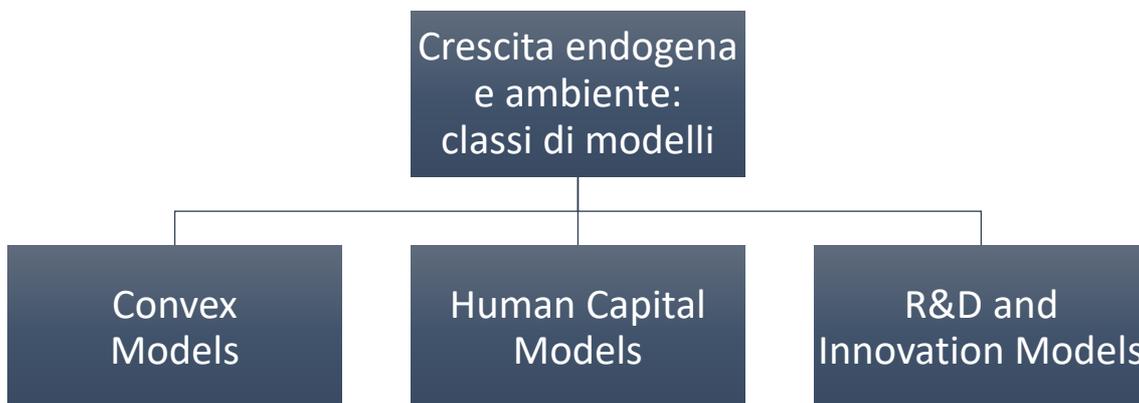
² Bovenberg A. L., Smulders J. (1995), *Environmental Quality and Pollution-Augmenting Technological Change in a Two-Sector Endogenous Growth Model*, Journal of Public Economics, Vol. 57, No. 3, pp. 353-360

³ Brock W. A., Taylor M. S. (2010), *The Green Solow Model*, Journal of Economic Growth, Vol. 15, No. 2, pp. 127-153

2.1 – Le conseguenze teoriche della tematica ambientale inserita nelle tre classi di modelli di crescita endogena dell'economia.

Le implicazioni delle esternalità ambientali sono state studiate, nel periodo più florido della letteratura, da tre punti di vista principali: tramite i modelli con tecnologia lineare (ovvero *convex models*), i modelli con capitale umano ed i modelli che comprendono ricerca, sviluppo e innovazione. Il tasso di crescita di lungo periodo cambia quando sono inseriti gli effetti delle esternalità ambientali e la direzione di questo cambiamento varia a seconda dell'importanza di queste esternalità e dell'elasticità di sostituzione intertemporale.

La presenza delle esternalità ambientali porta ad una divergenza del tasso di crescita dell'economia dal tasso efficiente: quale sia il modello con la divergenza maggiore dipende per la gran parte dalla valutazione dei consumatori sulla qualità dell'ambiente e quindi dai parametri con cui questa variabile è inserita nella funzione di utilità. Molti modelli, dunque, in seconda istanza, cercano di smorzare questa differenza ipotizzando delle politiche da adottare al fine di riportare il tasso di crescita dell'economia sul suo sentiero ottimale.



Questa nuova scuola di pensiero, che accosta gli strumenti della matematica dinamica ai concetti dell'economia neoclassica, ha prodotto modelli di notevole qualità ed ha aperto un nuovo metodo di ricerca molto attraente in cui è sufficiente variare un parametro per riuscire ad ottenere importanti implicazioni e spunti di riflessione economica.

Tre sono le importanti qualità che questi modelli riescono ad inserire tra le proprie righe con l'intento di spiegare i processi di generazione dello sviluppo economico:

- 1) la prima è l'aver pensato alla possibilità che il motore della crescita economica non sia dovuto a fattori esogeni e casuali ma che sia endogeno e prodotto dal sistema economico e quindi che possa anche essere influenzato tramite le politiche attuate a favore di un miglioramento dello status-quo;
- 2) in secondo luogo, l'innovazione di tipo *learning-by-doing* risulta una fonte molto importante per il cambiamento tecnologico;
- 3) infine, l'innovazione è motivata dalla possibilità di ottenere profitti di tipo monopolistico che non sono completamente appropriabili a causa della natura non rivale della conoscenza; in questi modelli, infatti, la concorrenza non è perfetta.



I primi modelli di crescita endogena, però, ignoravano il rapporto dell'economia con l'ambiente: la motivazione principale risultava essere il complesso di effetti diretti ed indiretti che le esternalità hanno sul benessere della collettività. Gli effetti diretti riguardano il danno alla salute umana e alla qualità dell'ambiente; gli effetti indiretti riguardano invece la riduzione della produttività e della crescita economica dovuta al degrado ambientale.

Come abbiamo accennato nelle righe precedenti, i modelli di crescita endogena possono essere raggruppati nei tre modelli presentati nella figura 2.1. In particolare, i modelli così detti convessi postulano preferenze concave e possibilità di produzione

anch'esse convesse (Jones e Manuelli, 1990⁴, Rebelo, 1990⁵): in questi modelli, la crescita è sostenuta grazie ad un limite minimo imposto alla produttività del capitale. I modelli che, invece, si concentrano sul capitale umano (Lucas, 1988)⁶, pongono l'accento sullo sviluppo di tale fattore produttivo mentre l'ultimo tipo di modelli, quelli che tengono in considerazione la ricerca e lo sviluppo (Romer, 1990⁷, Grossman Helpman, 1991⁸), rappresentano la maggior parte della letteratura in tali termini. La tematica ambientale è stata poi inserita in ciascuna di queste modellazioni e in ognuno di questi casi le conseguenze in termini analitici sono differenti e l'analisi di tali diversità è fondamentale per riuscire a comprendere come tale distorsione del mercato porta ad equilibri differenti e a differenti conclusioni in termini di stabilità di lungo periodo.



⁴ Jones L., Manuelli R. (1990), *A Convex Model of Equilibrium Growth: Theory and Policy*, Journal of Political Economy, Vol. 98, pp. 1008-1038.

⁵ Rebelo S. (1991), *Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth*, Journal of Political Economy, Vol. 99, pp. 500-521.

⁶ Lucas R. E. (1988), *On the Mechanism of Economic Development*, Journal of Monetary Economics, Vol. 22, pp. 3-42.

⁷ Romer P. (1990), *Endogenous Technological Change*, Journal of Political Economy, Vol. 98, pp. S71-S102.

⁸ Grossman G., Helpman E. (1994), *Endogenous Innovation in the Theory of Growth*, Journal of Economic Perspective, Vol. 8, pp. 23-44.

Le condizioni generali dei modelli che possono essere presi ad esempio per l'inserimento della tematica ambientale nella crescita endogena sono molti ma, seguendo il prezioso lavoro di Albasha e Roe (1995)⁹, possono essere ben rappresentati da quelli che seguiranno. In tutti i modelli che sono stati proposti, tutti gli agenti rappresentativi hanno vita infinita e la popolazione non cresce; l'utilità istantanea, dunque, è rappresentata dalla seguente funzione:

$$U_t \begin{cases} \frac{1}{1-\sigma} \{ [C(t)^\phi Q(t)^\mu]^{1-\rho} - 1 \} & \sigma \neq 1 \\ \phi \ln C(t) + \mu \ln Q(t) & \sigma = 1 \end{cases}$$

dove $C(t)$ è il consumo pro-capite al tempo t , $Q(t)$ rappresenta la qualità dell'inquinamento. Per soddisfare la monotonicità e l'assunzione di concavità stretta si impongono le seguenti:

$$\phi, \sigma, \mu > 0$$

$$\phi(1 - \sigma) < 1$$

$$\mu(1 - \sigma) < 1$$

$$(\phi + \mu)(1 - \sigma) < 1$$

Vi sono due modi per modellare i cambiamenti nella qualità dell'ambiente: lo stock e il flusso. Il primo approccio tratta Q come una variabile, la cui funzione di crescita varia negativamente con l'attività economica (cioè l'output aggregato) e positivamente con il tasso di decadimento naturale, cioè il tasso al quale la natura in modo autonomo debella l'inquinamento prodotto dalle attività umane (si vedano, ad esempio, l'aria e l'acqua). Se, invece, intendiamo l'inquinamento come un flusso, allora sarà rappresentato da variabili

⁹ Albasha E., Roe T. (1995), *Environment in Three Classes of Endogenous Growth Models*, Economic Development Center, Department of Economics, University of Minnesota, Bulletin No. 95-6.

negativamente influenzate dall'attività economica aggregata (si veda, ad esempio, l'inquinamento acustico).

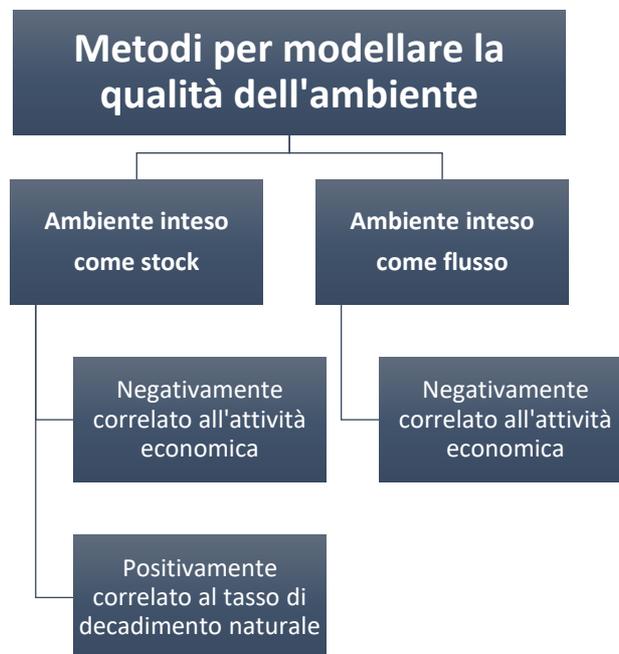
Se consideriamo la qualità ambientale possiamo assumere questa relazione:

$$Q(t) = A_Q [Y(t)]^{-\eta}$$

$$A_Q > 0$$

$$\eta > 0$$

dove ovviamente $Y(t)$ è l'output aggregato al tempo t .



Convex endogenous growth models

Seguendo il lavoro del succitato Rebelo, proponiamo un modello con un solo fattore di produzione, il capitale, e una tecnologia a rendimenti di scala costanti:

$$Y(t) = AK(t)$$

con $A > 0$ e $K(t)$ è il capitale al tempo t . Ipotizziamo che il capitale non si deprezzi nel tempo e quindi possiamo scrivere che:

$$C(t) + \dot{K}(t) = Y(t)$$

dove $\dot{K}(t)$ è la derivata del capitale fatta rispetto al tempo.

Il problema di ottimizzazione Hamiltoniana è il seguente:

$$H = \frac{1}{1-\sigma} [(C^\phi Q^\mu)^{1-\sigma} - 1] + \lambda(AK - C)$$

dove λ è la costante associata alla variabile di stato K .

Le seguenti condizioni sono necessarie e sufficienti per una soluzione di ottimo:

$$\begin{cases} \frac{\partial H}{\partial C} = 0 \\ \dot{\lambda} = \rho\lambda - \frac{\partial H}{\partial K} \end{cases}$$

Otteniamo dunque le seguenti equazioni:

$$\phi C^{\phi(1-\rho)-1} Q^{\mu(1-\sigma)} = \lambda$$

$$\dot{\lambda} = \rho\lambda + \frac{\mu\eta C^{\phi(1-\rho)-1} Q^{\mu(1-\sigma)}}{K} - A\lambda$$

dove ρ rappresenta il tasso di sconto.

Supponendo di analizzare solamente lo stato stazionario in cui l'equilibrio è dato dal fatto che $\frac{\dot{K}}{K}$, $\frac{\dot{Y}}{Y}$ e $\frac{\dot{C}}{C}$ sono uguali e pari ad una costante g . In tal caso, detto tasso è dato dalla seguente equazione:

$$g = \frac{A \left(\frac{1 - \eta\mu}{\phi} \right) - \rho}{\Psi - \frac{\eta\mu}{\phi}}$$

dove $\Psi = 1 - \phi(1 - \sigma) + \mu\eta(1 - \sigma)$.

Inoltre, imponendo che l'investimento in capitale sia irreversibile:

$$\dot{K} \geq 0$$

dunque sar  sempre vero che:

$$g \geq 0$$

In questi modelli, dunque, valgono due proposizioni importanti:

- l'equilibrio esiste solo se i consumatori valutano il consumo pi  della qualit  ambientale;
- il tasso di crescita dell'economia   pi  alto se:
 - o la produttivit    alta;
 - o il tasso di preferenza temporale   basso;
 - o l'elasticit  di sostituzione intertemporale del consumo   alta;
 - o l'elasticit  di sostituzione intertemporale dell'ambiente   bassa.

I modelli convessi che ignorano il tema ambientale, dunque, producono tassi di crescita che sono pi  alti, uguali o pi  bassi rispetto a quelli che ne tengono conto, in base al valore dell'elasticit  di sostituzione intertemporale la quale, rispettivamente, pu  essere maggior di uno, uguale ad uno o minore di uno.



Human capital endogenous growth models

Prendiamo in considerazione il modello di Lucas come rappresentativo della categoria dei modelli che considerano il capitale umano come determinante della crescita nei modelli endogeni. In questi modelli vi sono due fattori di produzione: il capitale fisico ed il capitale umano.

Vi sono N lavoratori identici che hanno tutti un'unità di tempo da allocare nel lavoro, u , o all'accumulazione di capitale umano: ognuno di questi lavoratori ha un livello di capitale umano pari a h . In questi termini, il valore

$$uhN$$

rappresenta la forza lavoro effettiva nell'economia. Dato che la crescita della popolazione è nulla, possiamo normalizzare N ad uno e considerare tutte le variabili in termini pro-capite.

La funzione di produzione presenta rendimenti di scala costanti e tutti i fattori produttivi sono riproducibili; vi sono inoltre effetti esterni dovuti all'esistenza del capitale umano, che vengono chiamati h_a . Quindi:

$$Y(t) = AK(t)^\beta [u(t)h(t)]^{1-\beta} h_a(t)^\gamma$$

dove $0 < \beta < 1$ e $\gamma > 0$.

Il capitale umano è accumulato secondo la seguente relazione:

$$\dot{h}(t) = \delta h(t)[1 - u(t)]$$

dove $\delta > 0$.

Il problema di ottimizzazione Hamiltoniana è dunque il seguente:

$$H = \frac{1}{1-\sigma} \left[(C^\phi Q^\mu)^{1-\sigma} - 1 \right] + \theta_1 [AK^\beta (uh)^{1-\beta} h^\gamma - C] + \theta_2 \delta h(1-u)$$

dove θ_1 è la costante associata al capitale fisico e θ_2 è la costante associata al capitale umano. Di seguito le condizioni necessarie e sufficiente a raggiungere l'ottimo:

$$\phi C^{\phi(1-\sigma)-1} Q^{\mu(1-\sigma)} = \theta_1$$

$$\theta_1(1-\beta) \frac{Y}{u} \left(1 - \frac{\mu n C}{\phi Y} \right) = \theta_2 \delta h$$

$$\dot{\theta}_1 = \rho \theta_1 - \theta_1 \beta \frac{Y}{K} \left(1 - \frac{\mu n C}{\phi Y} \right)$$

$$\dot{\theta}_2 = \rho \theta_2 - \theta_1(1-\beta+\gamma) \frac{Y}{h} \left(1 - \frac{\mu n C}{\phi Y} \right) - \theta_2 \delta(1-u)$$

In questo modello, il capitale, il consumo e la produzione crescono allo stesso tasso. Inoltre la formulazione e la manipolazione delle equazioni relative allo stato stazionario mostrano alcune proposizioni importanti:

- il tasso di crescita è maggiore quanto più i consumatori preferiscono il consumo alla qualità ambientale, poiché l'elasticità di sostituzione intertemporale è inferiore ad uno;
- se non vi sono esternalità prodotte dal capitale umano, il tasso di crescita ottimo ed il tasso di crescita di mercato sono uguali. Ma dato un valore positivo delle esternalità prodotte dal capitale umano, l'esistenza di esternalità ambientali

determinano l'esistenza di un ottimo che è superiore a quello che forma il mercato in modo autonomo.

Il tasso di crescita di mercato è più alto rispetto al tasso di crescita ottimo quando l'ambiente è valutato dai consumatori di più rispetto al consumo e l'elasticità di sostituzione intertemporale è bassa; tuttavia, se non siamo in presenza di esternalità prodotte dal capitale umano, non vi sarà divergenza tra il tasso di crescita di mercato ed il tasso di crescita ottimo.

R&D and Innovation Models

I modelli che integrano la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione si compongono di tre settori: il settore finale, il settore per la produzione dei beni intermedi, il settore della ricerca e dello sviluppo.

Il settore finale consiste nell'insieme di molte imprese che producono lo stesso bene; vi sono tre fattori di produzione: il capitale (K), il lavoro (L) e un *set* di beni intermedi (D).

$$Y(t) = A_y K^\alpha D^\beta L_y^{1-\alpha-\beta}$$

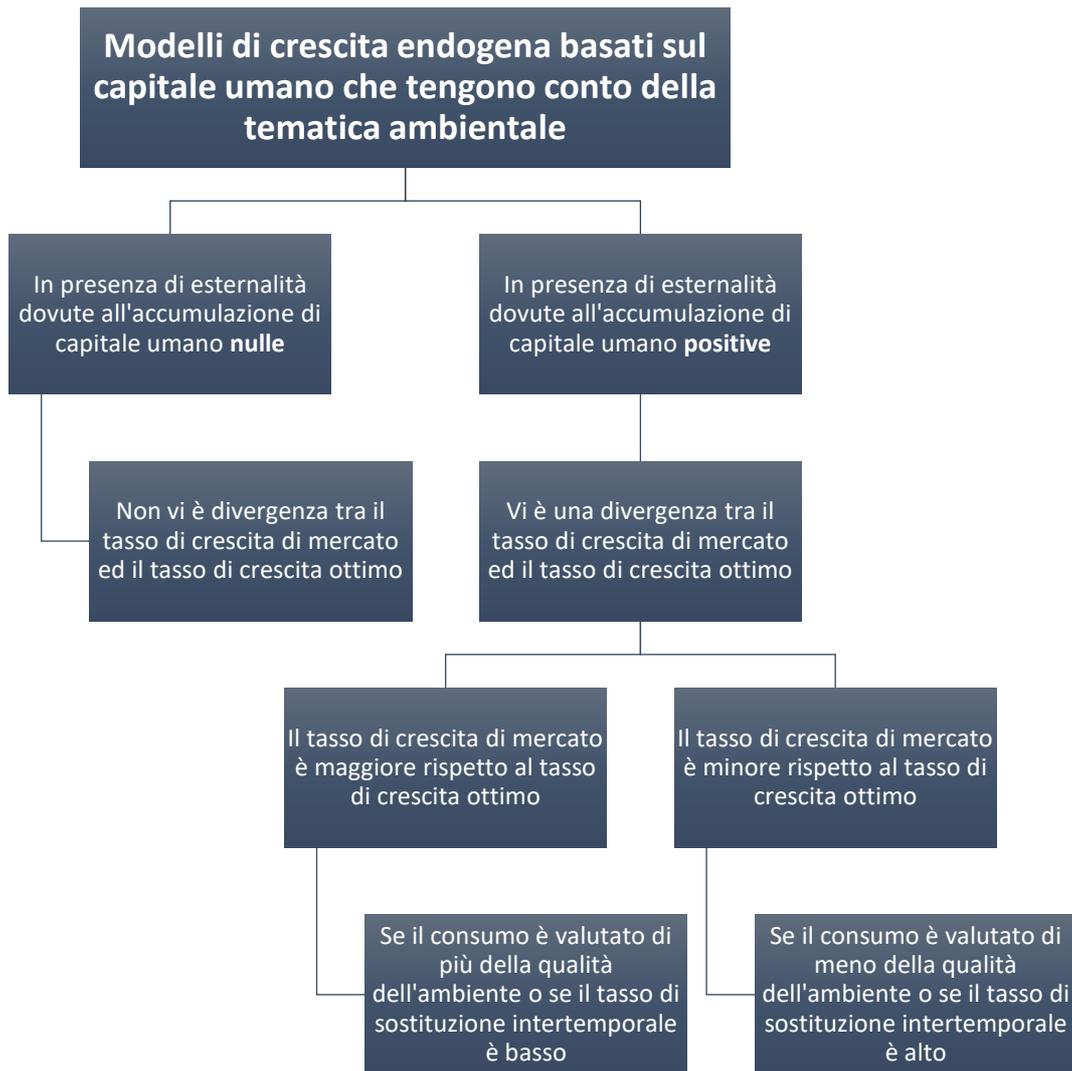
dove $A_y, \alpha, \beta > 0$ e $\alpha + \beta < 1$.

In particolare:

$$D = \left(\int_0^{M(t)} x(i)^\delta di \right)^{\frac{1}{\delta}}$$

dove $0 < \delta < 1$.

$M(t)$ rappresenta la misura dei prodotti differenziati disponibili nel mercato al tempo t .



Il settore dei beni intermedi è composto da imprese ciascuna delle quali produce uno di questi beni: quando l'impresa i assume il brevetto di questo bene ne diventa l'unico distributore e usa solo il lavoro all'interno della sua funzione di produzione. Un'unità di output del bene i è prodotta utilizzando $\frac{1}{A_x}$ unità di lavoro $L_x(i)$.

$$x_i = A_x L_x(i)$$

con $A_x > 0$.

Il settore della ricerca e dello sviluppo comprende un grande numero di imprese che usano il lavoro e le conoscenze come fattori produttivi. La tecnologia per questo sviluppo dei prodotti è data da:

$$\dot{M} = A_m L_m K_m$$

dove K_m rappresenta lo stock di conoscenze che per semplicità ipotizziamo pari ad M .

Dato che il settore dei beni intermedi applica delle barriere all'ingresso, dovremo ipotizzare che i suoi profitti siano di tipo monopolistico e che queste imprese scelgano la quantità da produrre massimizzando i profitti: abbandoniamo dunque, tramite questi modelli l'ipotesi della concorrenza perfetta che valeva per gli altri.

Il produttore del bene finale massimizza il suo profitto:

$$\max_{Y, D, L_y, K, x(i)} Y - wL_y - rK - p_d D$$

dove w è il salario unitario, r è il tasso di interesse e p_d è il prezzo unitario del bene D . L'ottimizzazione deve essere svolta sotto i vincoli di cui sopra:

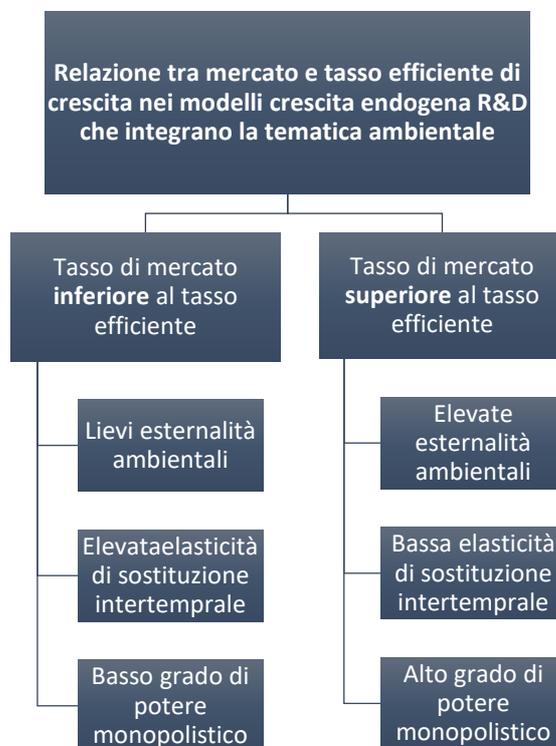
$$Y(t) = A_y K^\alpha D^\beta L_y^{1-\alpha-\beta}$$

$$D = \left(\int_0^{M(t)} x(i)^\delta di \right)^{\frac{1}{\delta}}$$

Nei modelli di ricerca, sviluppo e innovazione, le esternalità ambientali aggiungono un terzo tipo di distorsione e quindi rendono più complicata la relazione tra mercato e tasso efficiente di crescita economica e le fonti di distorsione. Con lievi esternalità ambientali, elevata elasticità di sostituzione intertemporale e/o basso grado di potere monopolistico, il tasso di mercato è inferiore al tasso efficiente. Se, tuttavia, le esternalità ambientali sono forti e l'elasticità della sostituzione è bassa e il potere monopolistico è debole, il tasso di mercato sarà elevato rispetto a quello ottimale. Quando il grado di

potere monopolistico è forte, ci sono molti casi possibili e la relazione tra i due tassi di crescita potrebbe andare in entrambi i modi.

I risultati di statica comparata sono simili nei tre modelli. Se l'elasticità della sostituzione è elevata e / o le esternalità ambientali sono lievi (o la valutazione degli agenti del consumo è maggiore rispetto a quella attribuita alla qualità ambientale), otteniamo risultati di statica comparata standard: la crescita aumenta con la produttività e l'elasticità della sostituzione intertemporale e diminuisce con il tasso di sconto. In caso contrario, otteniamo risultati opposti.



A causa della presenza di distorsioni, c'è molto spazio per l'intervento pubblico e per la correzione delle esternalità: una delle possibilità da sfruttare è quella di un'imposta sul reddito. Nel modello del capitale umano sono necessari due strumenti politici: una tassa sull'inquinamento e sussidi agli investimenti in capitale umano. Per ottenere un'allocazione ottimale delle risorse nel modello di R & S e innovazione sono necessari tre strumenti: una tassa sull'inquinamento, una sovvenzione per correggere la distorsione

monopolistica e un sussidio alla R & S per pagare l'esternalità positiva della creazione di conoscenza.

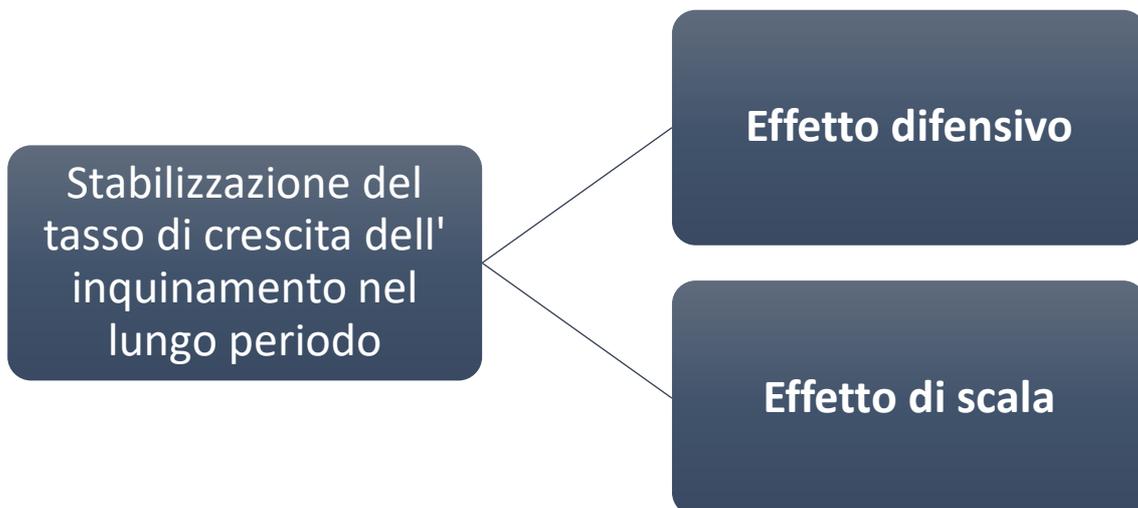
Sia nel capitale umano che nei modelli di R & S e innovazione, la relazione tra il tasso di mercato e il tasso efficiente è ambigua. Ciò suggerisce che i calcoli errati potrebbero non solo suggerire livelli errati di strumenti politici, ma potrebbe anche suggerire un tipo sbagliato di tali strumenti: la necessità di un'analisi empirica è quindi imperativa.

2.2 – Il modello di Criado e Stengos

Supponiamo che la propensione per il consumo e l'investimento in tecnologie pulite siano determinati in maniera endogena tramite la massimizzazione dell'utilità, con l'obiettivo di dimostrare che nel lungo periodo la stabilizzazione del tasso di crescita dell'inquinamento è associata ad una legge precisa: durante il processo attraverso il quale si raggiunge lo stato stazionario, il tasso di crescita delle emissioni pro-capite è legato negativamente al livello pro-capite delle emissioni stesse e positivamente al tasso di crescita pro-capite del PIL.

Possiamo dunque parlare di due effetti distinti che legano il tempo alla crescita delle emissioni inquinanti:

- effetto difensivo, dovuto alla relazione inversa tra tasso di crescita di emissioni e livello di emissioni pro-capite, dato che tale rapporto riflette il grado di efficacia delle spese di abbattimento nel limitare la crescita dell'inquinamento. Questo effetto genera un meccanismo virtuoso che riduce a zero l'inquinamento ambientale e, nel lungo periodo, le emissioni sono limitate;
- effetto di scala, dovuto alla relazione diretta tra tasso di crescita dell'inquinamento e tasso di crescita della produzione, che è la risultante del naturale connubio produzione-inquinamento, base di tutto il processo attraverso il quale prende vita l'analisi matematica degli effetti delle emissioni sulla qualità ambientale e sulla sostenibilità di lungo periodo.



Tale costrutto teorico porterà gli autori a definire una beta-convergenza, cioè una relazione intertemporale inversa tra il tasso di crescita presente delle variabili oggetto di studio, in particolare del livello di inquinamento, ed il tasso di crescita passato delle variabili stesse.

Il modello presenta le seguenti assunzioni:

$$Y(t) = F[K(t), B(t)N(t)]$$

dove $Y(t)$ è il livello di produzione, $K(t)$ è il livello di capitale, $B(t)N(t)$ è il lavoro efficiente. Inoltre:

$$B(t) = B_0 e^{\pi t}$$

$$N(t) = N_0 e^{n t}$$

La tecnologia, dunque, assume che l'output aggregato sia prodotto tramite capitale e lavoro efficiente, secondo una funzione di produzione omogenea con produttività

marginali positive e decrescenti rispetto ad entrambi i fattori produttivi. Ovviamente le condizioni Inada sono soddisfatte per ipotesi¹⁰.

Come di consueto, la popolazione N cresce al tasso $n > 0$ e l'efficienza del lavoro, che viene indicata tramite la lettera B cresce al tasso del progresso tecnico $\pi > 0$. Quindi, tramite la legge della capitalizzazione continua, è possibile attualizzare tutti i flussi futuri attraverso la relazione esponenziale indicata tramite le due formule di cui sopra, che descrivono il valore attuale dell'efficienza del lavoro e della crescita della popolazione.

Procediamo con la seconda ipotesi del modello che possiamo identificare come il vincolo per l'accumulazione del capitale, tipico dei modelli di crescita a partire da quello di Solow. Di seguito l'equazione per il modello che stiamo analizzando:

$$\dot{K}(t) = Y(t) - C(t) - X(t) - \delta K(t)$$

Come di consueto, il termine δ misura il deprezzamento del capitale, dunque l'investimento netto eguaglia la differenza tra il prodotto totale al tempo t , il consumo al tempo t e la spesa difensiva (X), cioè la spesa effettuata per ridurre le emissioni inquinanti e che quindi tende a ridurre l'intensità del settore produttivo.

Passiamo ora alla terza ipotesi del modello oggetto di studio, che si riferisce all'inquinamento:

$$P(t) = \tau(t)Y(t)$$

Questa equazione dice che le emissioni aggregate per unità di tempo $P(t)$ sono proporzionali all'output aggregato; inoltre $\tau(t)$ è l'intensità globale delle emissioni.

¹⁰ Le condizioni Inada sono condizioni dettate per la stabilizzazione di un sistema nel lungo periodo. Nello specifico, secondo queste condizioni, la funzione quando entrambi i fattori produttivi non sono utilizzati non restituisce alcun output; la funzione è concava; il limite del prodotto marginale quando il fattore tende a zero è infinito e, allo stesso tempo, tende a zero quando il fattore tende a infinito. Nel caso della funzione riportata, dunque:

$$Y(0; 0) = 0$$

$$\begin{array}{ll} \lim_{K \rightarrow 0} \frac{\partial Y}{\partial K} = +\infty & \lim_{L \rightarrow 0} \frac{\partial Y}{\partial L} = +\infty \\ \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{\partial Y}{\partial K} = 0 & \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\partial Y}{\partial L} = 0 \end{array}$$

Questa relazione, dunque, rispecchia il principio di base secondo il quale non può esistere produzione senza inquinamento, poiché se $P(t) = 0$ allora è nullo anche il fattore $Y(t)$.

Infine, l'ultima ipotesi del modello riguarda l'utilità dei consumatori:

$$U(t) = U[\bar{c}(t), \bar{p}(t)]$$

L'utilità marginale rispetto al consumo è positiva ma decrescente (come vuole la teoria neoclassica):

$$U'_c > 0$$

$$U''_{cc} < 0$$

L'utilità marginale rispetto al fattore p che rappresenta l'inquinamento è negativa e decrescente, il che significa che l'utilità dei consumatori viene ridotta dalle emissioni ma, man mano che tali emissioni aumentano, la riduzione dell'utilità va progressivamente rallentando (senza, peraltro, mai portare ad un effetto positivo):

$$U'_p < 0$$

$$U''_{pp} < 0$$

Nello specifico, il fattore \bar{c} è il consumo pro-capite, quindi:

$$\bar{c} = \frac{C}{N}$$

ed il fattore \bar{p} sono le emissioni pro-capite, quindi:

$$\bar{p} = \frac{P}{N}$$

Per riuscire a caratterizzare nel migliore modo possibile l'ottimo dinamico in questo modello, è necessario proporre una funzione che rappresenti adeguatamente il processo di riduzione delle emissioni attraverso la specifica analitica del termine $\tau(t)$, cioè l'intensità delle emissioni inquinanti stesse. Seguendo quanto proposto da Brock e Taylor (2010):

$$\tau(t) \equiv \Omega(t) \left[1 - \frac{X(t)}{Y(t)} \right]^{\mathcal{E}}$$

dove l'esponente \mathcal{E} deve essere maggiore di uno.

Il termine $\Omega(t)$ definisce l'intensità iniziale delle emissioni inquinanti ed il secondo termine $\left[1 - \frac{X(t)}{Y(t)} \right]^{\mathcal{E}}$ rappresenta l'effetto degli investimenti in tecnologie che riescano a ridurre le conseguenze dell'inquinamento. Facciamo un esempio pratico per comprendere meglio la natura di questa funzione.

Supponiamo che l'intensità iniziale delle emissioni sia pari a $\Omega(t) = 100$, la spesa difensiva sia pari a $X(t) = 300$ ed il reddito sia pari a $Y(t) = 1000$. Supponiamo inoltre che $\mathcal{E} = 2$. In tale caso, applicando la formula, l'intensità delle emissioni sarà $\tau(t) = 49$. Se, invece, aumentassimo la spesa difensiva a $X(t) = 400$, allora il risultato finale sarà $\tau(t) = 36$.

L'esponente dovrà essere maggiore di uno per evitare che la considerazione alla base di questa funzione (vale a dire che l'intensità delle emissioni deve ridursi man mano che aumenta il rapporto tra spesa difensiva e produzione) non restituisca il risultato sperato, infatti con una $\mathcal{E} < 1$ il risultato finale si inverte e, con esso, anche le considerazioni conseguenti.

Chiameremo da questo momento in poi il rapporto tra la spesa difensiva ed il reddito (Y/X) lo sforzo per l'utilizzo di tecnologie che abbattano le emissioni inquinanti: tale rapporto potrà corrispondere alla propensione ad investire nelle tecnologie pulite e, ovviamente, varrà la seguente regola:

$$0 < \frac{X}{Y} < 1$$

Dall'equazione di $\tau(t)$ possiamo dedurre dunque:

- allo sforzo massimo ($X = Y$) corrispondono zero emissioni;
- se, invece, $X = 0$, l'intensità delle emissioni sarà uguale al suo livello di base, cioè $\Omega(t)$ che varia nel tempo a seconda del progresso tecnologico, infatti dipende da t .

Quando vi sono dinamiche esplosive di inquinamento pro-capite (P/Y), l'unico modo per evitarle è quello di eguagliare il tasso di riduzione progressivo delle emissioni (cioè gli effetti del progresso tecnico che riducono il livello iniziale $\Omega(t)$) al tasso di progresso tecnologico che aumenta l'output aggregato. In questo modello, gli autori hanno tradotto questo principio nella seguente:

$$\frac{\dot{\Omega}(t)}{\Omega(t)} = -\pi$$

Il termine a sinistra di questa equazione rappresenta il cambiamento nel tempo del livello base delle emissioni inquinanti mentre la parte a destra è l'opposto del tasso di progresso tecnologico (che corrisponde al tasso di crescita di B , cioè dell'efficienza del lavoro). Grazie a questa condizione possiamo derivare tre considerazioni:

- se non vi è aumento e non vi è riduzione del livello base delle emissioni inquinanti, cioè $\frac{\dot{\Omega}(t)}{\Omega(t)} = 0$, allora il progresso tecnologico deve essere zero;
- se vi è un aumento delle emissioni inquinanti, tale da rendere il termine a sinistra positivo $\frac{\dot{\Omega}(t)}{\Omega(t)} > 0$, allora il progresso tecnologico deve essere negativo (a parole, infatti, se il progresso tecnologico è molto lento, le emissioni inquinanti saranno tenderanno ovviamente a crescere);
- se vi è una riduzione delle emissioni inquinanti, tale da rendere il termine a sinistra negativo $\frac{\dot{\Omega}(t)}{\Omega(t)} < 0$, allora il progresso tecnologico deve essere positivo per rispettare l'uguaglianza.

Nel modello viene ipotizzato che le emissioni pro-capite siano stabilizzabili nel lungo periodo e per assicurare tale condizione, il livello di base $\Omega(t)$ deve seguito la legge di crescita esponenziale:

$$\Omega(t) = \Omega_0(t)e^{-\pi t}$$

La funzione di utilità che viene proposta nel modello è la seguente:

$$U(\bar{c}(t), \bar{p}(t)) = \sigma \ln \bar{c}(t) - \zeta \bar{p}(t)^\theta$$

dove $\theta > 1$.

$\sigma > 0$ è il peso che viene assegnato all'utilità data dal consumo e $\zeta > 0$ è il peso che viene assegnato alla disutilità prodotta dall'inquinamento. La funzione, così riportata, rispetta tutte le proprietà elencate per le derivate della funzione di utilità.

La derivata prima della funzione rispetto al consumo è positiva per ogni livello di consumo:

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{c}} = \sigma \frac{\bar{c}'(t)}{\bar{c}(t)}$$

La derivata seconda rispetto al consumo, invece, è negativa per qualsiasi livello di consumo:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial \bar{c}^2} = \sigma \frac{\bar{c}''(t)\bar{c}(t) - \bar{c}'(t)\bar{c}'(t)}{[\bar{c}(t)]^2}$$

Per quanto riguarda il termine \bar{p} , la derivata prima è negativa:

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{p}} = -\zeta \theta \bar{p}(t)^{\theta-1} \bar{p}'(t)$$

La derivata seconda è, anch'essa, negativa:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial \bar{p}^2} = -\zeta \theta [(\theta - 1) \bar{p}(t)^{\theta-2} \bar{p}'(t) + \bar{p}(t)^{\theta-1} \bar{p}''(t)]$$

Capiamo immediatamente che il termine $\theta > 1$ assicura che il danno marginale derivante dalle emissioni sia crescente (infatti, il termine $\zeta\bar{p}(t)^\theta$ all'interno della funzione di utilità è negativo ma, essendo la sua derivata anch'essa negativa e quindi rendendo decrescente la funzione $\zeta\bar{p}(t)^\theta$, inverte tale effetto rendendo, nel complesso, il danno crescente).

In questo modello si assume che i percorsi temporali di consumo e utilizzo delle tecnologie di abbattimento siano scelti in modo ottimo dal consumatore quindi, assumendo come di consueto il tasso di sconto ρ , il percorso ottimo da scegliere è dato dalle sequenze di consumo e spesa difensiva che sono prodotte tramite la massimizzazione dinamica del flusso futuro prodotto dalla funzione di utilità:

$$\int_0^{\infty} U(\bar{c}(t), \bar{p}(t)) e^{-\rho t} dt$$

Tale ottimizzazione è soggetta al vincolo di accumulazione e di inquinamento che riportiamo da sopra:

$$\dot{K}(t) = Y(t) - C(t) - X(t) - \delta K(t)$$

$$P(t) = \tau(t)Y(t)$$

Inoltre, è soggetta anche al vincolo di non-negatività $K(t) > 0$.

Notando come segue lo sforzo per l'utilizzo di tecnologie che abbattano le emissioni inquinanti:

$$\chi(t) = \frac{X(t)}{Y(t)}$$

la produzione normalizzata:

$$y \equiv \frac{Y}{BN}$$

ed il livello normalizzato del capitale:

$$k \equiv \frac{K}{BN}$$

la funzione di produzione $Y(t) = F[K(t), B(t)N(t)]$ in 1 assume la seguente forma:

$$y = f(k) = F(k, 1)$$

dove f_k coincide con il prodotto marginale del capitale. Possiamo allora riscrivere la seconda e la terza equazione del modello come segue:

$$\dot{k}(t) = f(k(t))[1 - \chi(t)] - c(t) - (\delta + n + \pi)k(t)$$

$$p(t) = \Omega(t)[1 - \chi(t)]^\varepsilon f(k(t))$$

dove ovviamente:

$$c \equiv \frac{C}{BN}$$

è il livello di consumo normalizzato e

$$p \equiv \frac{P}{BN}$$

è il livello di inquinamento normalizzato.

Per trovare il percorso ottimo è necessario massimizzare la funzione di utilità:

$$\int_0^\infty [\sigma \ln \bar{c}(t) - \zeta \bar{p}(t)^\theta] e^{-\rho t} dt$$

soggetta ai due vincoli espressi dalle equazioni sopra riportate per le variabili $\dot{k}(t)$, $p(t)$. Da tale ottimizzazione, le condizioni necessarie per raggiungere l'ottimo sono le seguenti:

$$\frac{\dot{c}(t)}{c(t)} = [f_k(t)(1 - \chi(t))(1 - \varepsilon^{-1})] - (\rho + \delta + n + \pi)$$

$$1 - \chi(t) = \Gamma f(k(t))^{-\frac{\theta-1}{\varepsilon\theta-1}} c(t)^{-\frac{1}{\varepsilon\theta-1}}$$

La prima delle due condizioni rappresenta il tasso di crescita del consumo normalizzato lungo il sentiero ottimale; la sua particolarità rispetto ai contenuti dei consueti modelli è quella di avere al suo interno la variabile χ (lo sforzo per l'utilizzo di tecnologie che possano abbattere le emissioni). Inoltre, il fattore $(1 - \varepsilon^{-1})$ è un fattore di elasticità in grado di quantificare la distorsione del beneficio marginale dell'accumulazione indotto dalla riduzione delle emissioni.

La seconda condizione, in cui Γ è una costante positiva ed esogena determina la propensione ottima per la spesa effettuata in abbattimento delle emissioni inquinanti. Tale condizione è in grado di specificare un preciso collegamento tra i valori normalizzati di consumo e di capitale: se il consumo e la produzione aumentano lungo il sentiero ottimale, lo sforzo per la riduzione delle emissioni χ aumenta a sua volta; viceversa nel caso in cui il consumo e la produzione si riducono.

Studiamo ora le proprietà dinamiche del sentiero ottimo, definendo dapprima il termine $\Gamma f(k(t))^{-\frac{\theta-1}{\varepsilon\theta-1}} c(t)^{-\frac{1}{\varepsilon\theta-1}}$ come segue:

$$\Phi(k, c) = \Gamma f(k(t))^{-\frac{\theta-1}{\varepsilon\theta-1}} c(t)^{-\frac{1}{\varepsilon\theta-1}}$$

Tale funzione ha:

- derivata prima rispetto a k negativa;
- derivata prima rispetto a c negativa.

Possiamo dunque scrivere:

$$1 - \chi(t) = \Phi(k, c)$$

e sostituire tale equazione nelle espressioni di $\dot{k}(t)$ e di $\frac{\dot{c}(t)}{c(t)}$, riducendo il tutto al seguente sistema dinamico:

$$\dot{k} = f(k)\Phi(k, c) - c - (\tilde{\rho} - \rho)k$$

$$\dot{c} = f_k(k)\Phi(k, c)(1 - \varepsilon^{-1})c - \tilde{\rho}c$$

dove $\tilde{\rho} = \rho + \delta + n + \pi$. Le coppie di capitale e consumo che risultano da questo sistema sono i risultati che otterremo nel lungo periodo, quello che Solow ha chiamato stato stazionario (*steady-state*) del sistema.

L'equilibrio di stato stazionario è stabile ed unico $(c^{ss}; k^{ss})$: dato il punto iniziale $k(0)$, il sentiero ottimale è unico e implica la convergenza nella direzione di $(c^{ss}; k^{ss})$. Questa proposizione ha importanti implicazioni: prima fra tutte, la convergenza verso $(c^{ss}; k^{ss})$ implica che la propensione a spendere in tecnologie pulite e il prodotto marginale del capitale sono costanti nel lungo periodo.

In tal senso, se nell'equazione di $\frac{\dot{c}(t)}{c(t)}$ imponiamo la stazionarietà (cioè la eguagliamo a zero), otteniamo il livello di stato stazionario del prodotto marginale del capitale:

$$f_k^{ss} = \frac{\rho + \delta + n + \pi}{(1 - \chi^{ss})(1 - \varepsilon^{-1})}$$

Una seconda implicazione della proposizione di cui sopra riguarda l'economia nel suo complesso: data la sua capacità di direzionarsi verso il punto di stato stazionario stabile, l'economia possiede una crescita di tipo bilanciato nel lungo periodo.

Quindi, le variabili c e k (consumo e capitale normalizzati grazie alla divisione per le unità di lavoro efficiente), come anche il rapporto χ , raggiungono valori di stato stazionario. Quindi, l'output aggregato, il capitale e la spesa crescono allo stesso tasso bilanciato:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\dot{C}(t)}{C(t)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\dot{X}(t)}{X(t)} = n + \pi$$

Quindi, tutte le variabili espresse in termini pro-capite, crescono allo stesso livello del progresso tecnologico π nel lungo periodo.

L'ultima implicazione di questa proposizione è quella di far convergere il livello di inquinamento pro-capite ad un livello di stato stazionario costante.

È chiaro che la modellazione proposta, come tutta la letteratura che viene scritta con tale obiettivo, è utile per comprendere sempre meglio le relazioni tra il tasso di crescita di lungo periodo di un'economia e la presenza di emissioni inquinanti (e ovviamente per altre importanti e strategiche variabili che nel lungo periodo influenzano i principali indicatori economici). In questo modello, l'economia rappresentativa mostrava la correlazione tra l'abbattimento di emissioni inquinanti, il progresso tecnologico e i rendimenti di scala decrescenti nell'ottica di comprendere la generazione di un sentiero ottimale di crescita caratterizzato da una precisa legge dinamica.

Come abbiamo visto, infatti, il tasso di crescita delle emissioni pro-capite è:

- negativamente influenzato dal livello di emissioni pro-capite;
- positivamente influenzato dal tasso di crescita della produzione pro-capite.

Il primo effetto, chiamato effetto difensivo, riflette l'efficacia della spesa effettuata per l'abbattimento delle emissioni; il secondo effetto, chiamato effetto di scala, implica la relazione positiva tra produzione e emissioni inquinanti. Questa relazione dinamica può essere interpretata come una beta-convergenza dovuta al circolo virtuoso innescato dall'effetto difensivo: il tasso di crescita delle emissioni inquinanti, infatti, regredisce fino a valere zero e le emissioni pro-capite sono limitate nel lungo periodo.

2.3 – Il modello di Ana Balcao Reis

Nel modello precedente abbiamo visto un inserimento dell'utilizzo di tecnologie capaci di abbattere l'inquinamento ed il conseguente effetto che possiamo analiticamente riscontrare dopo tale applicazione. Nello specifico, abbiamo visto che se il consumo e la produzione aumentano lungo il sentiero ottimale, lo sforzo per la riduzione delle emissioni χ aumenta a sua volta; viceversa nel caso in cui il consumo e la produzione si riducono. Proponiamo ora un modello in cui l'autore ha voluto studiare l'effetto sulla crescita economica ottimale della possibilità di scoprire una tecnologia capace di eliminare l'inquinamento atmosferico.

La scoperta di una tale tecnologia riduce i costi legati alle emissioni inquinanti e quindi anche il loro livello atteso, cosa di particolare rilevanza visti i notevoli progressi in termini di ricerca e sviluppo prodotti negli ultimi 50 anni: ormai, un modello che voglia studiare la crescita senza inserire il progresso tecnologico non ha senso, infatti la ricerca e lo sviluppo saranno sempre in grado di generare nuova tecnologia la quale, al massimo, può essere limitata da interventi lobbistici ma non può essere fermata in alcun modo.

Il progresso tecnologico negli ultimi anni si è fortemente mosso verso sistemi di generazione energetici più verdi, anche a seguito dei numerosi interventi che sono stati portati avanti tramite azioni politiche mirate come il protocollo di Montreal e le sue successive revisioni, che nel 1990 hanno raggiunto un accordo per la riduzione dei gas CFC nell'atmosfera. Anche se i primi obiettivi non sono stati raggiunti, come quello di eliminare i veicoli inquinanti prima del 2016, gli sforzi per raggiungere una stabilità in termini ambientali stanno dando i loro frutti anche attraverso nuovi business e nuove professioni totalmente incentrate sull'incentivo all'utilizzo di tecnologie migliori dal punto di vista ambientale.

Senza progresso tecnologico, l'esistenza dell'inquinamento come esternalità della produzione che riduce l'utilità dell'agente rappresentativo, implica che il sentiero ottimo dell'economia converge ad uno stato stazionario in cui capitale, produzione e consumo sono costanti. Questo accadrebbe anche se la produttività marginale del lavoro fosse costante poiché, quando produzione e consumo crescono troppo, l'effetto negativo sull'utilità prodotto dall'aumento dell'inquinamento è più forte rispetto all'effetto positivo sull'utilità dovuto all'aumento del consumo.

Quando, invece, il progresso tecnologico viene considerato all'interno di un modello di crescita di lungo periodo, allora si apre la possibilità di un tasso di crescita positivo di stato stazionario. Nel modello che stiamo per proporre, lo studio si concentra sugli effetti sul tasso di crescita di lungo periodo quando il benessere dipende dal flusso delle emissioni inquinanti e sugli effetti che possono essere riscontrati sulla crescita economica della probabilità (p per unità di tempo) di scoprire una nuova tecnologia capace di ridurre le emissioni inquinanti.

Quando il processo di sviluppo tecnologico è continuo, il modello ottiene una riduzione degli effetti inquinanti della produzione partendo da un processo esogeno di sviluppo e consegue un tasso di crescita esogeno nel lungo periodo; il modello continua poi inserendo anche un fattore di ricerca e sviluppo individuando il livello di investimento ottimo per l'avanzamento tecnologico. Se esiste una probabilità positiva di creare nuove tecnologie capaci di abbattere l'inquinamento, il modello dimostra che il tasso di crescita di lungo periodo è più elevato, in particolar modo quando (in assenza di una speranza di ridurre le emissioni tramite nuove tecnologie) il tasso di crescita è zero.

In sintesi, il modello mostra che il tasso di crescita nello stato stazionario è più piccolo rispetto ad un'economia in cui non esiste l'inquinamento, per ogni valore della probabilità di cui sopra. Questo implica che, per riuscire a raggiungere l'ottimo, il governo dovrà tassare la produzione o inserire qualche sorta di regolamentazione per fare in modo che gli agenti privati tengano in considerazione le esternalità negative dovute alla produzione.

Si considera un'economia chiusa con popolazione costante e normalizzata ad uno, in cui l'inquinamento si rivela come un'esternalità dovuta alla produzione. L'utilità dell'agente rappresentativo dipende dal consumo pro-capite C e dal flusso di inquinamento P :

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left[\ln C_t - D \frac{P_t^\gamma}{\gamma} \right] dt$$

dove $\gamma \geq 1$ e $D > 0$.

La funzione di produzione è la seguente:

$$Y = AK$$

Il capitale non si deprezza e il flusso di inquinamento ad ogni momento t è proporzionale al totale della produzione:

$$P_t = A \frac{K_t}{z_t}$$

dove z è una misura dell'effetto dell'inquinamento sulla produzione: quando z aumenta, l'inquinamento si riduce quindi tale parametro può essere interpretato come una variabile tecnologica che identifica l'utilizzo di tecnologie che abbattano le emissioni.

In assenza di esternalità dovute alle emissioni, il modello rivela un tasso di crescita costante dell'economia uguale a $A - \rho$ e non vi sono dinamiche di transizione; ma in questo modello viene assunto che $A - \rho > 0$, che è la condizione per un tasso di crescita positivo. Quando vi è inquinamento, la scelta dipende da z : assumendo che lo sviluppo tecnologico permetta alla produzione di essere meno inquinante, la funzione di produzione è sempre la stessa ma per ogni livello di produzione le emissioni si riducono con l'aumento del progresso tecnologico.

Si assume che il progresso tecnologico aumenti ad un tasso costante ed esogeno:

$$\dot{z} = Fz_t$$

Si assume inoltre che vi sia la possibilità di scoprire una tecnologia capace di eliminare l'inquinamento: c'è una probabilità costante e pari a p per unità di tempo di scoprire questa nuova tecnica, che permetterebbe alla produzione di avere emissioni zero. Sia dunque T una variabile stocastica che indichi il momento della scoperta: dopo tale momento, il livello di inquinamento è zero. Dunque:

- se $p = 0$ allora la scoperta non verrà mai fatta;
- se $p \rightarrow \infty$ allora la scoperta verrà fatta immediatamente.

In tal caso, la funzione di utilità può essere scritta come il valore atteso di una somma da massimizzare:

$$U = \left\{ \int_0^T e^{-\rho t} \left(\ln C_t - D \frac{P_t^\gamma}{\gamma} \right) dt + \int_T^\infty e^{-\rho t} \ln C_t dt \right\}$$

Se indichiamo con $v(K_T)$ il secondo termine da massimizzare, allora il problema può essere scritto come:

$$v(K_T) = \max \int_T^\infty e^{-\rho t} \ln C_t dt$$

soggetto al vincolo seguente:

$$\dot{K}_t = AK_t - C_t$$

La soluzione di questo problema di ottimizzazione mostra che, per ogni momento dopo la scoperta, $C_t = \rho K_t$, non vi è dinamica di transizione e K e C crescono ad un tasso costante e pari a $A - \rho$.

È possibile dunque scrivere:

$$v(K_T) = \frac{e^{-\rho t}}{\rho} \left[\ln \rho K_T + \frac{(A - \rho)}{\rho} \right]$$

Secondo la distribuzione di Poisson, se c'è una probabilità pari a p per unità di tempo di scoprire una nuova tecnologia che possa eliminare completamente l'inquinamento, allora la probabilità di P è positiva in un momento t dato, e questo significa che la scoperta non avverrà fino a quel momento; dunque la probabilità di P è:

$$e^{-\rho t}$$

Utilizzando questa equazione e volendo riscrivere la funzione di utilità:

$$\int_0^T e^{-\rho t} \left(\ln C_t - D \frac{P_t^\gamma}{\gamma} \right) dt + \int_0^\infty \frac{e^{-\rho t}}{\rho} \left[\ln \rho K_T + \frac{(A - \rho)}{\rho} \right] p e^{-\rho t}$$

Ecco il problema di ottimizzazione Hamiltoniana:

$$H = \log C_t - \frac{D \left(A \frac{K_t}{Z_t} \right)^\gamma}{\gamma} + \left[\log \rho K_t + \frac{A - \rho}{\rho} \right] \frac{p}{\rho} + \lambda_t [AK_t - C_t]$$

Le condizioni necessarie sono le seguenti:

$$C_t = \frac{1}{\lambda_t}$$

$$\dot{\lambda} = \lambda_t \left(p + \rho - A + D \frac{\left(A \frac{K_t}{Z_t} \right)^\gamma}{\lambda_t K_t} - \frac{p}{\rho \lambda_t K_t} \right)$$

e la condizione di trasversalità è la seguente:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-(p+\rho)t} \lambda_t K_t = 0$$

La probabilità p , cioè la possibilità di scoprire una nuova tecnologia capace di abbattere l'inquinamento completamente, entra nella seconda condizione in due modi differenti:

- da una parte aumenta il tasso di sconto;
- dall'altra riduce l'effetto di un cambiamento del costo opportunità del capitale: un aumento nel capitale a disposizione dell'economia aumenta l'inquinamento, ma aumenta anche lo stock di capitale a disposizione nel momento in cui viene effettuata la scoperta in grado di eliminare l'inquinamento.

Abbiamo visto che dopo la scoperta, il consumo ed il capitale crescono allo stesso tasso costante $A - \rho$, ma ora vediamo l'equilibrio a cui converge l'economia prima della scoperta. Naturalmente l'economia non raggiungerà mai questo livello di equilibrio, ma è molto utile ad un'analisi esterna, visto che probabilmente nella realtà questa scoperta non sarà mai realizzata.

Se vale la seguente condizione:

$$A - \rho > F$$

al livello di stato stazionario del sentiero ottimo per il periodo precedente alla scoperta, il capitale K , il consumo C ed il livello di produzione crescono al tasso costante F ed il livello di inquinamento è costante. Dunque, nello steady state, varrà la seguente regola:

$$\frac{K}{z} = \left[\frac{(A - \rho - F)(p + \rho)}{D(A - F)\rho} \right]^{\frac{1}{\nu}} \frac{1}{A}$$

$$\frac{C}{K} = A - F$$

Quindi, quando vale $A - \rho > F$, il sistema è stabile e converge all'equilibrio di stato stazionario, in cui il tasso di crescita è F : durante la transizione vale sempre la seguente:

$$\frac{C}{K} > \rho$$

che implica un tasso di crescita del capitale più piccolo rispetto al valore di $A - \rho$. Se, invece, vale la seguente relazione:

$$A - \rho < F$$

il valore di $\frac{K}{z}$ converge asintoticamente a zero, il che mostra un tasso di crescita del capitale più piccolo rispetto a z . $\frac{C}{K}$ converge asintoticamente a ρ ; il tasso di crescita del capitale e del consumo convergono a $A - \rho$, cioè il tasso di crescita quando non c'è inquinamento nel sistema.

La condizione $A - \rho < F$ significa dunque che il flusso di inquinamento decresce in modo esogeno ad un tasso così alto che la soluzione finale sarà la stessa rispetto a quella in cui non esiste inquinamento nel sistema.

Dunque possiamo riassumere le conclusioni di questo modello in due assunti fondamentali, che dipendono dal valore della differenza $A - \rho$:

- se $A - \rho > F$, allora l'inquinamento cresce o decresce fino a raggiungere il valore di stato stazionario. L'aumento o il decremento dipendono dal valore iniziale del rapporto $\frac{K}{z}$ che deve essere, rispettivamente, più basso o più alto del suo valore di stato stazionario;
- se $A - \rho < F$, il flusso di inquinamento si riduce fino a zero.

Se non c'è progresso tecnologico, $F=0$ e non vi è alcuna crescita nel lungo periodo, dato che la presenza delle esternalità riduce il valore sociale del capitale: quando il capitale si accumula, crescono consumo e produzione, ma anche l'inquinamento, dopo un certo valore di consumo, l'effetto negativo dovuto all'aumento della produzione è più forte dell'effetto positivo dovuto all'aumento dello stesso consumo.

Ci interroghiamo ora sul ruolo fondamentale che opera p in questo modello, cioè la probabilità che la grande scoperta sia effettuata ad un certo momento nel tempo. Si tratta, di fatto, di una probabilità attribuita dall'agente rappresentativo all'evento relativo alla scoperta di questa tecnologia: il valore di p non è stabile, ma può aumentare o diminuire a seconda delle notizie che vengono diffuse in merito a nuove scoperte che possono contribuire a trovare questa innovativa tecnica capace di debellare l'inquinamento nonostante la crescita possa rimanere positiva e sostenibile.

Quando p aumenta, il rapporto tra consumo pro-capitale e capitale diminuisce per ogni livello del rapporto $\frac{K}{z}$: in ogni momento, lo stock di capitale e l'indice della tecnologia (rispettivamente K e z) sono dati. In questo caso, dunque, l'aggiustamento avviene tramite una riduzione del consumo pro-capite attuato nel momento in cui la probabilità p aumenta. Lungo il sentiero della transizione allo stato stazionario, dunque, il processo avviene tramite livelli inferiori del rapporto tra consumo e capitale e, quindi, attraverso livelli maggiori del tasso di crescita del capitale e della produzione. Lo stock di capitale e la produzione aggregata, dunque, raggiungono livelli maggiori e l'inquinamento si riduce ad un tasso più basso rispetto al caso in cui p rimane al livello iniziale.

Dato che il valore della differenza $A - \rho$ risulta molto importante ai fini dell'analisi di questo modello, possiamo osservare che:

- Se $A - \rho < F$, i valori asintotici di $\frac{K}{Z}$ e di $\frac{C}{K}$ non cambiano quando cambia p ;
- Se $A - \rho > F$, dopo l'aumento di p e prima della scoperta, l'economia arriverà ad un equilibrio di stato stazionario con un elevato livello di $\frac{K}{Z}$ e quindi un più elevato livello di inquinamento.

Capitolo Tre

Effetto difensivo ed effetto di scala: analisi delle serie storiche

3.1 – Effetto difensivo VS Effetto di scala

Nel capitolo due abbiamo sviluppato in modo approfondito l'approccio dei modelli di crescita endogena alla tematica ambientale. La modellazione teorica di tale argomento si basa su tre principali strutture: i modelli così detti convessi, i modelli con l'accento sul ruolo del capitale umano e i modelli che comprendono il ragionamento sui settori dell'innovazione, della ricerca e dello sviluppo.

Quando parliamo di crescita endogena, dunque, ci riferiamo a modelli che hanno delle caratteristiche alla loro base che li distinguono dalle precedenti formulazioni teoriche: la crescita economica, infatti, secondo questi modelli è prodotta dal sistema economico stesso ed è quindi influenzabile tramite delle politiche adeguate; l'innovazione tecnologica è prodotta in particolar modo tramite il learning-by-doing che permette ai mercati il raggiungimento di profitti di tipo monopolistico e quindi ha permesso l'introduzione della concorrenza non perfetta all'interno dei modelli di crescita economica.

L'innovazione di tipo learning-by-doing, ben descritta da Shumpeter, si distingue da quella di tipo learning-by-using per essere caratterizzata da uno sviluppo di tipo concettuale e non semplicemente pratico o emulativo: si tratta, quindi, di una struttura di ricerca che permette alle persone e all'economia di sviluppare un approccio programmatico all'avanzamento tecnologico e quindi una (seppur remota) possibilità di controllare il futuro sviluppo e le future scoperte, che in questi modelli si rivelano trainanti per la crescita complessiva del sistema economico.

L'innovazione di tipo learning-by-doing nel nostro contesto è molto importante, poiché lo sviluppo di nuove tecnologie che possano essere considerate più *green* e quindi maggiormente compatibili con la risoluzione o l'attenuazione della problematica ambientale che ancora oggi risulta uno dei temi principali nell'ordine di garantire alle

future generazioni un costo sociale minore possibile, è una tematica sia teorica che pratica che regala molti spunti di avanzamento strutturale sia in termini economici che tecnici.

Lo studio dell'ambiente ha infatti prodotto moltissime tipologie di nuovi campi di ricerca e l'unione del concetto di risorsa economica a quello di ambiente ha permesso lo sfruttamento di risorse della fisica e della chimica (sia teoriche che pratiche) unendole a principi matematici tipici dell'ambiente economico, producendo un'ingente letteratura che aiuta sempre di più a comprendere quale sia il corretto approccio metodologico al governo della problematica ambientale.

Quando approcciamo alla gestione di una questione così importante non possiamo prescindere dall'intervento in termini di studio empirico delle risorse, delle serie storiche dei dati e dei metodi che possono garantire un più efficiente sfruttamento delle risorse naturali. L'analisi anche solo descrittiva delle serie storiche dei dati riguardo alcuni tipi di inquinamento, ad esempio, può permettere l'attuazione di determinate politiche a favore o contro uno specifico utilizzo o una diffusione meno o più capillare di un agente chimico o fisico.

Come abbiamo visto nelle pagine precedenti, gli aspetti da valutare quando ci troviamo di fronte ai danni (o ai benefici) provocati dagli interventi umani sull'ambiente, dobbiamo valutare sia casualità dirette che indirette: per le prime, possiamo annoverare i danni (o i benefici) alla salute umana e all'ambiente che viene coinvolto nell'attività economica oggetto di valutazione o nella diffusione del particolare agente chimico considerato; per le seconde, anche se meno di immediata percezione, possiamo identificare la riduzione della produttività nel lungo periodo dovuto ad un'accumulazione di un alto livello di scorie (o anche l'aumento di tale produttività dovuta all'attuazione di politiche che permettano uno sfruttamento più efficiente delle risorse ambientali). La riduzione della produttività è un indicatore che può rendere più bassa la crescita economica nel lungo periodo e che quindi può contribuire a una stabile stagnazione o a periodi di recessione o depressione economica.

Il modello che più ha catturato la nostra attenzione durante lo studio della crescita endogena basata sulla ricerca e sullo sviluppo è stato quello di Criado e Stengos che ha identificato analiticamente due effetti prodotti dall'accumulazione dell'inquinamento: il primo può essere definito come effetto difensivo, il secondo come effetto di scala.

L'effetto difensivo individua una sorte di relazione monotona crescente e concava tra il livello di inquinamento di un certo agente chimico o fisico e l'accumulazione di tale inquinante nel tempo. In sostanza, vi è una relazione inversa tra il tasso di crescita delle emissioni ed il livello di emissioni pro-capite che riflette il grado di bontà delle politiche che impongono determinate spese a favore dello sviluppo di tecnologie capaci di abbattere le emissioni. Sostanzialmente, durante un determinato periodo di tempo, l'inquinamento si accumula, ma sempre meno: ad un certo punto, per l'effetto di questa difesa, l'inquinamento marginale sarà nullo e quindi il livello totale della presenza dell'agente inquinante dovrebbe stabilizzarsi.

In effetti, tale considerazione ha un senso logico ed economico basato sul concetto di produttività marginale decrescente: quando facciamo riferimento ad una produzione di qualsiasi bene, essa non può esistere senza inquinamento, ma possiamo pensare che con l'andare del tempo le tecnologie che sviluppano il bene (ammesso che vi sia sempre un mercato per quel bene o che comunque la tecnologia utilizzata per lo sviluppo di tale bene sia utilizzata per la produzione di altro) possano diventare sempre più intelligenti dal punto di vista ambientale e quindi sempre più compatibili con una produzione che non danneggi ulteriormente le future generazioni. In questo modo, una certa dose di inquinamento sarà sempre generata, ma stabilizzando il suo livello nel tempo sarà possibile procedere a produzioni sempre più efficienti in senso ambientale in modo da stabilizzare completamente la presenza di tutti gli agenti inquinanti sul pianeta.

L'effetto di scala è molto più semplice rispetto all'effetto difensivo: vi è una relazione diretta tra tasso di crescita della produzione e tasso di crescita dell'inquinamento. È necessario, in questo contesto, fare un appunto al fine di non confondere il lettore: non si parla in queste pagine del naturale effetto inquinante di una produzione quotidiana. Si parla di una relazione tra i tassi di crescita delle due grandezze che, di fatto, è molto meno intuibile: se il tasso di crescita della produzione aumenta, secondo il modello di Criado e Stengos, anche il tasso di crescita dell'inquinamento segue lo stesso trend. Si tratta, dunque, di un risultato in contrasto con quello dell'effetto difensivo poiché tale effetto prevede che, con l'andare del tempo, vengano sviluppate delle tecnologie che permettano l'abbattimento o la riduzione dell'inquinamento, sino a stabilizzarne il quantitativo cumulato. L'effetto di scala, invece, prevede che l'aumento

della produttività (e quindi, in sostanza l'aumento del tasso di crescita dell'economia) generi un tasso di crescita del livello di inquinamento che aumenta a sua volta.

Effetto difensivo ed effetto di scala, dunque, sono due facce della stessa medaglia: restituiscono degli effetti opposti sul sistema economico e il risultato finale in termini di stabilizzazione del livello cumulato di emissioni dipenderà dunque da quanto forte è, in ogni singola e specifica economia, l'apporto del singolo effetto sull'apparato nel suo complesso. L'approccio che dovremo usare in questo capitolo, dunque, per riuscire a identificare la grandezza dei due effetti per le economie di nostro interesse, è un approccio di tipo empirico che possa verificare, dal punto di vista quantitativo che il tasso di crescita delle emissioni pro-capite sia:

- una funzione decrescente del livello di emissioni pro-capite;
- una funzione crescente del tasso di crescita della produzione pro-capite.

Grazie agli insegnamenti di Barro e Sala-i-Martin, prenderemo in considerazione un determinato numero di economie di nostro interesse e un panel di dati il più lungo possibile, al fine di non perdere gli aggiustamenti di lungo periodo. Per riuscire ad ottenere un approccio di tipo parametrico al problema, avremo bisogno di considerare le seguenti variabili:

- il tasso di crescita delle emissioni in termini pro-capite e in termini annuali (calcolato tramite la semplice differenza prima degli anni successivi, partendo dunque già dalla soluzione del problema delle serie storiche a radice unitaria);
- il livello di emissioni pro-capite, considerato in un determinato anno per uno specifico Paese considerato;
- il livello della produzione nell'economia pro-capite, considerato in un determinato anno per uno specifico Paese considerato;
- il tasso di crescita dell'economia, calcolato sempre come differenza prima tra un anno e l'altro, nella stessa ottica dichiarata sopra.

3.2 – I principali inquinanti

In questa sezione ci interroghiamo su quali siano i principali inquinanti che devono essere considerati (singolarmente) quando ci riferiamo alla tematica ambientale in termini economici. Lo sfruttamento delle risorse, infatti, determina la diffusione di tali agenti in

molte differenti grandezze fisiche, che devono essere valutate in base all'impatto della singola unità sulla società e sull'ambiente stesso: non tutti gli inquinanti, infatti, sono nocivi allo stesso modo e, soprattutto, utili allo stesso livello per la produzione e per il benessere.

Il messaggio che un inquinante possa essere utile per il benessere, quindi che una certa dose di inquinamento sia fondamentale per garantire la crescita e lo sviluppo sociale necessari ad un progresso in senso lato del mondo in cui viviamo, è molto complesso da rendere attuale in una società in cui la volontà di abbattimento si basa su una sostanziale disinformazione. Tale distorsione sistematica rende sempre più complesso il lavoro delle scienze (sia economiche che dure, come la fisica e la chimica) che si trovano impegnate in studi che spesso hanno come obiettivo il totale abbattimento di un determinato agente inquinante, anziché il raggiungimento di uno sfruttamento sostenibile. Sono molti i casi registrati dalla letteratura, in cui la privazione di un agente inquinante ha prodotto molti più danni alla salute e all'ambiente dell'utilizzo dello stesso agente.

CO – Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio è un gas inodore, incolore e insapore meno denso dell'aria: si tratta di un gas che per molti animali è tossico (anche per l'uomo) se si incontra con concentrazioni superiori a 35 parti per milione. In realtà il monossido di carbonio è naturalmente prodotto dai metabolismi degli animali per i quali è tossico (ovviamente in porzioni molto più piccole) e si ritiene inoltre che abbia alcune funzioni biologiche. Per quanto riguarda il suo ruolo nell'atmosfera, si tratta di un elemento che contribuisce a formare l'ozono (anch'esso tossico) ed è quindi presente normalmente in percentuali che possono variare da zona a zona. Questo monossido è formato da un atomo di carbonio ed un atomo di ossigeno ed è il più semplice tra gli ossidi di carbonio.

L'avvelenamento da monossido di carbonio è una delle cause più comuni di avvelenamento da aria nel mondo, tra quelli di tipo mortale. Combinandosi con l'emoglobina rende inefficace il processo naturale di trasporto di ossigeno ai tessuti corporei. Quando un essere umano entra in contatto con una percentuale di monossido di carbonio pari o superiore 667 parti per milione, va incontro a convulsioni, coma e molto probabilmente alla morte. In molti Stati, come in USA, vi sono leggi che limitano

l'esposizione prolungata ad una percentuale di molto inferiore a tale livello: nel caso specifico, infatti, la legge prevede un massimo espositivo pari a 50 parti per milione.

I sintomi più comuni che possono essere attribuiti a questo tipo di avvelenamento sono nausea, vomito, stanchezza generalizzata, sensazione di debolezza, vertigini, mal di testa. Inoltre, vi possono essere anche segni di tipo neurologico come il disorientamento, la confusione, disturbi visivi e la sincope. Il problema principale di questo tipo di avvelenamento sta proprio nei suoi sintomi: dato che l'effetto principale della riduzione dell'emoglobina è quello di far apparire un soggetto che non sta bene come un soggetto sano, questo tipo di avvelenamento non è prontamente diagnosticabile; non sono rari infatti i casi in cui tale possibilità sia valutata solamente quando le condizioni del paziente sono molto gravi o addirittura irreversibili.

Gli effetti avversi di tale inquinante, però, non si fermano a situazioni di tipo letale ma procurano anche danni a lungo termine in soggetti vivi e al feto delle donne incinte: il monossido di carbonio, infatti, agendo direttamente sull'emoglobina, può danneggiare gravemente il cuore ed il sistema nervoso centrale, creando condizioni patologiche che possono diventare croniche.

È per questi motivi che il monossido di carbonio sarà parte integrante delle nostre analisi e cercheremo di comprendere quale sia il punto a cui siamo arrivati in termini di stabilizzazione della quantità di tale agente sia nel tempo che nello spazio, con particolare attenzione al nostro Paese.

NH₃ – Ammoniacca

L'ammoniaca (conosciuta più tecnicamente come azano) è un composto formato da azoto e idrogeno: si tratta di un gas che non ha colore ma ha un caratteristico odore che tutti conosciamo. Per quanto riguarda il suo impatto sulla vita degli animali terrestri, l'ammoniaca esercita un ruolo molto importante, dato che si tratta di un precursore di molti alimenti e fertilizzanti; ha inoltre importanti scopi in ambito farmaceutico e viene utilizzata frequentemente per le pulizie, in particolar modo quelle di tipo commerciale.

Nonostante tutti questi utilizzi quotidiani, se l'ammoniaca si presenta nel suo stato concentrato è caustica e quindi dannosa per la salute e per l'ambiente: in molti Paesi, come gli USA, è segnalata come sostanza molto pericolosa e soggetta a particolari vincoli,

restrizioni e obblighi di segnalazione per quanto riguarda le strutture che la utilizzano o che la conservano.

Uno dei principali problemi dell'ammoniaca è che la sua temperatura di ebollizione è -33.34 gradi centigradi (Celsius), quindi non deve essere conservata in ambienti chiusi qualora ci si trovi alla temperatura atmosferica usuale. Infatti, l'ammoniaca utilizzata nelle abitazioni, non è concentrata ma diluita in acqua: la percentuale di ammoniaca presente in queste soluzioni è pari a circa il 30% del volume, stato nel quale può sopportare temperature superiori e quindi può essere utilizzata normalmente.

Se parliamo di soluzioni di ammoniaca (quindi non concentrata) allora non possiamo parlare propriamente di possibili danni per uomini o animali terrestri in genere, poiché il nostro corpo ha delle soluzioni naturali per debellare dall'organismo quantità limitate di tale composto chimico. Purtroppo, non è la stessa cosa quando parliamo di animali acquatici: in questo caso, l'ammoniaca, anche a concentrazioni diluite, è fortemente tossica ed è per questo motivo che è considerata pericolosa. I pesci e gli anfibi, infatti, mancano del meccanismo di eliminazione di questo composto di cui, come abbiamo visto, sono dotati gli esseri umani e gli animali terrestri, quindi non possono combattere un avvelenamento da ammoniaca in nessuna delle sue forme.

NMVOC – Composti organici volatili non metanici

Gli NMVOC sono una serie di composti chimicamente differenti, tra i quali benzene, etanolo, formaldeide, cicloesano, tricloroetano e acetone. La differenza con gli altri composti organici volativi è che i composti NMVOC non utilizzano il metano: trattando di problemi ambientali questa è un'informazione molto importante poiché il metano non è dannoso per l'ambiente anche se è un'importante gas serra. La sigla NVVOC, dunque, indica la somma delle emissioni provocate da tutti questi composti organici messi assieme ed è un importante indicatore nelle statistiche ambientali, nonostante possa subire delle distorsioni importanti quando informazioni più dettagliate scarseggiano (si pensi, ad esempio, all'inquinamento legato allo smog estivo).

Prendiamo in considerazione i singoli composti organici volatili non metanici e vediamo le principali caratteristiche in termini di tossicità, sia per gli esseri umani che per l'ambiente.

Il benzene è un composto formato da sei atomi di carbonio e 6 atomi di idrogeno ed è quindi classificato come idrocarburo. Si tratta di un componente fondamentale del petrolio greggio ed è considerato tra gli idrocarburi aromatici, essendo uno dei prodotti petrolchimici elementari. È un composto altamente infiammabile dall'odore tipico che tutti conosciamo; è un'importante componente della benzina ed è anche usato come precursore per molti sostanze chimiche caratterizzate da una struttura più complessa (ad esempio il cumene). Il benzene è cancerogeno per l'uomo ed è quindi utilizzato molto poco al di fuori dell'industria petrolifera e chimica.

La formaldeide è un composto organico simile all'acido formico e, come il benzene, è un importante precursore di molti composti chimici, è infatti utilizzato per la produzione di resine industriali. Si tratta di una sostanza tossica e nociva per la salute umana ed è riconosciuta come agente cancerogeno, anche se l'ingerimento di vari millilitri non è di per sé tossico: il problema sussiste quando l'esposizione è prolungata per inalazione. Vi sono tre principali modi in cui ciò può avvenire: per decomposizione termica o chimica di resine a base formaldeide, emissione di soluzioni di formaldeide acquosa (come i fluidi di imbalsamazione) e produzione di formaldeide da combustione di composti organici.

La formaldeide è uno degli inquinanti più diffusi nel caso di aria interna a strutture, essendo molto utilizzata durante la trasformazione di materiale da costruzione: l'inalazione della formaldeide può portare problemi di respirazione, cefalea e persino l'asma (in particolare quella infantile). Nelle situazioni più gravi, l'inalazione prolungata di formaldeide concentrata può portare al cancro nasale e nasofaringeo o alla leucemia mieloide; l'esposizione inoltre può condurre al cancro al seno o a quello mascellare.

Il cicloesano è un composto chimico precursore di altri prodotti ed utilizzato in particolare per la produzione di nylon. È altamente infiammabile e ha un odore caratteristico simile a quello dei normali detersivi. Si tratta di un composto molto dannoso per la salute umana ed è quindi sottoposto a restrizioni severe da parte di molti Paesi, come gli Stati Uniti, in cui la massima esposizione consentita dalla legge in ambito professionale è di 300 parti per milione.

Consideriamo, infine, l'acetone, il più semplice tra i chetoni: si tratta di un composto incolore, volatile e infiammabile. È un noto solvente, quando è diluito con acqua ed è molto utilizzato nella pulizia dei laboratori, ma anche a livello domestico (smalto per le unghie, vernici). L'acetone è prodotto e smaltito dal corpo umano tramite i consueti

processi metabolici ed è normalmente presente nel sangue e nelle urine (in particolare in presenza di soggetto affetti da diabete).

AmMESSO che vengano rispettate alcune precauzioni di base, la tossicità dell'acetone non è mai stata rilevata a livello letale: le conseguenze dell'esposizione sono una più o meno leggera irritazione alla pelle e una più o meno grave irritazione oculare. Solo qualora la concentrazione sia molto importante e il vapore venga inalato, allora l'acetone produce il deperimento del sistema nervoso centrale (caratteristica che comunque troviamo anche a seguito dell'esposizione ad altri solventi).

NOx – Ossidi di Azoto

Gli ossidi di azoto più rilevanti dell'inquinamento atmosferico sono l'ossido nitrico (NO) e il biossido di azoto (NO₂): sono questi gli agenti inquinanti che saranno analizzati nella nostra ricerca e quindi, con il termine NO_x, indicheremo queste categorie chimiche. Questi gas sono la causa della formazione di piogge acide e smog, oltre all'ozono troposferico e alla base della loro produzione vi è la combustione di combustibili nell'aria a seguito della quale si forma una reazione tra azoto ed ossigeno. Questa è la principale motivazione per la quale, nelle zone in cui il traffico automobilistico è intenso, gli ossidi di azoto emessi dai veicoli sono la principale fonte di inquinamento dell'aria.

Vi sono alcuni ossidi di azoto, come il protossido di azoto, (contenuto negli antiossidanti per razzi, e nella panna montata) che non hanno un forte impatto in termini ambientali ma sono responsabili di un impatto significativo sullo strato di ozono.

Negli ultimi trent'anni, la concentrazione delle politiche ambientali in particolare nelle aree urbane si è concentrata molto sulla questione dei NO_x: targhe alterne, divieto di circolazione in determinate zone urbane, sussidi e incentivi alla riduzione dell'utilizzo di combustibili ad alte emissioni nocive sono solo alcuni dei numerosi interventi effettuati al fine di ridurre le emissioni. Anche a livello sovranazionale, l'attenzione per questo tipo di interventi normativi è stata elevata durante gli ultimi anni, e gli obiettivi programmatici per la riduzione dei problemi inerenti la diffusa scarsa qualità dell'aria e la degradazione dell'ozono atmosferico arrivano fino al 2050.

SO_x – Ossidi di Solfuro

Quando parliamo di questa categoria di ossidi, ci riferiamo ad ossidi di zolfo inferiore, monossido di zolfo, diossido di zolfo, triossido di zolfo, ossidi di zolfo superiori.

Gli ossidi di zolfo inferiori sono composti chimici instabili che raramente possiamo incontrare nella vita quotidiana ma sono fondamentali per comprendere le cause e le conseguenze dell'inquinamento atmosferico. Il monossido di zolfo è un composto inorganico che viene rilevato al di fuori dell'atmosfera terrestre.

Molto più importante, invece, ai nostri occhi è il diossido di zolfo (SO₂), un gas tossico dall'odore pungente e irritante. Viene rilasciato in modo naturale dall'attività vulcanica ed è prodotto dalla combustione di combustibili fossili contaminati da composti dello zolfo.

3.3 – Metodologia di indagine

Prenderemo in considerazione le emissioni nocive prodotte dai cinque agenti inquinanti che abbiamo enucleato nel paragrafo precedente: brevemente, dunque, ci occuperemo di monossido di carbonio, ammoniaca, composti organici volatili non metanici, ossido di azoto e ossido di solfuro. I dati saranno raccolti per 15 Paesi Europei e non e la metodologia di indagine sarà quella proposta da Criado e Stengos, ma ampliata a tutti e cinque i fattori inquinanti e prodotto per un lasso di tempo che partirà dal 1990 (o, eventualmente, da anni successivi se i dati non sono presenti) ed arriverà all'anno 2015.

Da una parte, dunque, vogliamo verificare il mantenimento del trend e dei risultati che hanno riscontrato Criado e Stengos durante la loro ricerca e, dall'altra, intendiamo procedere ad una più accurata analisi descrittiva dei dati e ad una possibile proiezione per gli anni successivi al 2015. Il database dal quale prenderemo i dati riguardanti le emissioni sia in termini di tasso di crescita che di volume cumulato sarà il EMEP¹.

Per quanto riguarda il modello di regressione parametrico che andremo ad utilizzare, possiamo indicare la seguente equazione:

¹ Cfr. <http://www.ceip.at/webdab-emission-database>

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i,1} + \beta_2 x_{i,2} + \beta_3 x_{i,3}$$

dove

- Y_i è il tasso di crescita delle emissioni pro-capite riferito al singolo Paese i e al singolo agente inquinante;
- $x_{i,1}$ è il quantitativo cumulato di agente inquinante in termini pro-capite riferito al singolo Paese i e al singolo agente inquinante;
- $x_{i,2}$ è il livello di produzione pro-capite riferita al singolo Paese i ;
- $x_{i,3}$ è il livello di crescita della produzione in termini pro-capite riferita al singolo Paese i .

I risultati di questa analisi dovrebbero portarci a riscontrare che il tasso di crescita delle emissioni pro-capite sia:

- una funzione decrescente rispetto al quantitativo cumulato di agente inquinante (effetto difensivo);
- una funzione crescente del livello di produzione pro-capite (effetto di scala);
- una funzione crescente del tasso di crescita della produzione pro-capite (effetto di scala).

I Paesi che considereremo nella nostra analisi saranno Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Germania, Italia, Ungheria, Olanda, Norvegia, Polonia, Spagna, Svizzera, Regno Unito, Canada e Stati Uniti d'America. Il nostro lavoro ci permetterà di procedere ad un importante numero di regressioni, poiché i valori della ricerca possono essere scomposti sia per Paese che per inquinante.

Procederemo nel prossimo paragrafo con l'analisi descrittiva dei dati a nostra disposizione, per poi passare al riassunto di tutte le regressioni eseguite al fine di monitorare le zone in cui il livello dei regressori risulti significativo. La tabella finale a cui vogliamo arrivare è una tabella di dati integrati in cui si metteranno a confronto i valori ottenuti al fine di valutare l'impatto delle politiche ambientali portate avanti dai governi sia da un punto di vista locale che comunitario.

3.4 – Analisi descrittiva dei dati

Procediamo prima di tutto all'analisi descrittiva dei dati inerenti la presenza dei vari inquinanti nei Paesi considerati: di seguito dunque, le statistiche campionarie rilevanti (si veda l'appendice A per i dati completi).

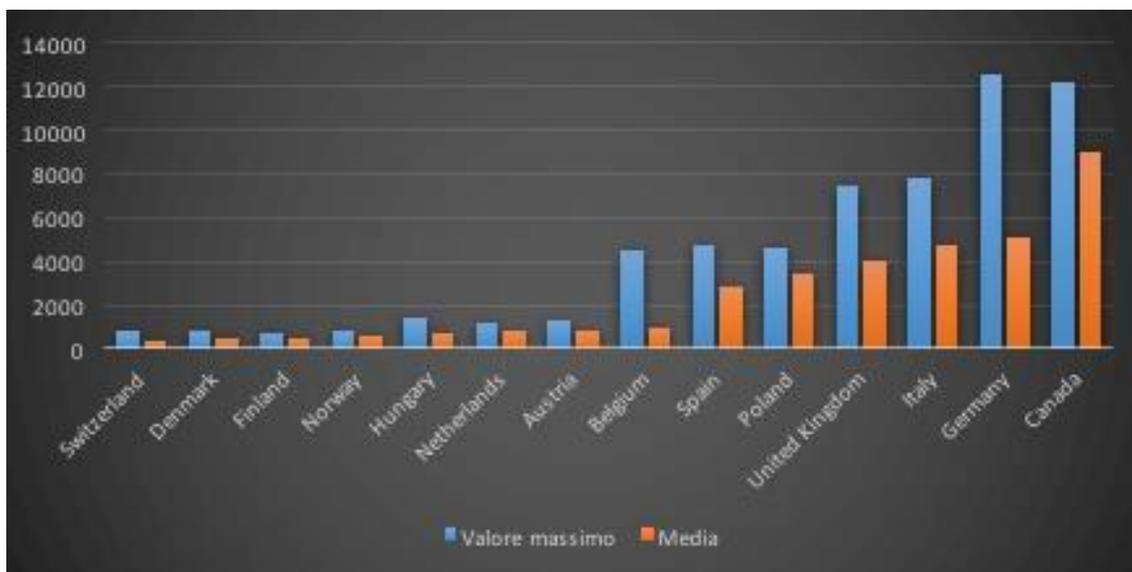
Il primo dato che analizzeremo riguarda le serie storiche per la presenza di monossido di carbonio nei Paesi considerati: la tabella 3.1 mostra le principali grandezze interessanti per tale inquinante.

Tabella 3.1 – Presenza di Monossido di Carbonio in Gg (1990-2015)				
Paese	Valore minimo	Valore massimo	Media	Scarto quadratico medio
Austria	538,34	1287,2	803,76	240,23
Belgium	346,8	4457,1	996,59	771,95
Canada	5582,78	12155,15	9010,91	2409,7
Denmark	316,01	768,3	513,9	140,77
Finland	324,57	723,54	520,55	116,96
Germany	2682,92	12499,66	5074,91	2499,88
Hungary	388,65	1372,43	682,24	257,57
Italy	2258,03	7801,24	4720,93	1999,05
Netherlands	562,55	1143,22	782,37	149,82
Norway	376,65	824,71	585,14	134,28
Poland	2401,35	4639,67	3386,63	678,89
Spain	1627,48	4781,51	2851,28	1172,52
Switzerland	186,15	798,19	407,76	177,3
United Kingdom	1645,13	7467,54	3990,74	1995,12
United States	46088	139878	87502,13	29845,13

In termini di media, come possiamo notare dalla tabella 3.1, il Paese con meno accumulo di monossido di carbonio è la Svizzera (con un valore pari a 186,15 Gg) mentre il Paese che più risente della presenza di tale inquinante (Stati Uniti a parte) è il Canada, con 9010,91 Gg di monossido.

Il grafico 3.1 mostra tramite un diagramma a bastoni la differenza tra la media ed il valore massimo presentato dalle serie storiche analizzate per questi Paesi:

Grafico 3.1 – Valori massimi e medie per la presenza di CO



Come possiamo notare, la presenza di monossido di carbonio è particolarmente importante per il Regno Unito, l'Italia, la Germania e il Canada. In particolare, per questi quattro Paesi è utile osservare che la divergenza tra il valore massimo e la media della serie storica è molto differente. Procediamo dunque all'analisi della questione tramite il grafico 3.2, che mostra per queste quattro realtà l'andamento della serie storica in termini di gigagrammi accumulati nel tempo.

Come possiamo notare grazie al grafico, in tutti e tre i casi la presenza di monossido di carbonio ha subito un declino, meno forte per quanto riguarda il Canada e, invece, più importante per la Germania, l'Italia ed il Regno Unito. La differenza riscontrata grazie al diagramma a bastoni del grafico 3.1, dunque, risiede nell'elevata quantità di monossido presente all'inizio della serie storica, che si è ridotto in modo comunque evidente durante i due decenni analizzati. Il fatto che il valore massimo sia in tutti i casi molto lontano dagli anni più vicini a quello presente porta a pensare ad un'efficacia sempre maggiore delle politiche e delle normative a favore di una riduzione di tale agente inquinante a livello massiccio su tutto il territorio.

Grafico 3.2 – Andamento CO cumulata per Regno Unito, Italia, Germania e Canada

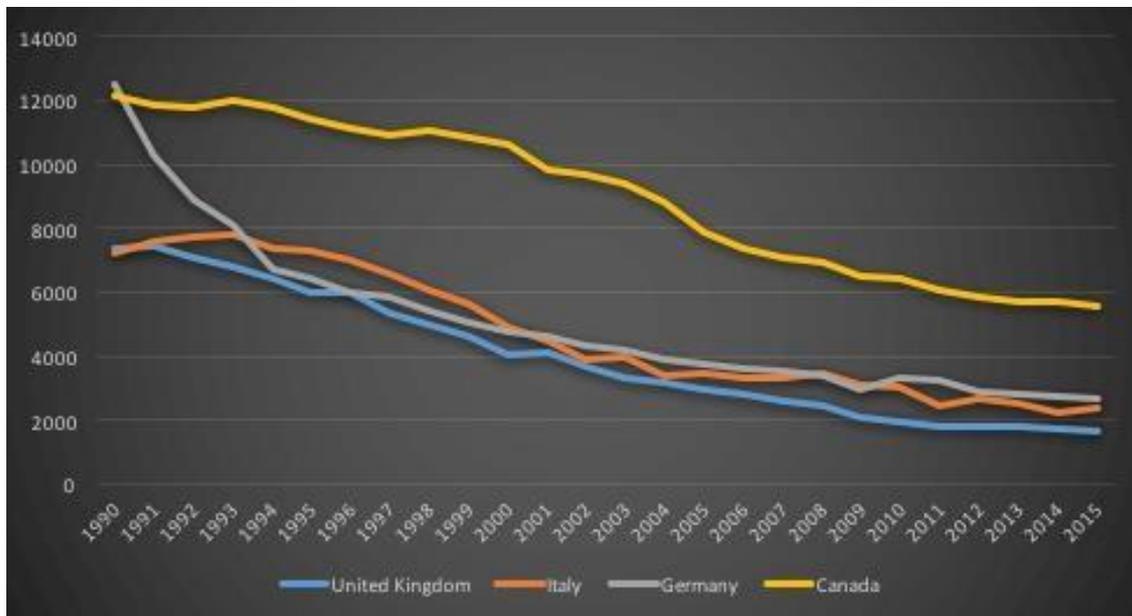


Tabella 3.2 – Presenza di Monossido di Carbonio in Gg (1990-2015)				
Paese	Valore minimo	Valore massimo	Media	Scarto quadratico medio
Austria	65,21	69,45	66,78	1,13
Belgium	65,5	117,47	86,65	21,56
Canada	395,09	505,06	465,91	32,47
Denmark	71,97	124,67	93,41	16,1
Finland	31	37,06	34,18	1,59
Germany	664,18	793,08	701,28	28,04
Hungary	68,19	139,43	82,63	15,14
Italy	389,29	475,39	434,87	26,23
Netherlands	123,64	380,67	195,02	75,37
Norway	23,24	27,04	25,57	1,22
Poland	267,1	440,83	322,97	42,8
Spain	414,03	529,6	468,13	35,25
Switzerland	60,66	73,37	66,09	3,68
United Kingdom	277,04	344,63	310,11	21,48
United States	3,35	4481	3290,99	1471,72

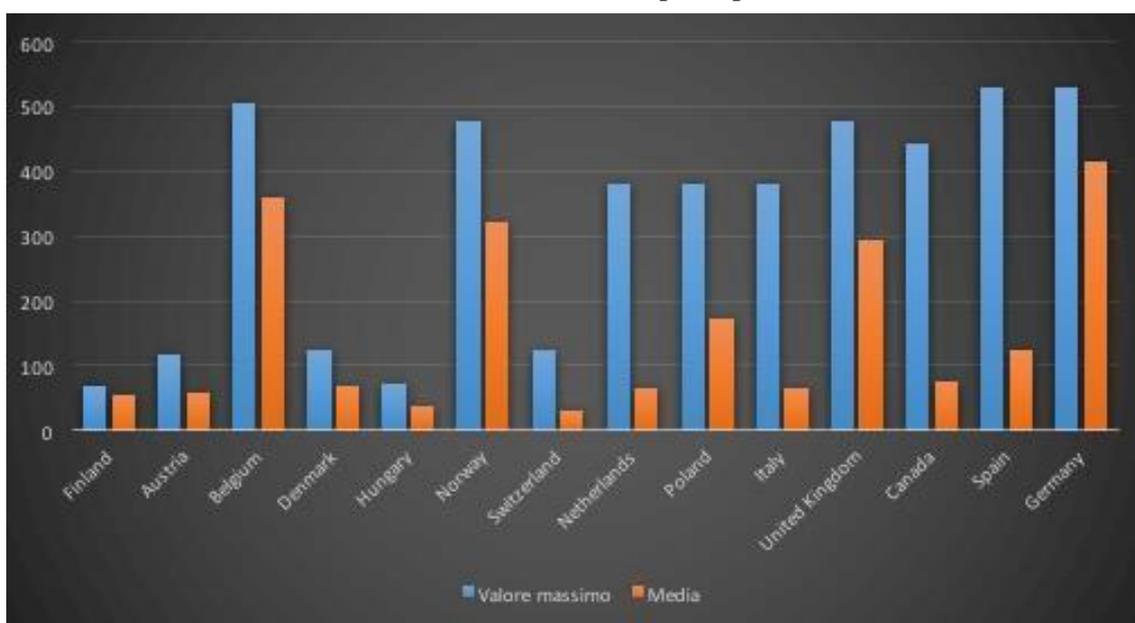
Procediamo ora con l'analisi descrittiva delle successive statistiche e ci riferiamo quindi alla presenza di ammoniacca (NH₃) nell'aria per i Paesi coinvolti nella nostra analisi. La tabella 3.2 mostra le statistiche rilevanti, in ordine alfabetico per Stato.

Per quanto riguarda il valore della media, il Paese che registra una minor presenza di ammoniacca nell'aria è la Norvegia (che registra un valore di 25,57 Gg) mentre la presenza più importante (ad esclusione ovviamente degli Stati Uniti che abbiamo compreso rappresentare un valore anomalo nella nostra ricerca), sorprendentemente è la Germania, con un valore pari a 701,28 Gg. Anche in termini di valore massimo, le statistiche non cambiano per quanto riguarda i Paesi più e meno inquinato: al primo posto continuiamo a trovare al Norvegia (con un totale di 27,04 Gg) e all'ultimo, vale a dire quello maggiormente inquinato, troviamo la Germania (con un totale di 793,08 Gg).

Per quanto riguarda la situazione italiana, non è tra le più rosee: infatti, il Bel Paese è secondo solo a Canada, Spagna, Germania e Stati Uniti per la presenza di ammoniacca in termini di valore massimo, registrando per tale rilevazione un valore di 475,39. Per quanto riguarda il ranking in termini di media, inoltre, l'Italia mantiene la stessa posizione, registrando un quantitativo di 434,87 Gg di ammoniacca nell'aria.

Procediamo dunque con il grafico 3.3 che mostra i valori massimi e le medie per ciascuno di questi Paesi.

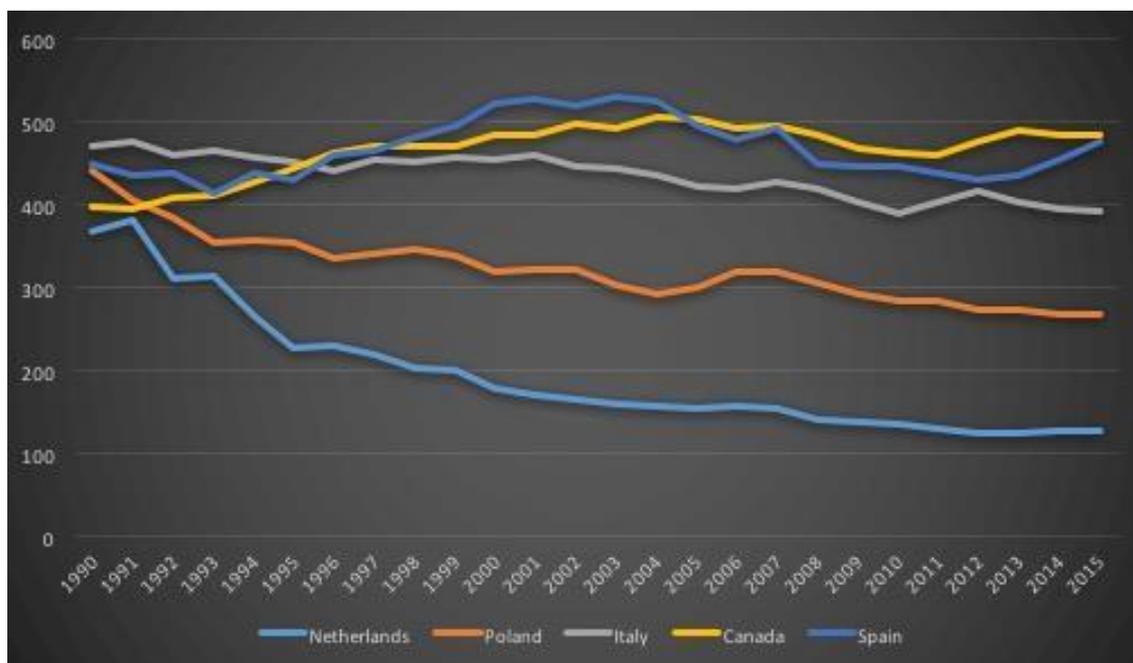
Grafico 3.3 – Valori massimi e medie per la presenza di NH₃



In questo grafico intravediamo importanti squilibri tra media e valore massimo nei casi di Olanda, Polonia, Italia, Canada e Spagna. Come nel caso precedente sarà dunque utile comprendere l'andamento dei trend di questi Paesi al fine di individuare i motivi di tali forti divergenze tra le due grandezze prese in esame dal grafico precedente.

In questo caso, l'analisi dei trend è molto complessa e assolutamente eterogenea. Partiamo infatti da quello olandese, che registra un picco all'inizio, nel 1991, per poi scendere in modo abbastanza costante lungo tutto il suo percorso, stabilizzandosi sempre di più man mano che si raggiungono anni più vicini al 2015. La sorte della Polonia è abbastanza simile anche se la stabilizzazione appare molto più moderata e la riduzione dell'inquinante non è stata incisiva come nel caso olandese.

Grafico 3.4 – Andamento NH3 cumulata per Olanda, Polonia, Italia, Canada e Spagna



Il Canada non si riflette molto nella sua consueta virtuosità in termini ambientali, infatti il trend non accenna ad una riduzione ma, al contrario, sembra stata stabilmente in aumento fino almeno al 2004, anni dopo il quale sembra progredire ad una stabilizzazione con un moto non costante, registrando annuale aumenti o riduzioni connotati da un'intensa irregolarità storica. Identico ragionamento è possibile descriverlo per il caso spagnolo, che registra un picco attorno all'anno 2004, mentre prima e dopo sono stati

rilevati quantitativi inferiori. A differenza del Canada, però, il trend appare ancora più irregolare e non sembra stabilizzarsi nel tempo.

Per quanto riguarda il caso italiano, il trend appare il più stabile di tutti, anche se la rilevazione di ammoniaca nell'aria, come abbiamo già potuto constatare grazie alle statistiche rilevate nella tabella 3.2, non può essere considerato buono rispetto a quello degli altri Paesi considerati nella nostra analisi. Tuttavia, il trend appare connotato di una graduale ma costante decrescenza che sembra debba ancora stabilizzare il livello dell'inquinante nel tempo.

La tabella 3.3 mostra le statistiche per quanto riguarda la presenza di composti organici volatili non metanici (NMVOC) per i Paesi considerati in questa ricerca.

Tabella 3.3 - Presenza di NMVOC in Gg (1990-2015)				
Paese	Valore minimo	Valore massimo	Media	Scarto quadratico medio
Austria	110,24	280,63	162,91	52,83
Belgium	119,62	329,95	209,8	67,41
Canada	1855,13	3032,91	2476,19	448,33
Denmark	106,53	213,91	161,94	36,46
Finland	87,77	269,94	177,24	56,04
Germany	1016,28	3389,7	1660,03	631,76
Hungary	136,85	297,14	180,23	40,53
Italy	821,32	2075,71	1432,12	438,06
Netherlands	139,02	489,83	247,31	106,84
Norway	143,31	399,71	272,61	97,95
Poland	484,11	633,1	560,34	38,03
Spain	565,93	1056,42	846,05	179,45
Switzerland	77,5	298,25	144,14	66,82
United Kingdom	835,36	2946,68	1611,96	723,44
United States	12486	21871	16214,87	3023,14

Per quanto riguarda il valore medio, il Paese più virtuoso nella riduzione delle emissioni di questo tipo di inquinanti è la Svizzera, con un totale di 144,14 Gg. All'ultimo posto, ad esclusione degli Stati Uniti, troviamo il Canada, con un totale medio di 2476,19 Gg. Per quanto riguarda il valore massimo, il più efficiente tra i Paesi analizzati è la

Norvegia, che registra un valore di 161,94 Gg mentre il meno efficiente risulta la Germania, con un totale massimo di 1660,03 Gg.

Come nei precedenti casi, il grafico 3.5 mostra i dati relativi a media e valore massimo per i Paesi presi in considerazione. In questo caso troviamo forti squilibri tra i due valori quando trattiamo di Germania, Regno Unito e Italia. Il Grafico 3.6 mostra i trend relativi a questi tre Paesi al fine di comprendere a cosa sia dovuto lo squilibrio evidenziato dal grafico 3.5.

Grafico 3.5 – Valori massimi e medie per la presenza di NMVOC (1990-2015)

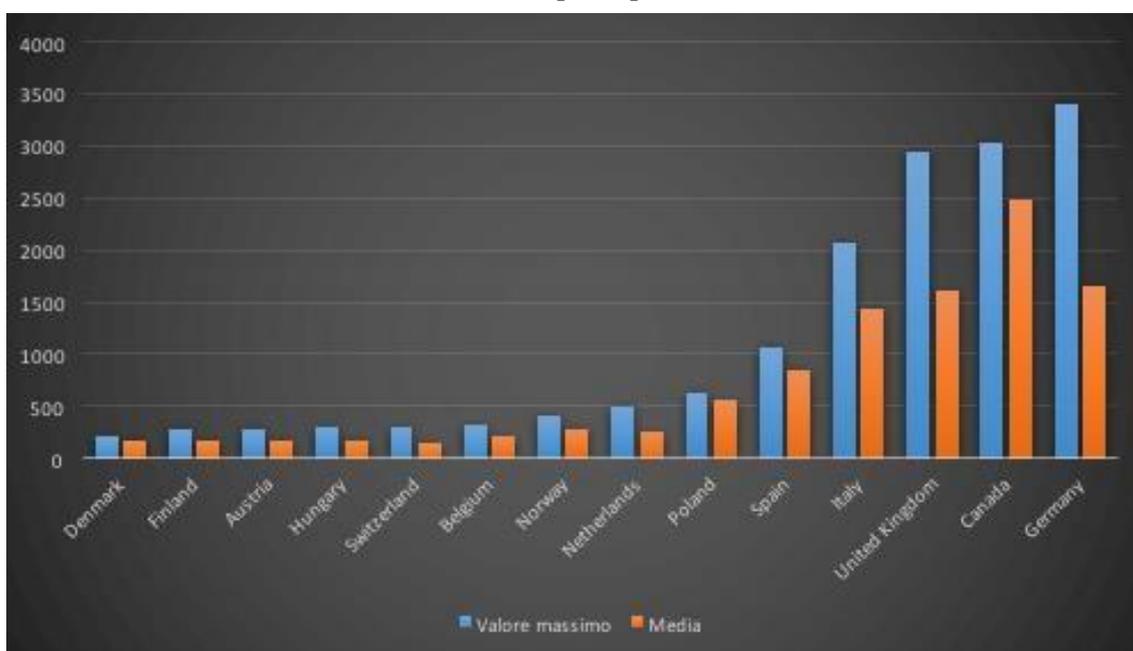
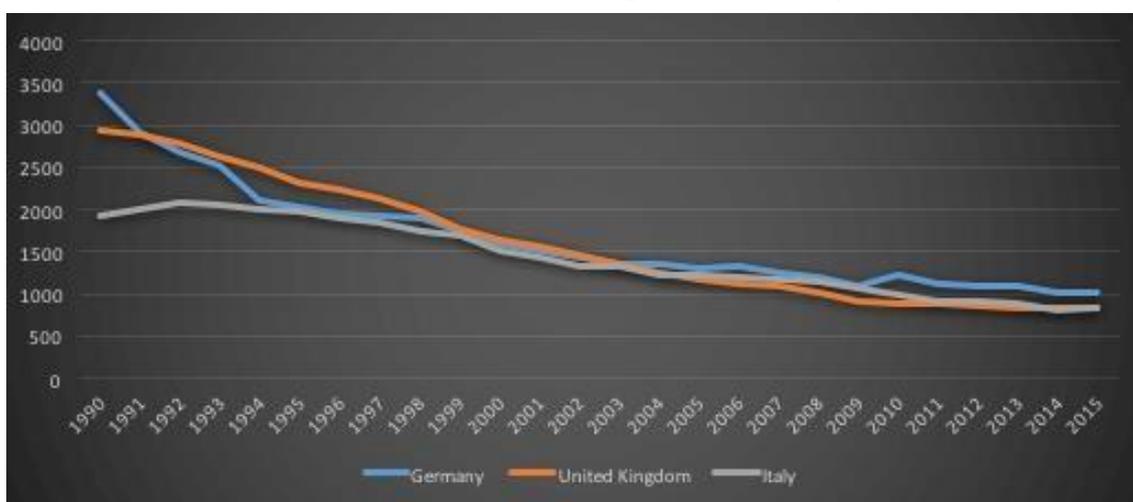


Grafico 3.6 – Andamento NMVOC cumulata per Germania, Regno Unito e Italia



Come possiamo vedere, tutte e tre le realtà prese in considerazione hanno prodotto un'importante stabilizzazione successiva ad una riduzione progressiva delle emissioni inquinanti lungo tutto il percorso considerato. La divergenza tra il valore medio ed il valore massimo registrata dal diagramma a bastoni precedente è dovuta quindi al progressivo deterioramento dell'inquinante nel tempo e le politiche che sono state attivate a tal fine possono quindi essere considerate efficaci, almeno per queste tre realtà.

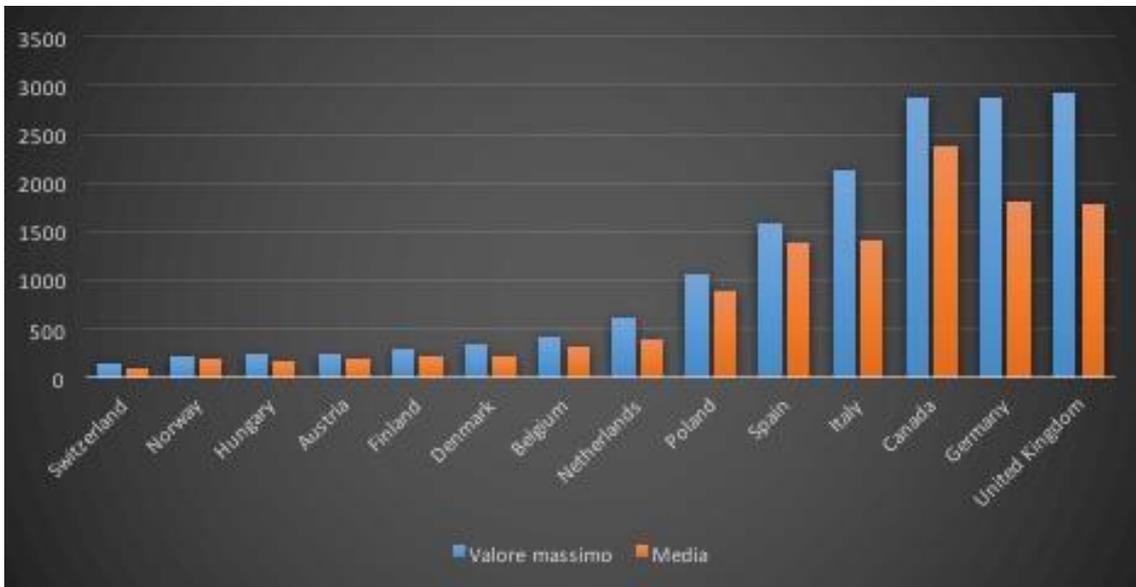
Procediamo con l'analisi della presenza degli ossidi di azoto: la tabella 3.4 mostra le statistiche principali per tale inquinante nei 15 Paesi analizzati.

Tabella 3.4 - Presenza di NOx in Gg (1990-2015)				
Paese	Valore minimo	Valore massimo	Media	Scarto quadratico medio
Austria	149,12	239,01	204,08	26,54
Belgium	197,21	411,84	314,54	68,12
Canada	1826,67	2882,18	2367,7	324,85
Denmark	114,49	348,89	220,86	71,03
Finland	139,65	284,59	223,01	43,09
Germany	1187,45	2883,44	1796,98	472,95
Hungary	118,73	235,45	168,16	29,11
Italy	763,01	2134,7	1399,36	453,97
Netherlands	228,17	603,92	403,23	111,58
Norway	151,33	220,87	195,65	17,61
Poland	713,8	1058,8	886,07	109,65
Spain	881,06	1582,71	1373,49	248,58
Switzerland	64,49	143,74	100,02	22,52
United Kingdom	918,34	2917,61	1769,87	610,69
United States	10432	23161	18560,37	4392,58

In termini di media, il Paese più virtuoso appare la Svizzera, che registra un quantitativo di 100,02 Gg mentre il Paese meno virtuoso è il Canada, con un valore di 2367,7 Gg. In termini di valore massimo della presenza di questo inquinante, la Svizzera si conferma il migliore tra i Paesi analizzati, registrando 143,74 Gg, mentre per quanto riguarda l'ultima posizione del nostro speciale ranking, rileviamo 2917,61 Gg del Regno

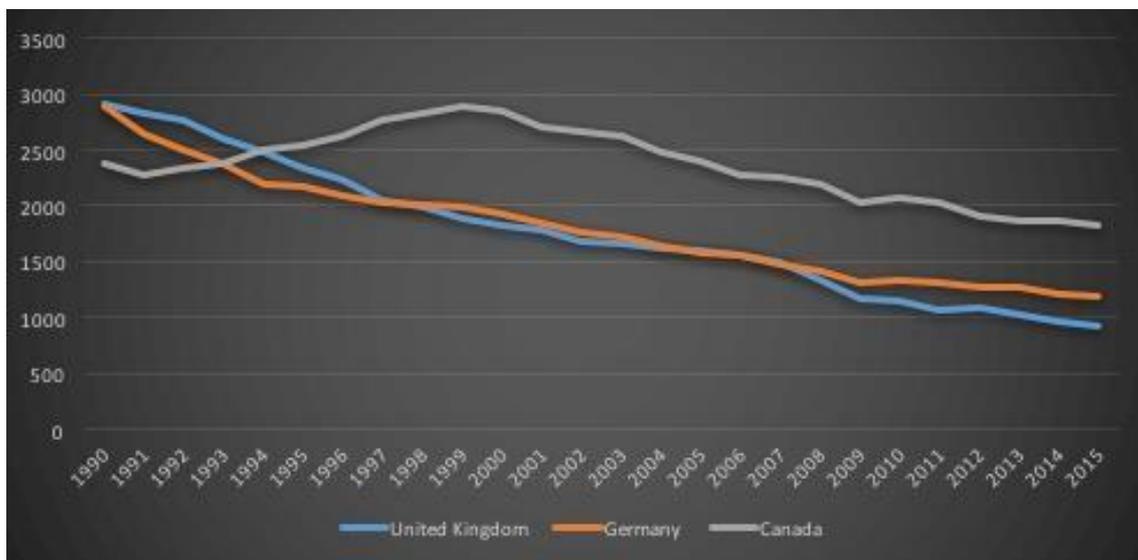
Unito. Il Grafico 3.7 mostra i valori medi ed i valori massimi per tutte le nazioni considerate nella ricerca.

Grafico 3.7 - Valori massimi e medie per la presenza di NOx (1990-2015)



In questo caso non osserviamo grossi squilibri tra i valori degli ossidi presenti nell'aria per i vari Stati analizzati: prendiamo comunque in considerazione le tre realtà che hanno una maggiore concentrazione in termini di media e valore massimo dell'inquinante, vale a dire Canada, Germania e Regno Unito, per studiare i trend e comprendere se gli interventi attuati durante gli ultimi decenni hanno avuto effetti positivi sulla concentrazione dell'inquinante nell'aria:

Grafico 3.8 – Andamento NOx cumulata per Regno Unito, Germania e Canada



Procediamo ora con l'ultima analisi dei dati grezzi, prendendo in considerazione la presenza di ossidi di zolfo nell'aria. Abbiamo già discusso della loro tossicità ma anche della loro effettiva residua presenza nell'atmosfera terrestre: la tabella 3.5 ne mostra le statistiche principali nel dettaglio al fine di poter effettuare, anche in questo caso, tutte le valutazioni che abbiamo già fatto per gli altri inquinanti.

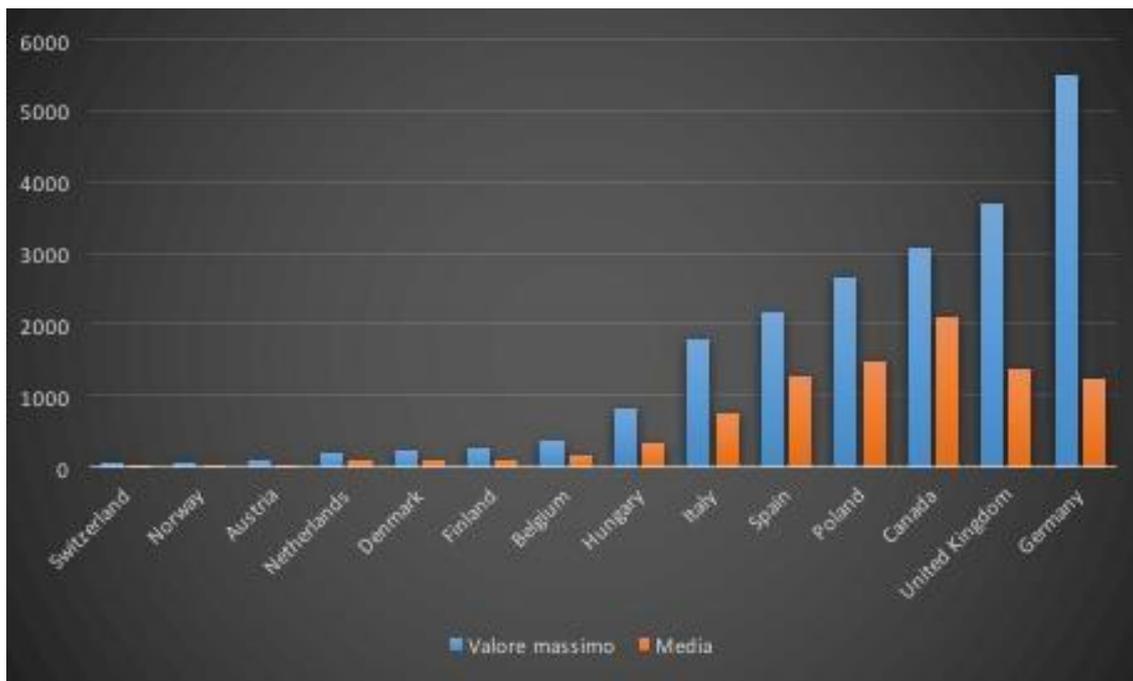
Tabella 3.5 – Statistiche descrittive SO_x (1990-2015)				
Paese	Valore minimo	Valore massimo	Media	Scarto quadratico medio
Austria	14,78	74,57	33,16	17,14
Belgium	42,42	367,7	173,03	106,09
Canada	1048,82	3061,83	2100,05	582,42
Denmark	10,83	237,77	70,34	70,21
Finland	42,06	263,03	94,59	48,27
Germany	351,77	5484,94	1216	1327
Hungary	24,11	825,86	327,08	300,63
Italy	123,11	1783,28	738,82	543,79
Netherlands	29,13	193,29	84,37	50,35
Norway	15,5	52,28	26,54	9,19
Poland	690,26	2647,7	1466,43	626,16
Spain	257,29	2179,47	1250,74	658,72
Switzerland	6,76	39,74	18,1	9,17
United Kingdom	236,12	3685,35	1369,74	1109
United States	3,38	20935	12274,93	6704,13

Vi è molto da dire di fronte ad una distribuzione dei dati con queste particolarità: il valore più basso in termini di presenza cumulata di ossido di zolfo media è quello della Svizzera, mentre il valore più alto è registrato è quello degli Stati Uniti D'America. L'Italia si trova in nona posizione, quindi oltre la metà della distribuzione ma non in postazione drammatica. Per quanto riguarda la posizione degli Stati Uniti, ovviamente si tratta di un dato che riguarda una superficie molto ampia, quindi la sua situazione era in tal senso attesa dall'analisi. Per quanto riguarda valore minimo e valore massimo della presenza cumulata di ossido di zolfo, non vi sono grosse differenze in termini di

classifica: la Svizzera si rivela, come al solito, il Paese più virtuoso in termini di efficacia dei regolamenti ambientali.

Escludendo per ovvi motivi gli Stati Uniti dalla nostra analisi grafica, presentiamo i diagrammi a bastoni relativi alla media e al valore massimo delle emissioni di ossido di zolfo per gli altri Stati considerati:

Grafico 3.9 - Valori massimi e medie per la presenza di SO_x (1990-2015)



Come possiamo notare dal grafico 3.1, i valori della media e della massima presenza di monossido di carbonio nei Paesi considerati sono abbastanza vicini e quindi stabili nel tempo, con le uniche eccezioni del Regno Unito e della Germania, che invece presentano degli squilibri molto forti tra i due valori. Prendiamo in considerazione quindi queste due realtà per provare a comprendere quali siano gli anni che hanno svolto un ruolo importante nel riconoscimento di questa differenza.

Il grafico 3.2 presenta la serie storica per il regno unito: come possiamo notare il processo di abbattimento del monossido di carbonio in questa regione è stato molto efficace e a ciò quindi attribuiamo lo squilibrio di cui sopra. Tale valore anomalo, dunque, è positivo per il Regno Unito che in questi anni ha visto un profondo calo di tale inquinante in senso cumulato.

Il grafico 3.3 mostra invece la serie storica per la Germania: il risultato in termini di analisi visiva è sempre lo stesso con una differenza riguardo le tempistiche con cui è stata ridotta la presenza di monossido di carbonio all'interno del territorio. In Germania, infatti, il monossido di carbonio è diminuito in modo drastico leggermente prima rispetto a quanto accaduto nel Regno Unito. Nonostante questo, entrambe le regioni hanno saputo utilizzare al meglio i propri strumenti per rendere stabile la presenza di tale inquinante sulla propria superficie (come infatti possiamo notare dal progressivo andamento sempre più debolmente decrescente, tanto da far pensare ad un meccanismo monotono, decrescente ma convesso).

Analizziamo ora, grazie al grafico 3.10, l'andamento della presenza dell'inquinante ossido di zolfo per i Paesi che hanno la maggiore distanza tra il valore massimo ed il valore medio in Gg: Canada, Regno Unito e Germania.

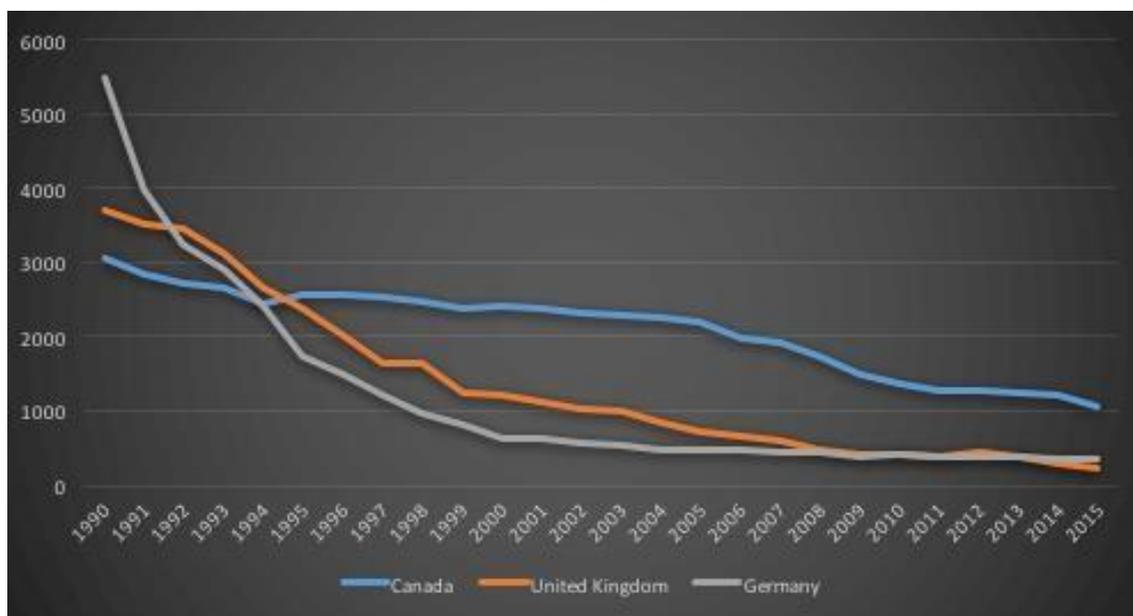
Come possiamo notare, la divergenza riscontrata poc'anzi risulta giustificata dall'intenso progredire in senso decrescente dei trend per tutti gli Stati. In particolare, la Germania appare la più virtuosa in tali termini, registrando una progressiva stabilizzazione ad un livello molto vicino allo zero pur essendo partita da una posizione molto elevata in termini di accumulo. Per quanto riguarda il Canada, la riduzione di tale inquinante non è molto forte ma è comunque costante e sembra seguire il trend di stabilizzazione degli altri due Paesi ad un livello prossimo a zero.

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti proposti dal modello di Criado e Stengos, valutiamo i trend della presenza dei vari inquinanti da un punto di vista procapite. Ovviamente, in un secondo luogo procederemo alla valutazione analitica tramite schemi di regressione ma, in linea generale, tali effetti dovrebbero essere visibili anche tramite un'analisi descrittiva delle serie storiche, opportunamente valutata in termini procapite. Per il calcolo di questi trend facciamo riferimento alle statistiche della Banca Mondiale.

Presentiamo di seguito, nella tabella 3.6, le statistiche rilevanti per la presenza di monossido di carbonio per gli Stati considerati nella nostra analisi. Per quanto riguarda la media della presenza di tale inquinante, l'Olanda si conferma virtuosa, registrando solo un livello di 0,0491 Gg pro-capite. All'ultimo posto in tale graduatoria troviamo gli Stati Uniti, con un valore di 0,3136 Gg pro-capite, a un passo dal Canada che li precede e registra un valore di 0,2916 Gg pro-capite. Per quanto riguarda il valore massimo

registrato per tale statistica, le posizioni si mantengono tali. L'Italia occupa una posizione mediana per questa statistica, registrando un valore pari a 0,0821 Gg pro-capite.

Grafico 3.10 – Andamento SOx cumulata per Regno Unito, Germania e Canada (1990-2015)



Al fine della valutazione dell'effetto difensivo presentato nel capitolo precedente, vale a dire di una progressiva stabilizzazione del trend delle emissioni pro-capite, mostriamo nei grafici 3.11 e seguenti le progressioni per tutti gli Stati presi in considerazione nella nostra analisi.

Come abbiamo sostenuto nelle righe precedenti, dunque, l'effetti difensivo può essere riassunto in una progressiva stabilizzazione della presenza dell'agente inquinante; dunque, se la relazione nel tempo è crescente, l'aumento della sua presenza dovrebbe ridursi nel tempo mentre, se decrescente, la riduzione della sua presenza dovrebbe decrescere nel tempo. In entrambi i casi, comunque, dovremmo rilevare una stabilizzazione di lungo periodo della sostanza inquinante.

Da ciò che possiamo evincere tramite l'analisi descrittiva dei trend proposti, dunque, è abbastanza evidente una conferma di tale struttura temporale di accumulazione (o, in questo caso, decumulo) della sostanza inquinante e della sua presenza nell'aria. In tutti i casi, infatti, riscontriamo una diminuzione pronunciata nei primi anni oggetto di

analisi, per poi registrare una costante ma decrescente diminuzione nel tempo. Almeno per questo agente, dunque, l'effetto difensivo può essere considerato vero.

Tabella 3.6 – Presenza di monossido di carbonio – pro-capite (1990-2015)				
Paese	Valore minimo	Valore massimo	Media	Scarto quadratico medio
Austria	0,0630	0,1677	0,0996	0,0328
Belgium	0,0309	0,1417	0,0815	0,0337
Canada	0,1558	0,4374	0,2916	0,0973
Denmark	0,0560	0,1491	0,0962	0,0291
Finland	0,0592	0,1451	0,1002	0,025
Germany	0,0328	0,1574	0,0624	0,0315
Hungary	0,0387	0,1323	0,0669	0,0242
Italy	0,0371	0,1373	0,0821	0,0361
Netherlands	0,0334	0,0765	0,0491	0,0113
Norway	0,0733	0,1944	0,1289	0,0365
Poland	0,0632	0,1206	0,0884	0,0173
Spain	0,0349	0,1230	0,0689	0,0325
Switzerland	0,0225	0,1189	0,0566	0,0276
United Kingdom	0,0253	0,1300	0,0675	0,0358
United States	0,1436	0,5604	0,3136	0,1297

Grafico 3.11 – Presenza di monossido di carbonio, Gg pro-capite (1990-2015)

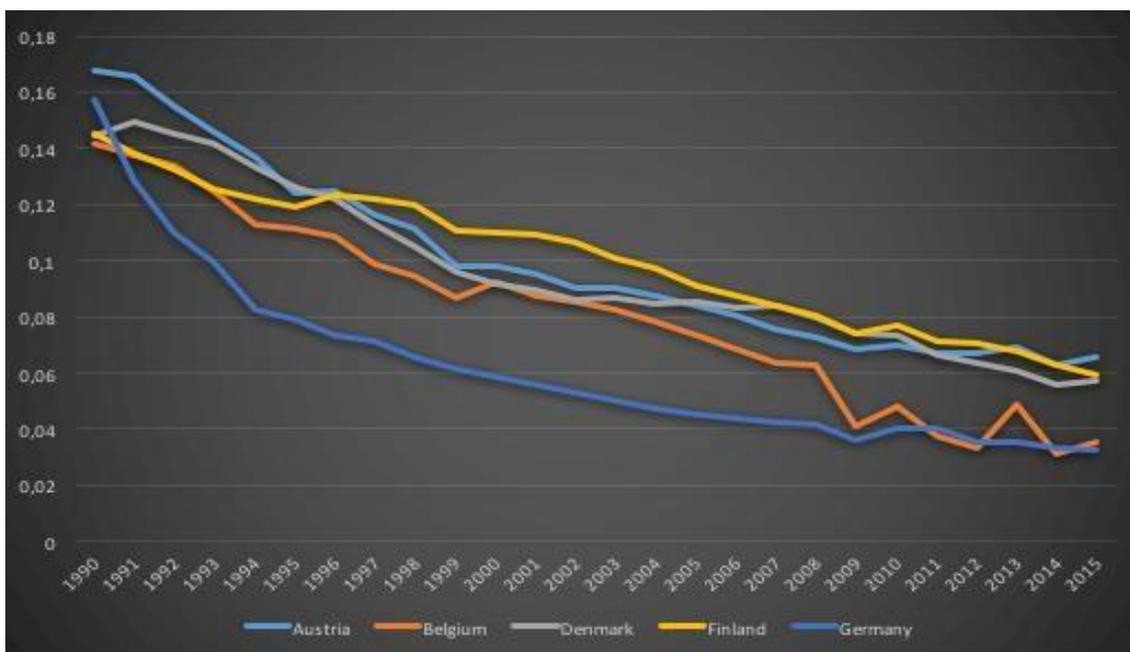


Grafico 3.12 – Presenza di monossido di carbonio, Gg pro-capite (1990-2015)

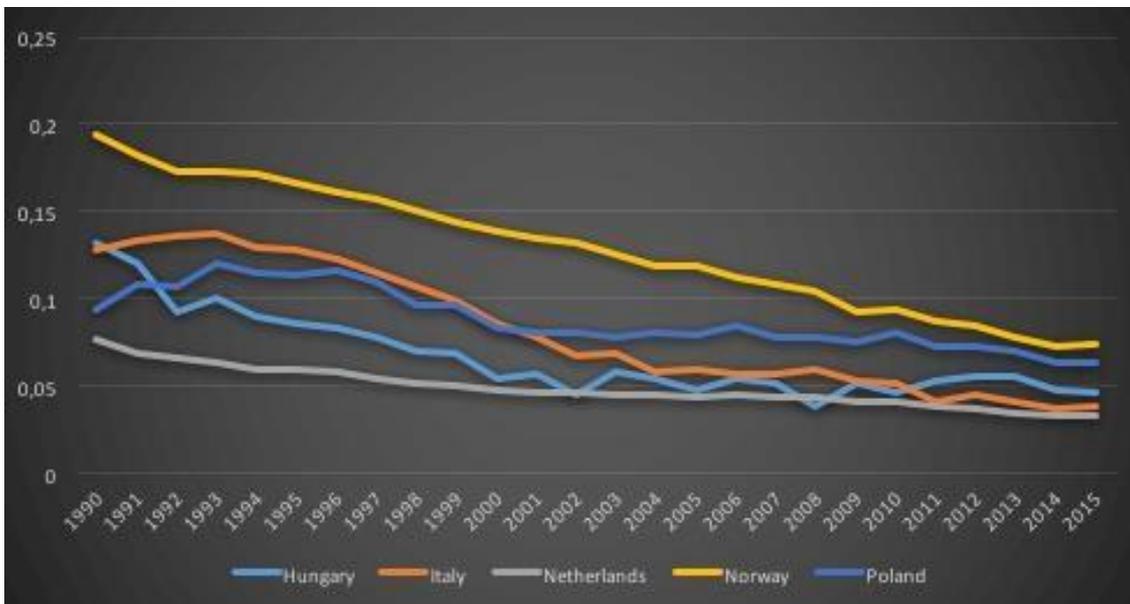
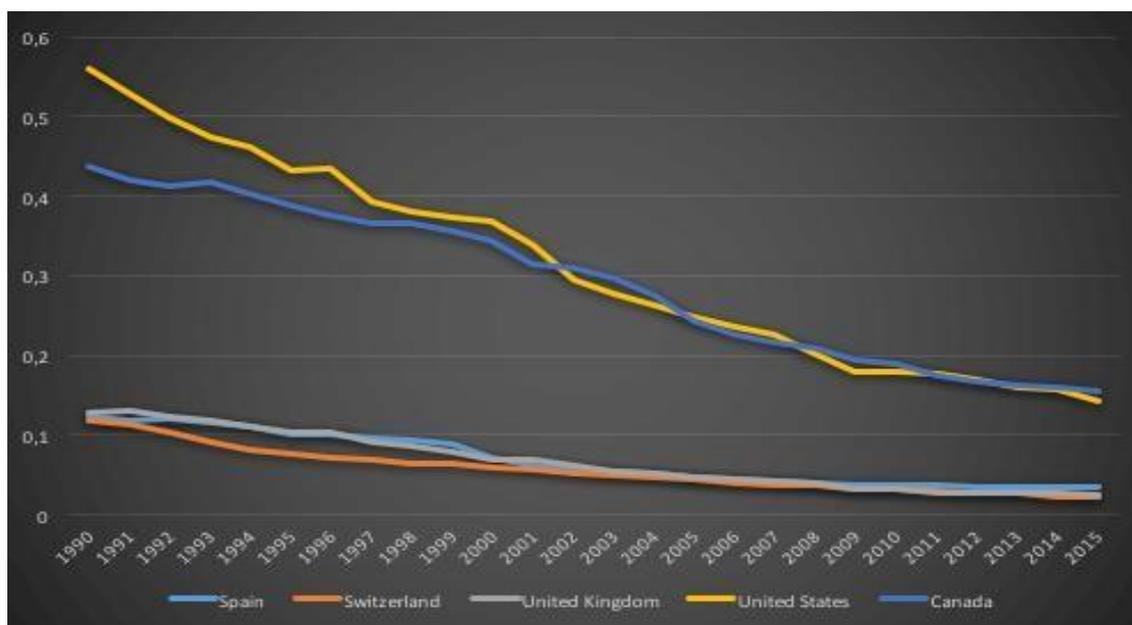


Grafico 3.13 – Presenza di monossido di carbonio, Gg pro-capite (1990-2015)



Per quanto riguarda l'effetto di scala, invece, dobbiamo considerare la correlazione tra il trend del tasso di crescita del prodotto interno lordo reale pro-capite ed il tasso di crescita dell'accumulo di monossido di carbonio, sempre considerata in termini procapite.

I grafici 3.14 e seguenti mostrano i trend di cui sopra per quanto riguarda la presenza di monossido di carbonio nei Paesi presi in considerazione in questa analisi.

Grafico 3.14 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Austria (1995-2015)

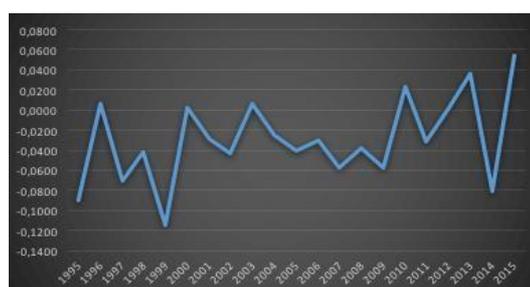


Grafico 3.15 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Belgio (1995-2015)

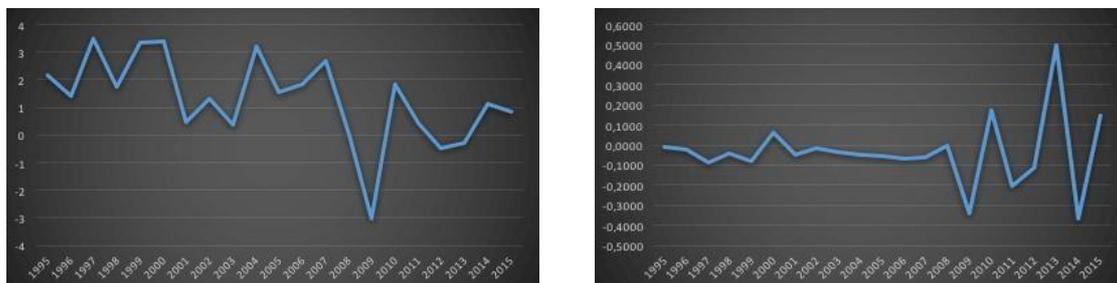


Grafico 3.16 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Canada (1995-2015)

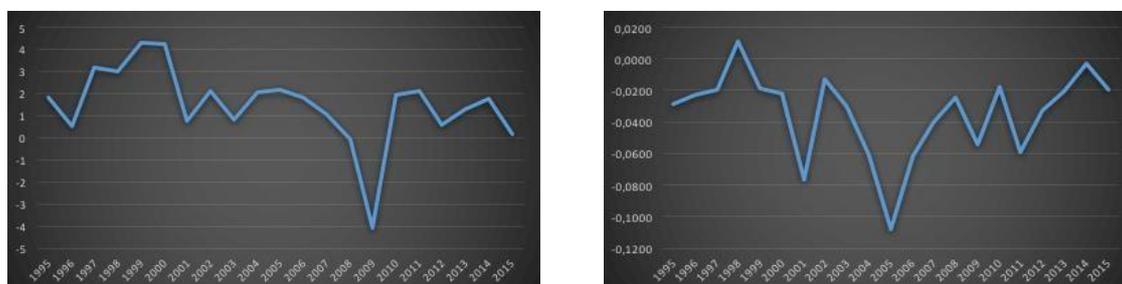


Grafico 3.17 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Danimarca (1995-2015)

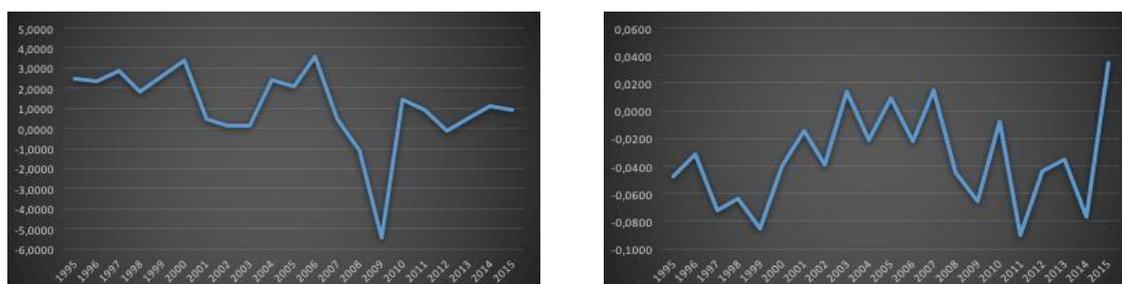


Grafico 3.18 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Finlandia (1995-2015)

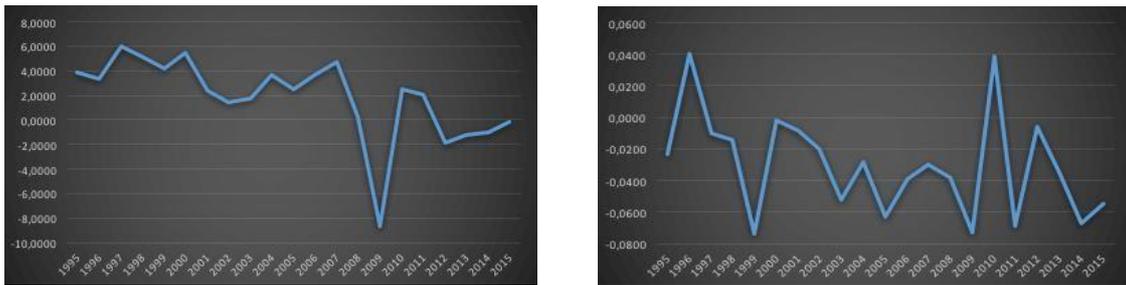


Grafico 3.19 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Germania (1995-2015)

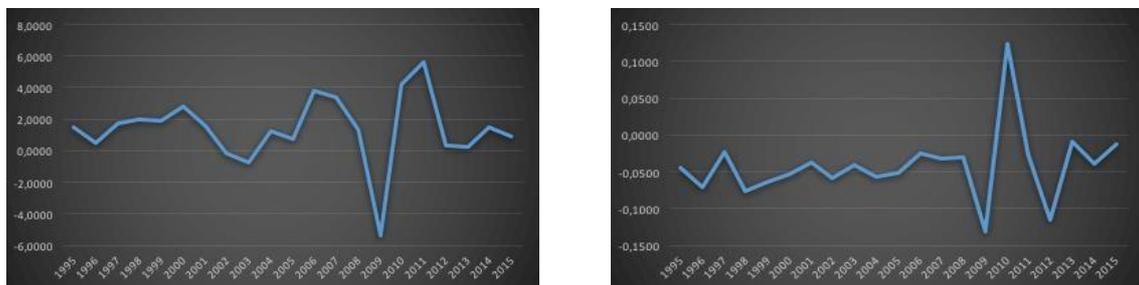


Grafico 3.20 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Ungheria (1995-2015)

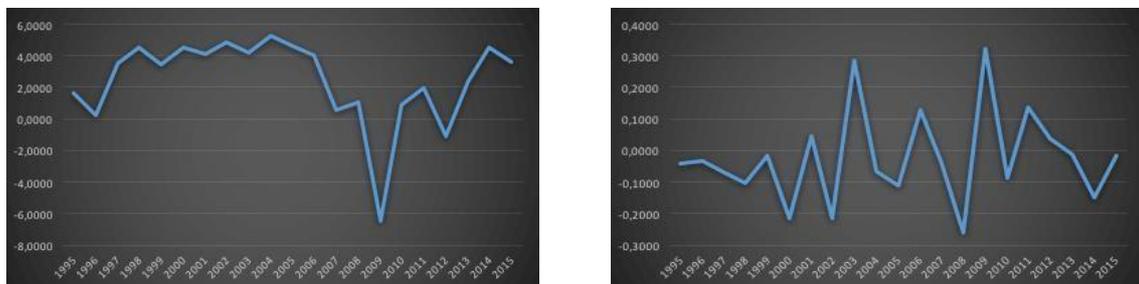


Grafico 3.21 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Italia (1995-2015)

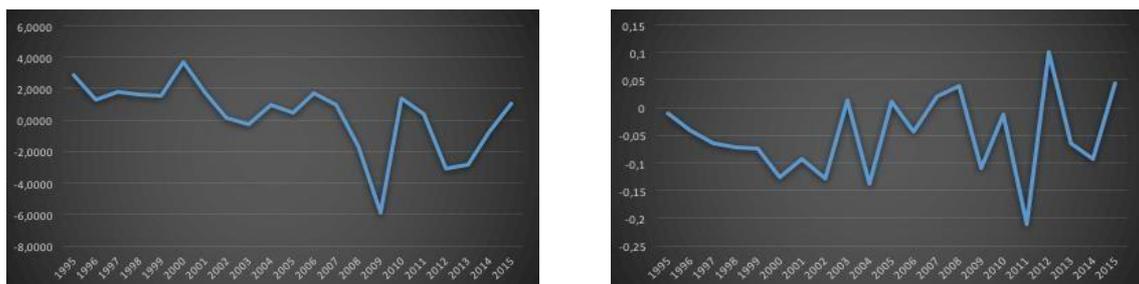


Grafico 3.22 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Olanda (1995-2015)

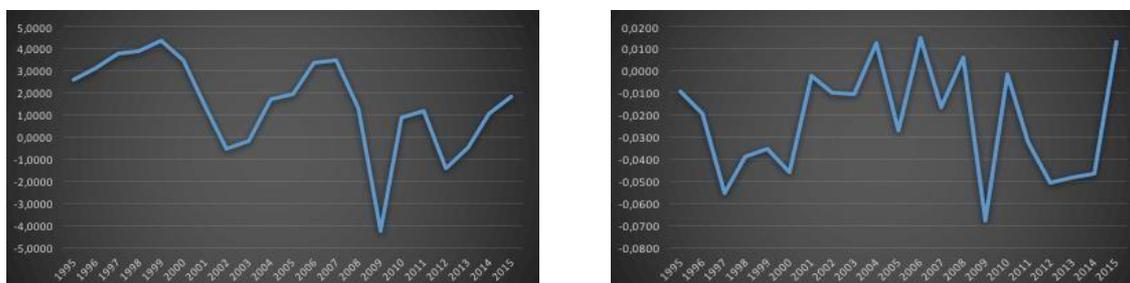


Grafico 3.23 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Norvegia (1995-2015)

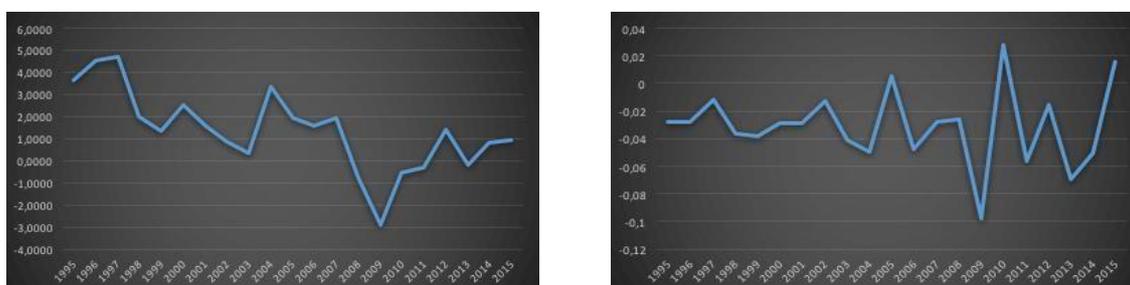


Grafico 3.24 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Polonia (1995-2015)

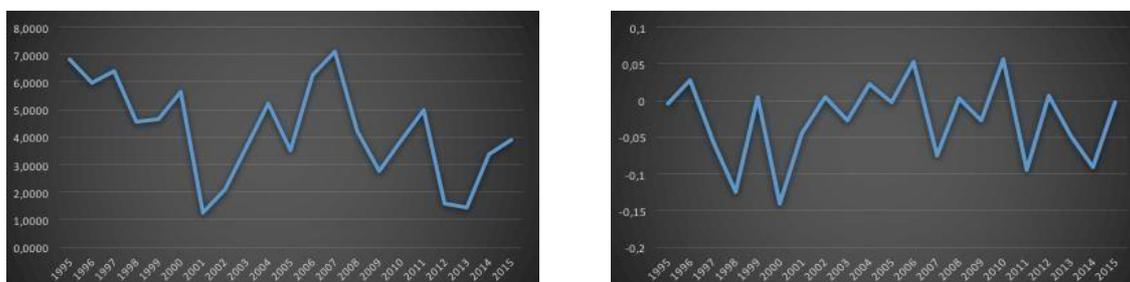


Grafico 3.25 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Spagna (1995-2015)

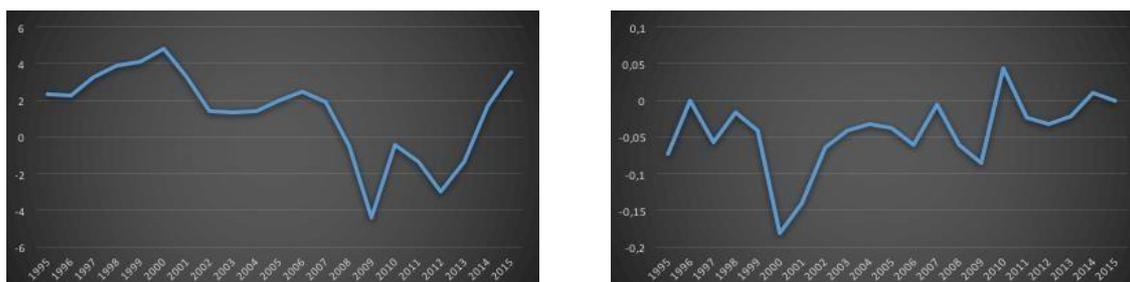


Grafico 3.26 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Svizzera (1995-2015)

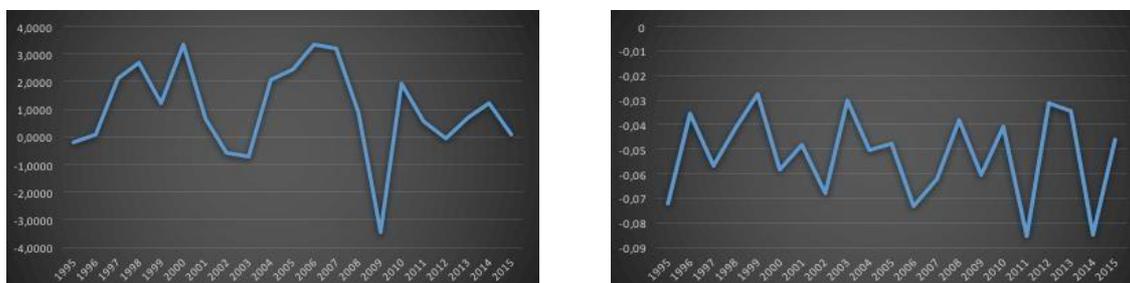


Grafico 3.27 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) in Regno Unito (1995-2015)

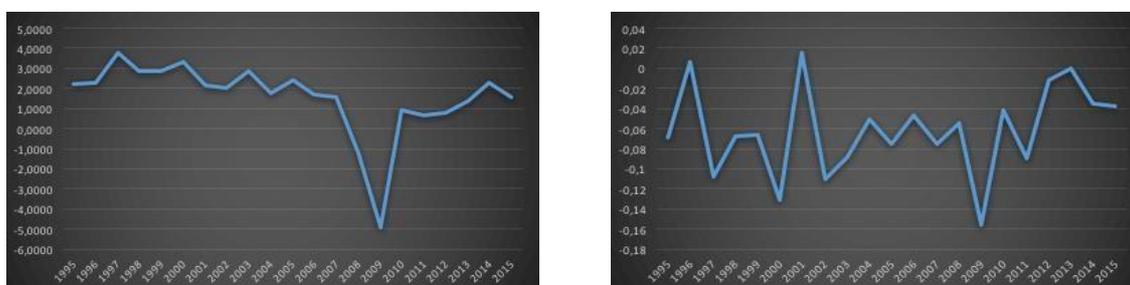
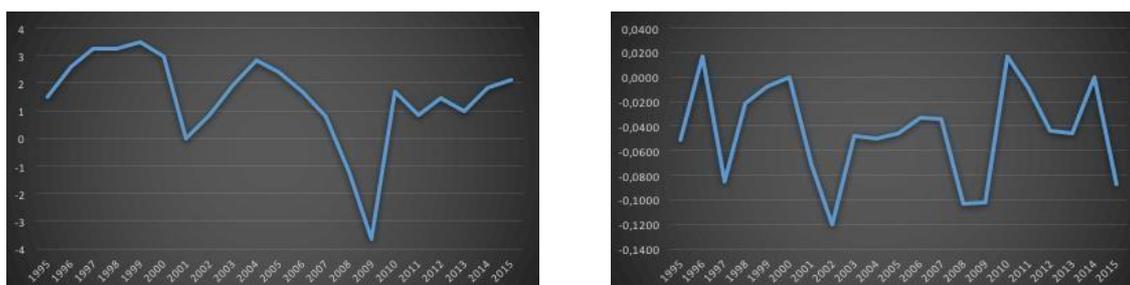


Grafico 3.28 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita del monossido di carbonio (destra) negli Stati Uniti (1995-2015)



Come possiamo notare, i trend sono molto irregolari ed identificare un rapporto diretto tra il tasso di crescita dell'economia ed il tasso di crescita del monossido di carbonio è molto difficile senza procedere ad una regressione multivariata, che eseguiremo nella sezione successiva di questo capitolo.

Procediamo dunque con l'analisi per la presenza di ammoniaca nell'aria, tenendo sempre in considerazione i tassi di crescita di tale inquinante ed il confronto del dato con il tasso di crescita del prodotto interno lordo reale nei Paesi considerati da questa ricerca. I grafici 3.29 e seguenti mostrano i dati di cui sopra.

Grafico 3.29 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Austria (1995-2015)

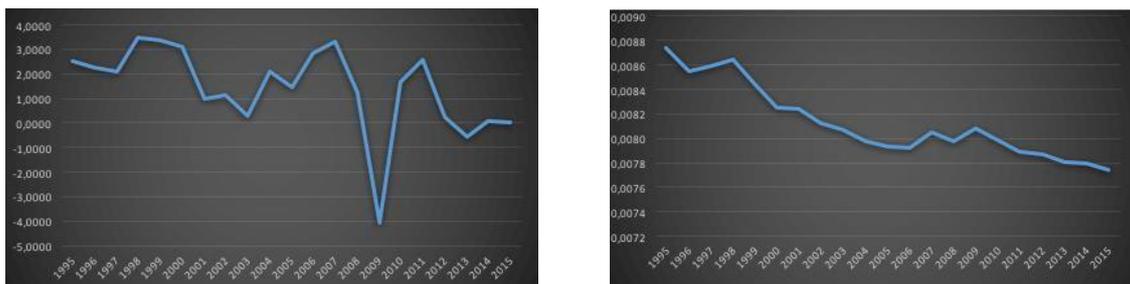


Grafico 3.30 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Belgio (1995-2015)

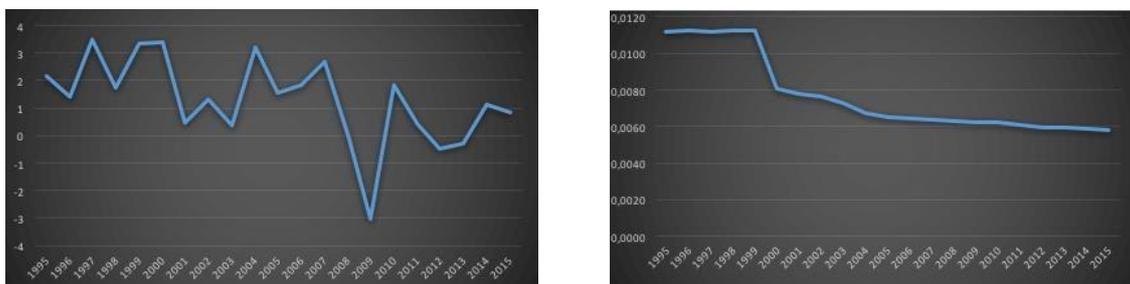


Grafico 3.31 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Canada (1995-2015)

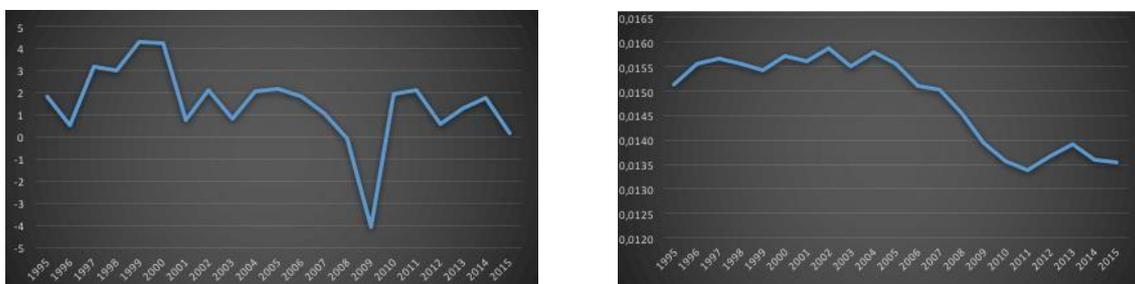


Grafico 3.32 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Danimarca (1995-2015)

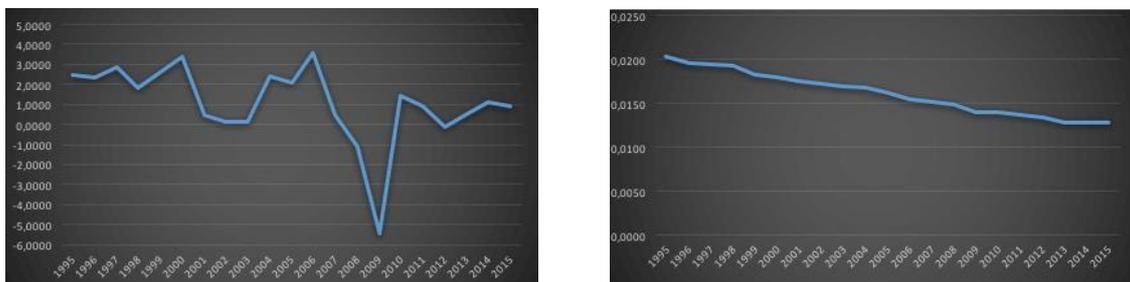


Grafico 3.33 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Finlandia (1995-2015)

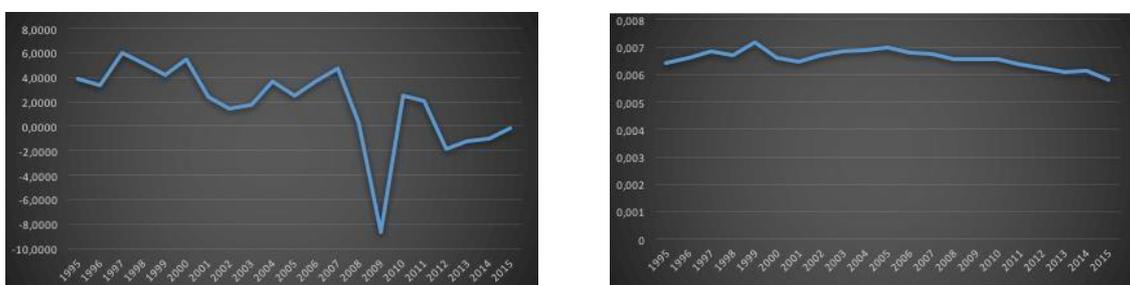


Grafico 3.34 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Germania (1995-2015)

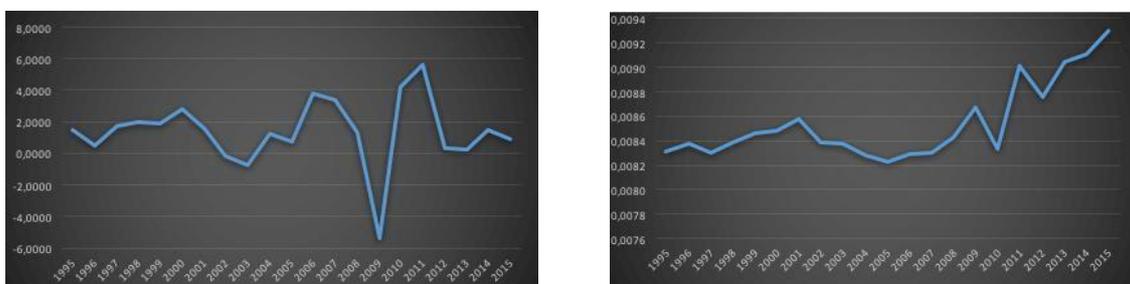


Grafico 3.35 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Ungheria (1995-2015)

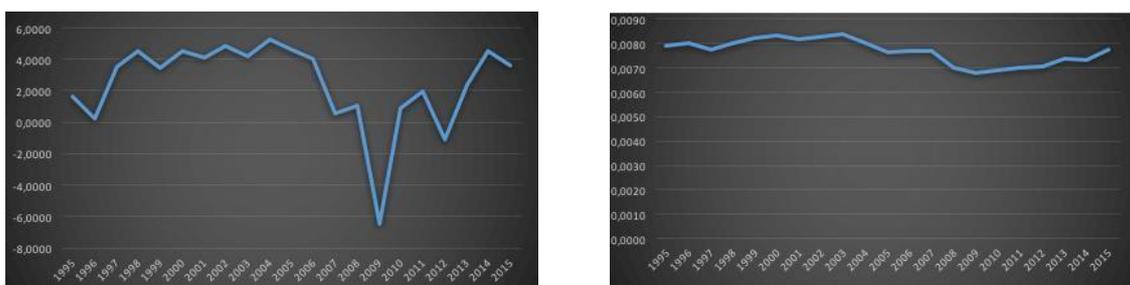


Grafico 3.36 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Italia (1995-2015)

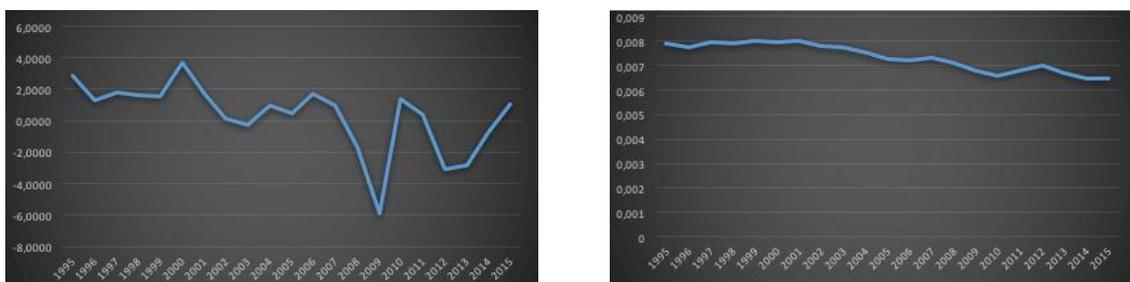


Grafico 3.37 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Olanda (1995-2015)

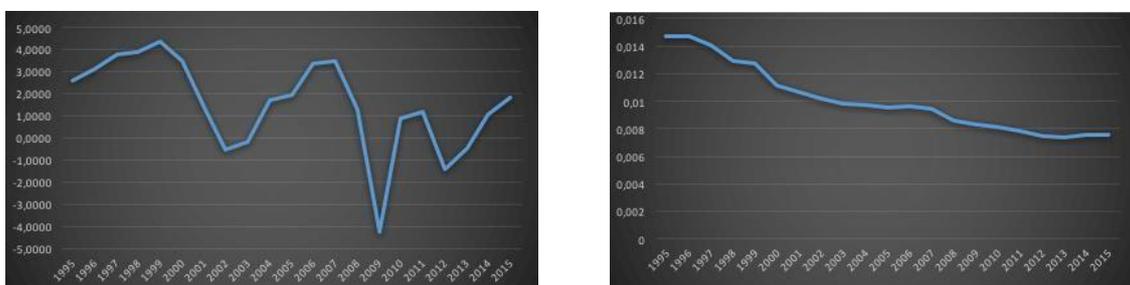


Grafico 3.38 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Norvegia (1995-2015)

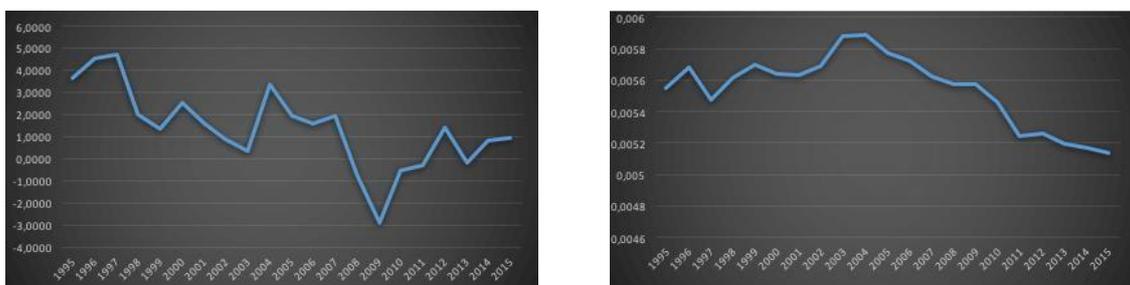


Grafico 3.39 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Polonia (1995-2015)

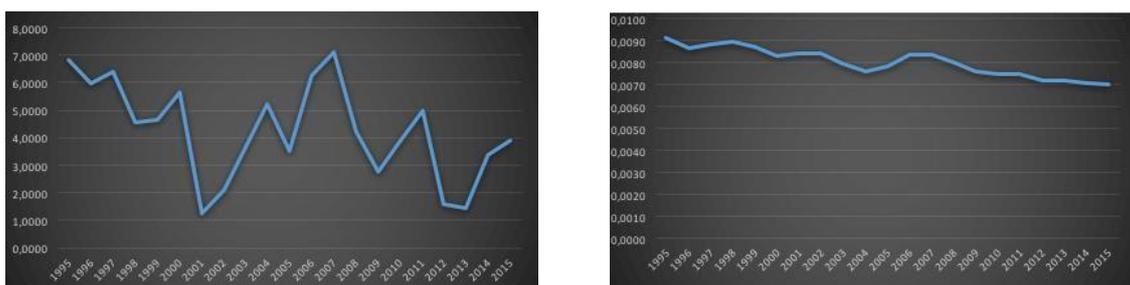


Grafico 3.40 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Spagna (1995-2015)

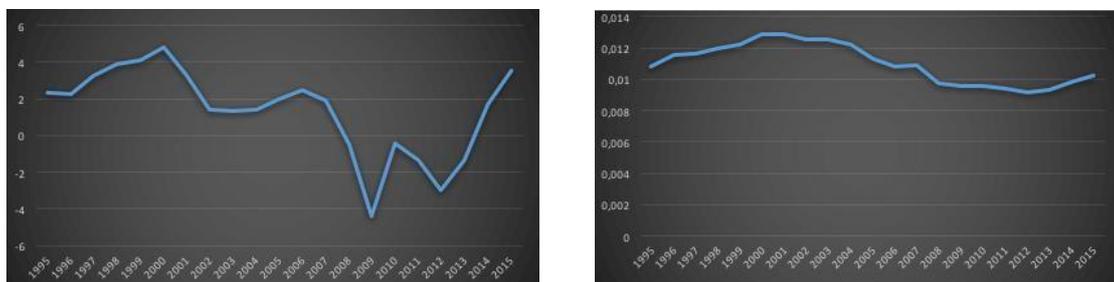


Grafico 3.41 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Svizzera (1995-2015)

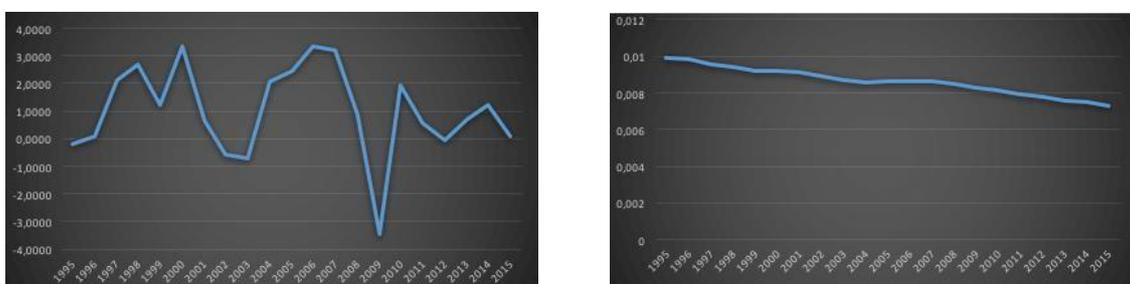


Grafico 3.42 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) in Regno Unito (1995-2015)

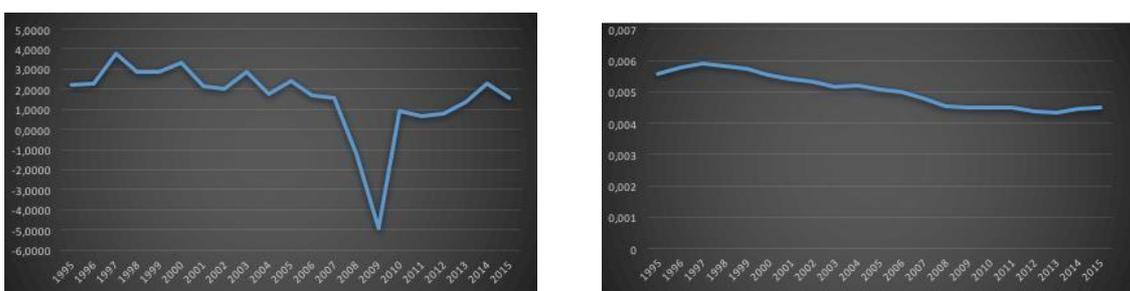
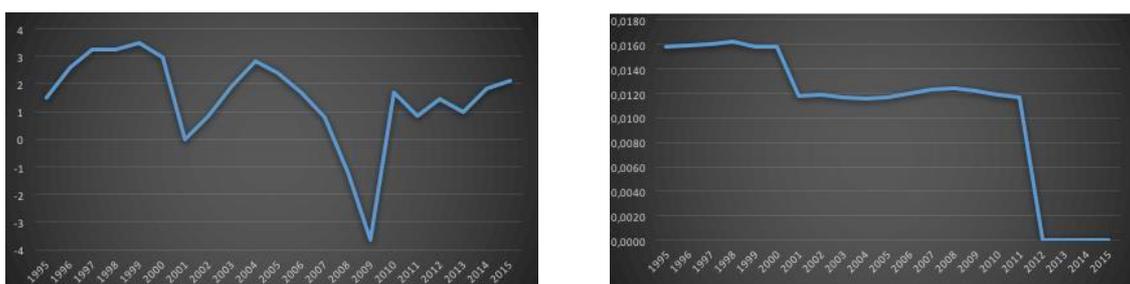


Grafico 3.43 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dell'accumulo di ammoniaca (destra) negli Stati Uniti (1995-2015)



Anche in questo caso, come possiamo vedere con facilità, non vi sono trend che possono essere associati a prima vista ad un effetto di scala così come disegnato da Criado e Stengos nel loro modello.

Procediamo dunque con l'analisi della presenza di composti organici volatili non metanici, sempre tenendo in considerazione i due tipi di trend: il tasso di crescita del prodotto interno lordo reale pro-capite ed il tasso di crescita della presenza di tale inquinante, sempre in termini pro-capite.

Grafico 3.44 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Austria (1995-2015)

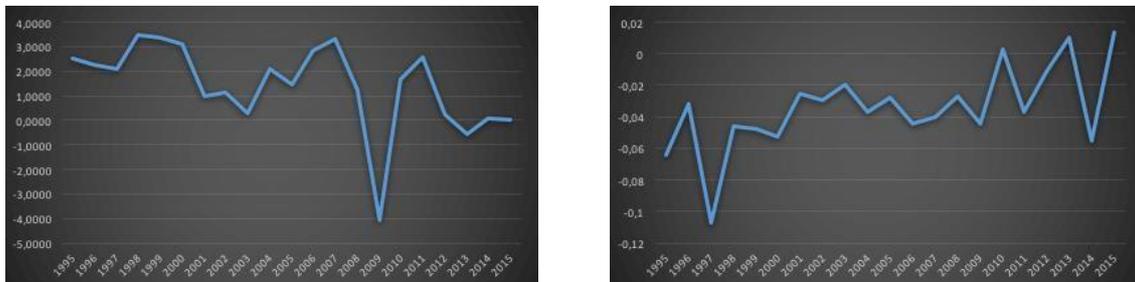


Grafico 3.45 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Belgio (1995-2015)

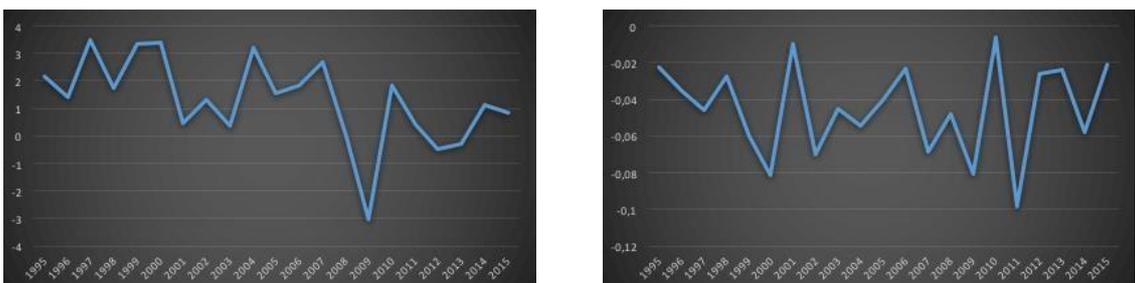


Grafico 3.46 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Canada (1995-2015)

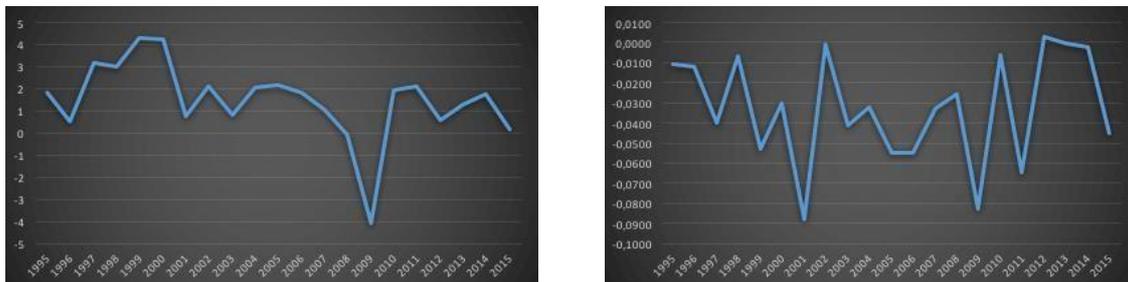


Grafico 3.47 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Danimarca (1995-2015)

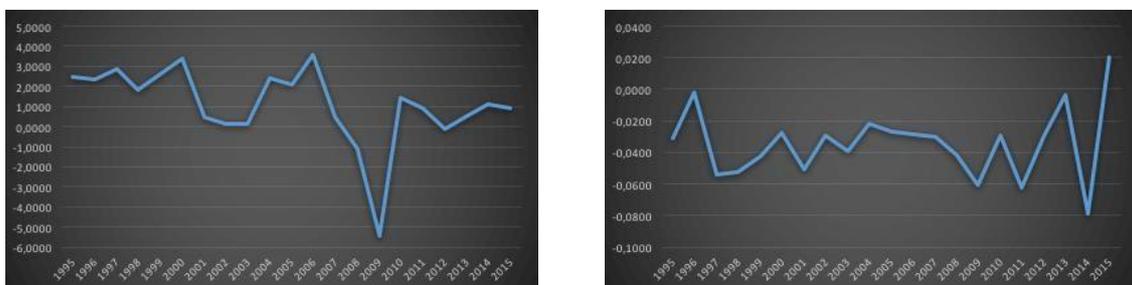


Grafico 3.48 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Finlandia (1995-2015)

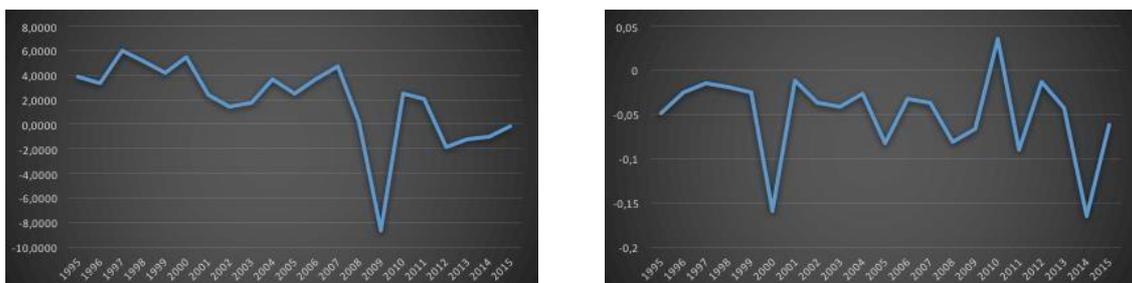


Grafico 3.49 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Germania (1995-2015)

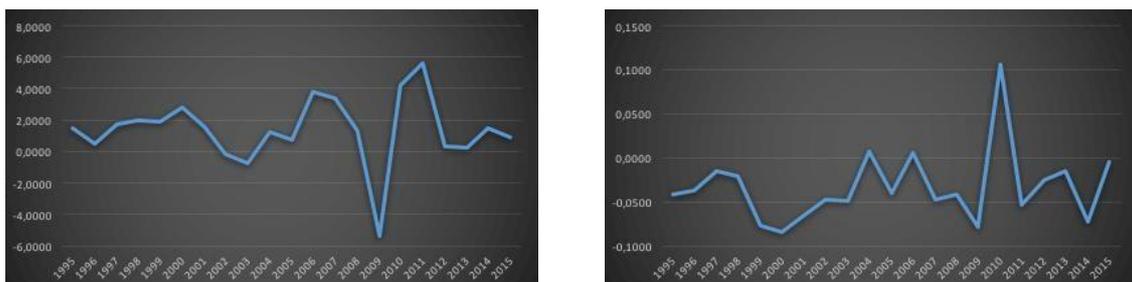


Grafico 3.50 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Ungheria (1995-2015)

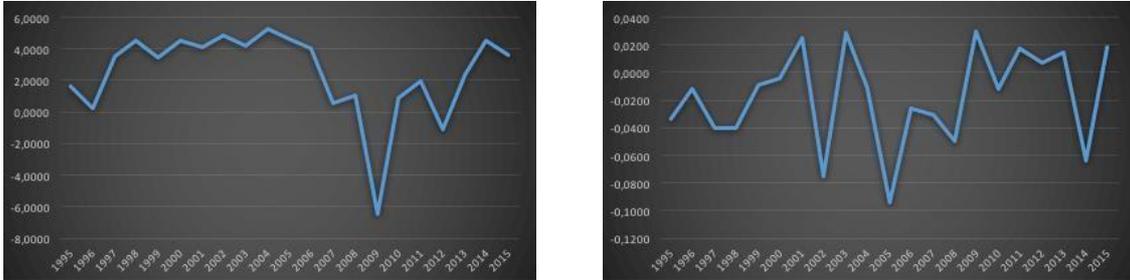


Grafico 3.51 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Italia (1995-2015)

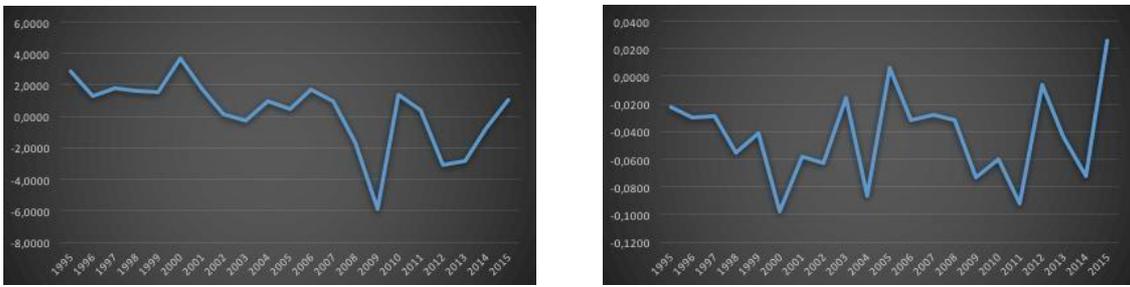


Grafico 3.52 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Olanda (1995-2015)

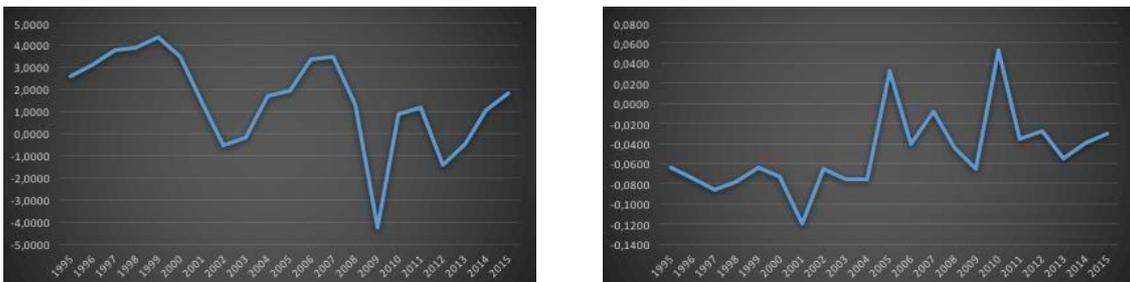


Grafico 3.53 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Norvegia (1995-2015)

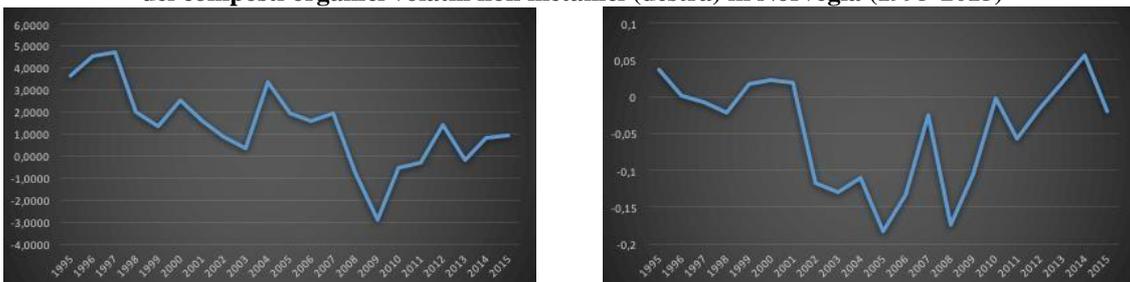


Grafico 3.54 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Polonia (1995-2015)

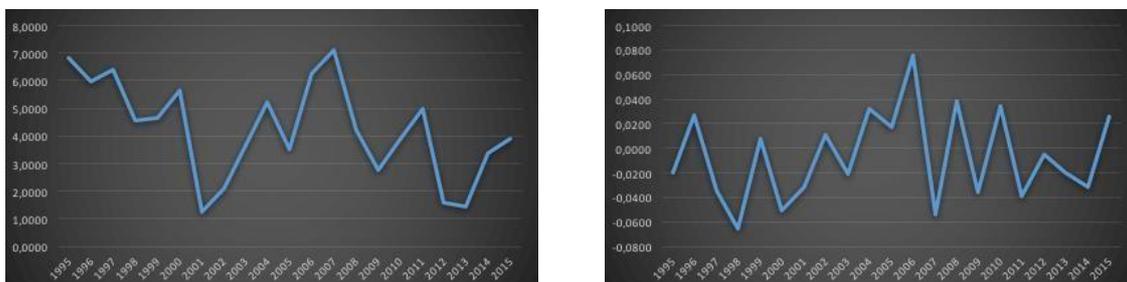


Grafico 3.55 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Spagna (1995-2015)

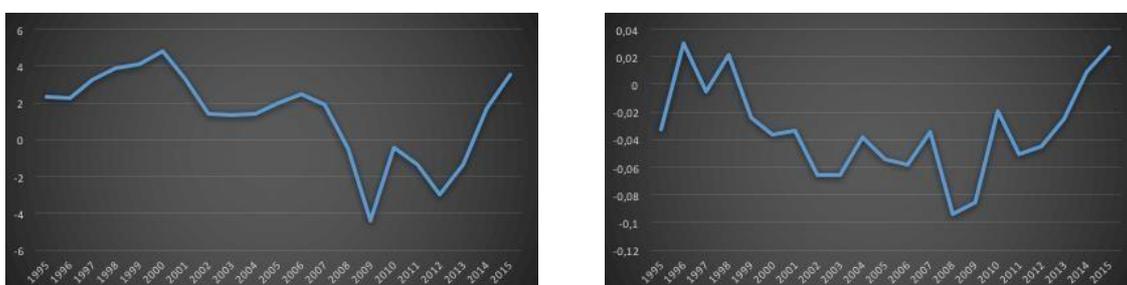


Grafico 3.56 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) in Svizzera (1995-2015)

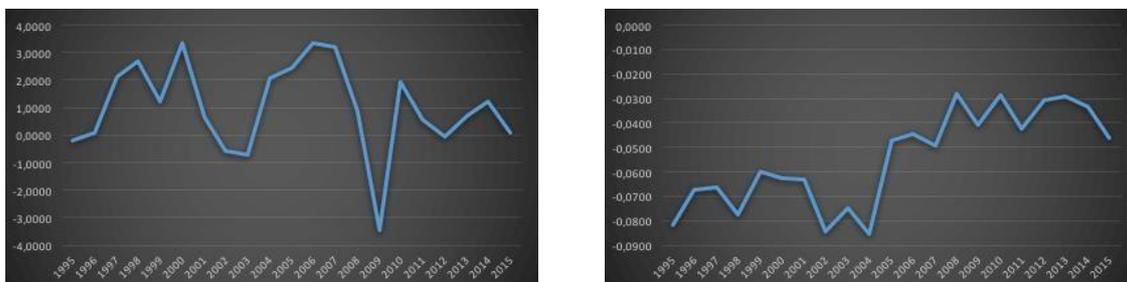


Grafico 3.57 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) nel Regno Unito (1995-2015)

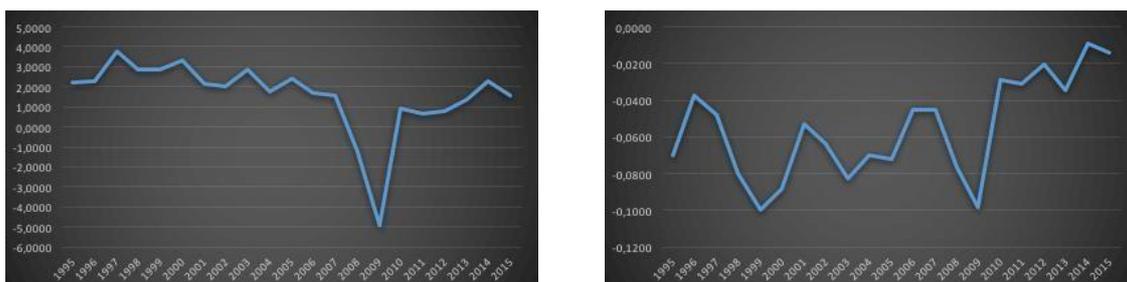
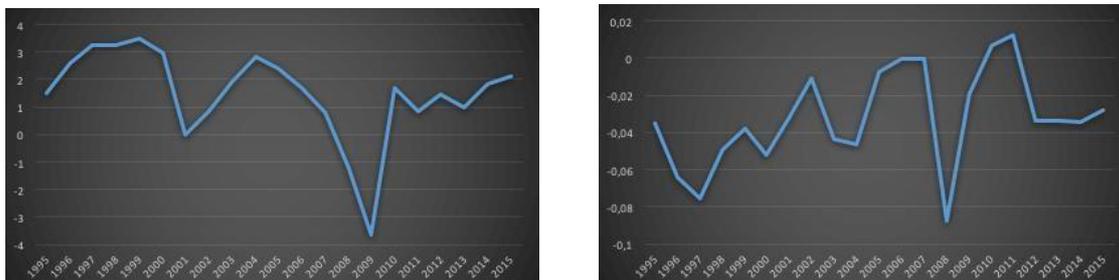


Grafico 3.58 – Tasso di crescita del prodotto interno lordo in reale (sinistra) e del tasso di crescita dei composti organici volatili non metanici (destra) negli Stati Uniti (1995-2015)



3.5 – Analisi delle serie storiche

Procediamo ora con le regressioni al fine di comprendere l'effettiva esistenza degli effetti di scala e difensivo per gli agenti inquinanti e i Paesi analizzati dalla presente ricerca. Ricordiamo che il modello prevede una variabile risposta (il tasso di crescita della presenza di agente inquinante) e tre variabili esplicative:

- x_1 : il livello di emissioni pro-capite;
- x_2 : il livello del prodotto interno lordo in termini reali e pro-capite;
- x_3 : il tasso di crescita del prodotto interno lordo in termini reali e pro-capite.

Monossido di carbonio

Iniziamo con il considerare la presenza di monossido di carbonio in Austria: di seguito presentiamo l'output di R per la regressione.

Output dei dati – Monossido di carbonio - Austria

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.080358 -0.027037  0.004668  0.028165  0.055566

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -5.325e-01  3.241e-01  -1.643   0.119
x1           2.266e+00  1.702e+00   1.331   0.201
x2           1.014e-05  5.811e-06   1.745   0.099 .
x3          -2.943e-01  5.708e-01  -0.516   0.613
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.03998 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2382, Adjusted R-squared:  0.1038
F-statistic: 1.772 on 3 and 17 DF, p-value: 0.1906
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.96805, p-value = 0.6897
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 12.338, df = 12, p-value = 0.4189
```

Come possiamo vedere dall'output, l'unica variabile che può essere considerata significativa, anche se ad un livello di significatività elevato, è il livello del prodotto interno lordo in termini reali e pro-capite, che con un valore positivo della stima del suo parametro conferma, però, la presenza di un (seppur debole) effetto di scala, cioè una relazione positiva tra detto tasso di crescita ed il tasso di crescita della presenza della sostanza inquinante nell'aria.

Nonostante il valore della statistica R quadro aggiustato non sia la migliore possibile (d'altronde, è impensabile spiegare un fenomeno come quello del tasso di crescita dell'inquinante solamente tramite queste tre variabili), i test Shapiro e Box restituiscono risultati soddisfacenti in termini di normalità e non correlazione dei residui.

Procediamo con l'analisi della situazione in Belgio: tramite lo stesso script otteniamo il seguente output:

Output dei dati – Monossido di carbonio - Belgio

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.23151 -0.10630 -0.02579  0.07825  0.40014

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -3.101e+00  1.152e+00  -2.692   0.0154 *
x1           1.461e+01  5.701e+00   2.563   0.0201 *
x2           7.076e-05  2.698e-05   2.623   0.0178 *
x3          -7.538e-01  2.462e+00  -0.306   0.7632
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1578 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3064, Adjusted R-squared:  0.184
F-statistic: 2.503 on 3 and 17 DF, p-value: 0.094
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.94068, p-value = 0.2247
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 11.899, df = 12, p-value = 0.4539
```

Come possiamo vedere dai risultati della regressione, nonostante (come d'altronde ci attendiamo) il valore della statistica R quadro non sia molto elevato, ad un livello di significatività dello 0,01 possiamo accettare l'ipotesi alternativa della nostra analisi e quindi risultano significative (oltre all'intercetta) anche il livello di emissioni pro-capite ed il livello di prodotto interno lordo reale in termini pro-capite.

Entrambi i coefficienti, sebbene di piccola entità, sono positivi, il che significa che, per il Belgio, il tasso di crescita delle emissioni pro-capite è positivamente influenzato da queste due variabili: identifichiamo dunque l'effetto di scala, come positivo rapporto tra il tasso di crescita delle emissioni pro-capite ed il tasso di crescita del prodotto interno lordo pro-capite ma non identifichiamo l'effetto difensivo, secondo il quale vi dovrebbe essere una relazione negativa tra il tasso di crescita delle emissioni ed il loro accumulo nel tempo.

Procediamo ora all'analisi dei dati per quanto riguarda il Canada. Anche in questo caso, come vedremo dall'output seguente, i risultati sono molto simili a quelli riscontrati nel caso belga: i coefficienti significativi dal punto di vista della nostra ricerca sono quelli relativi alle variabili che rappresentano il livello di emissioni pro-capite ed il livello prodotto interno lordo reale pro-capite. Inoltre, anche in questo caso, non sembra che vi sia una relazione inversa tra tasso di crescita delle emissioni e volume delle stesse nell'aria: ancora una volta dunque, confermiamo l'effetto di scala ma non l'effetto difensivo.

Output dei dati – Monossido di carbonio - Canada

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.057517 -0.006077  0.000066  0.011738  0.045719

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -7.897e-01  3.779e-01  -2.090  0.0520 .
x1           1.235e+00  6.030e-01   2.048  0.0563 .
x2           1.041e-05  5.297e-06   1.964  0.0660 .
x3          -3.172e-01  2.515e-01  -1.261  0.2243
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02612 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2094, Adjusted R-squared:  0.0699
F-statistic: 1.501 on 3 and 17 DF, p-value: 0.2501
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.93329, p-value = 0.1602
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 16.978, df = 12, p-value = 0.1504
```

Procediamo di seguito con l'analisi dei dati per quanto riguarda il caso danese. La regressione, per questo Stato, non mostra significatività nel caso di nessuna variabile, dunque presentiamo l'output del programma R a puro scopo di completezza.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Danimarca

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.058137 -0.014642 -0.003634  0.012720  0.063146

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -3.199e-01  2.442e-01  -1.310   0.208
x1            1.140e+00  1.287e+00   0.886   0.388
x2            6.240e-07  4.872e-07   1.281   0.217
x3            3.268e-01  3.652e-01   0.895   0.383

Residual standard error: 0.03481 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1459, Adjusted R-squared:  -0.004805
F-statistic: 0.9681 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.4306
```

Anche nel caso della Finlandia l'output di R non garantisce alcun risultato significativo per la nostra ricerca: proponiamo di seguito quanto trovato a puro scopo di completezza.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Finlandia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.053947 -0.016425 -0.003108  0.008406  0.078205

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.436e-01  2.720e-01  -0.528   0.605
x1           8.415e-01  1.465e+00   0.574   0.573
x2           1.048e-06  4.666e-06   0.225   0.825
x3           9.960e-02  2.659e-01   0.375   0.713

Residual standard error: 0.03208 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1813, Adjusted R-squared:  0.03686
F-statistic: 1.255 on 3 and 17 DF, p-value: 0.3211
```

Di seguito presentiamo l'output di R per quanto riguarda il caso tedesco.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Germania

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.068018 -0.015223 -0.002181  0.013570  0.123838

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.137e-02  2.451e-01   0.046  0.96353
x1          -8.304e-01  1.745e+00  -0.476  0.64018
x2          -1.658e-06  5.773e-06  -0.287  0.77743
x3           1.479e+00  5.052e-01   2.928  0.00939 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.04137 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3801, Adjusted R-squared:  0.2707
F-statistic: 3.474 on 3 and 17 DF, p-value: 0.03926
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std  
W = 0.87345, p-value = 0.01107
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 6.7599, df = 12, p-value = 0.8731
```

In questo caso vi è un'importante significatività per quanto riguarda il tasso di crescita del prodotto interno lordo pro-capite in termini reali, che conferma ancora una volta l'esistenza di un effetto di scala e quindi di una relazione positiva tra la crescita economica e la crescita degli agenti inquinanti.

Procediamo con l'analisi dei dati nel caso ungherese e presentiamo l'output di R di seguito.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Ungheria

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.12410 -0.07358 -0.03654  0.05063  0.28243

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -3.653e-01  2.961e-01  -1.234  0.23417
x1           1.136e+01  3.592e+00   3.164  0.00567 **
x2          -2.846e-08  6.356e-08  -0.448  0.66002
x3          -2.353e+00  7.213e-01  -3.262  0.00459 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1154 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4851, Adjusted R-squared:  0.3942
F-statistic: 5.338 on 3 and 17 DF, p-value: 0.008932
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.90042, p-value = 0.03565
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 12.65, df = 12, p-value = 0.395
```

Come possiamo osservare, ad essere significative per la nostra analisi sono il coefficiente della variabile che rappresenta la presenza dell'agente inquinante (ma comunque lo troviamo con il segno positivo, a riprova dell'inesistenza di un effetto difensivo) e del livello di crescita del prodotto interno lordo pro-capite, che evidenzia ancora una volta l'esistenza di un effetto di scala.

Vediamo ora i risultati per il nostro Paese.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Italia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.157075 -0.018164  0.001743  0.012774  0.141549

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.209e+00  6.129e-01  -1.972  0.0651 .
x1           4.244e+00  2.310e+00   1.837  0.0837 .
x2           3.589e-05  1.893e-05   1.896  0.0751 .
x3          -3.550e-01  8.579e-01  -0.414  0.6842
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.07215 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1868, Adjusted R-squared:  0.0433
F-statistic: 1.302 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.3062
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.95622, p-value = 0.4434
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 16.09, df = 12, p-value = 0.1872
```

In questo caso, come possiamo vedere l'output del programma mostra una significatività dell'intercetta e delle prime due variabili considerate dalla nostra analisi, che sono rispettivamente il livello di emissioni pro-capite ed il livello di prodotto interno lordo pro-capite in termini reali. Si tratta di valori positivi che continuano quindi a confermare l'assenza di un effetto difensivo e la presenza, invece, di un effetto di scala.

Il caso olandese presenta il seguente output di regressione.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Olanda

```
Call:  
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)  
  
Residuals:  
      Min       1Q   Median       3Q      Max  
-0.032457 -0.013335 -0.008333  0.016294  0.038457  
  
Coefficients:  
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) -3.442e-01  1.600e-01  -2.151  0.0461 *  
x1           3.302e+00  2.013e+00   1.640  0.1193  
x2           4.882e-06  2.269e-06   2.152  0.0461 *  
x3           4.187e-01  2.392e-01   1.751  0.0980 .  
---  
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
  
Residual standard error: 0.02257 on 17 degrees of freedom  
Multiple R-squared:  0.2958, Adjusted R-squared:  0.1716  
F-statistic: 2.381 on 3 and 17 DF, p-value: 0.1055
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std  
W = 0.94566, p-value = 0.2813
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 9.8138, df = 12, p-value = 0.6323
```

Come possiamo vedere, nel caso olandese, solamente il prodotto interno lordo, sia in termini di livello che di tasso di crescita (oltre all'intercetta) ha una significatività nel modello. Data la positività dei valori dei coefficienti, questo conferma anche per l'Olanda l'esistenza dell'effetto di scala.

Studiamo ora il caso norvegese: di seguito presentiamo l'output del programma R.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Norvegia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.049517 -0.012414 -0.003095  0.012319  0.060298

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.211e-01  3.195e-01  -0.692   0.498
x1           8.985e-01  1.562e+00   0.575   0.573
x2           1.895e-07  3.319e-07   0.571   0.575
x3           7.435e-02  1.525e-01   0.488   0.632

Residual standard error: 0.02923 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.07838, Adjusted R-squared:  -0.08425
F-statistic: 0.482 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.6992
```

Come possiamo notare, anche in questo come negli altri Paesi Scandinavi, non vi sono coefficiente che abbiano un'effettiva significatività per la nostra ricerca, dunque procediamo oltre senza effettuare analisi di robustezza per il modello.

Procediamo all'analisi della situazione in Polonia. Dall'output di R che viene presentato di seguito possiamo notare che vi è la significatività (oltre all'intercetta) solamente del livello di emissioni che ha comunque un valore positivo che mostra una relazione crescente tra il tasso di crescita delle emissioni e il livello cumulato delle stesse e che quindi smentisce nuovamente l'esistenza di un effetto difensivo.

Polonia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.09440 -0.04037  0.01071  0.03701  0.07690

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -4.539e-01  2.385e-01  -1.903   0.0741 .
x1           4.711e+00  2.545e+00   1.851   0.0816 .
x2           2.864e-06  2.110e-06   1.357   0.1925
x3          -4.588e-01  3.154e-01  -1.455   0.1639
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.05394 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1679, Adjusted R-squared:  0.02106
F-statistic: 1.143 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.3599
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.95726, p-value = 0.4628
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 11.635, df = 12, p-value = 0.4754
```

Il Paese che andremo ad analizzare di seguito è la Spagna, realtà per la quale possiamo evincere una non significatività di tutti i coefficienti studiati. Presentiamo a scopo di completezza l'output del programma R.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Spagna

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.102363 -0.009303  0.010176  0.025084  0.059572

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -4.817e-01  3.120e-01  -1.544   0.141
x1           2.680e+00  1.922e+00   1.394   0.181
x2           1.560e-05  1.063e-05   1.467   0.161
x3          -4.856e-01  3.775e-01  -1.286   0.216

Residual standard error: 0.04762 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2232, Adjusted R-squared:  0.08616
F-statistic: 1.629 on 3 and 17 DF, p-value: 0.22
```

Procediamo con l'analisi dei dati svizzeri, che comunque presentano dei livelli di significatività osservati per le singole variabili molto alti e quindi nessuno dei coefficienti può essere inserito nella nostra analisi. Presentiamo dunque i dati solo a livello di completezza espositiva.

Output dei dati – Monossido di carbonio –

Svizzera

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.030958 -0.009593  0.002404  0.014424  0.022144

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.363e-04  2.209e-01   0.003   0.998
x1          -1.611e-01  1.183e+00  -0.136   0.893
x2          -6.356e-07  2.418e-06  -0.263   0.796
x3          -6.912e-02  2.066e-01  -0.335   0.742

Residual standard error: 0.01865 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.03035, Adjusted R-squared:  -0.1408
F-statistic: 0.1774 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.9102
```

Di seguito l'analisi dei dati per il Regno Unito.

Output dei dati – Monossido di carbonio – Regno Unito

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.062830 -0.019631 -0.001917  0.031072  0.085505

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -7.759e-01  2.936e-01  -2.642   0.0171 *
x1           3.653e+00  1.631e+00   2.240   0.0387 *
x2          -1.499e-05  4.635e-05  -0.323   0.7504
x3           1.978e-05  2.309e-05   0.857   0.4035
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.03996 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3058, Adjusted R-squared:  0.1832
F-statistic: 2.496 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.09467
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std  
W = 0.96734, p-value = 0.6738
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 14.755, df = 12, p-value = 0.2551
```

Come possiamo notare, il livello di significatività osservato permette di accettare l'ipotesi alternativa solamente per intercetta e valore delle emissioni in termini pro-capite. Come negli altri casi in cui tali coefficienti erano significativi, confermiamo dunque l'esistenza di un effetto di scala e non di un effetto difensivo.

Ultimi saranno gli Stati Uniti d'America, dei quali presentiamo l'output di R nella prossima pagina.

Stati Uniti

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.063315 -0.026779 -0.001847  0.022010  0.064006

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.07386    0.02626  -2.812   0.0120 *
x1           -0.03107    0.11022  -0.282   0.7814
x2           -0.01647    0.42295  -0.039   0.9694
x3            1.11908    0.55308   2.023   0.0591 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.03721 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2565, Adjusted R-squared:  0.1253
F-statistic: 1.955 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.1591
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.98453, p-value = 0.975
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 12.057, df = 12, p-value = 0.4411
```

Ammoniaca

Il nostro lavoro continua attraverso l'analisi delle serie storiche per la presenza di ammoniaca nell'aria, con la stessa struttura utilizzata per la regressione nel caso del monossido di carbonio.

Partiamo dunque dall'output relativo alla presenza di ammoniaca in Austria.

Output dei dati – Ammoniaca – Austria

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.0193968 -0.0073222  0.0006842  0.0081012  0.0174921

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -3.680e-01  2.029e-01  -1.814  0.0874 .
x1           3.774e+01  2.094e+01   1.803  0.0892 .
x2           1.831e-06  1.114e-06   1.644  0.1185
x3          -2.199e-02  1.661e-01  -0.132  0.8962
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.01165 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1672, Adjusted R-squared:  0.02021
F-statistic: 1.137 on 3 and 17 DF, p-value: 0.3621
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.96934, p-value = 0.7183
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 11.896, df = 12, p-value = 0.4541
```

In questo caso, l'unico coefficiente che può essere considerato significativo è il livello di emissioni pro-capite che, con un valore positivo, sancisce l'esistenza di una relazione crescente tra tale indicatore ed il tasso di crescita delle emissioni pro-capite in termini di ammoniaca. Nessun effetto di scala, invece, è stato rilevato in questo caso.

Procediamo ora con l'output per il Belgio.

Output dei dati – Ammoniaca – Belgio

```
Call:  
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)  
  
Residuals:  
      Min       1Q   Median       3Q      Max  
-0.191588 -0.015894  0.001767  0.032093  0.050009  
  
Coefficients:  
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) -6.030e-01  2.988e-01  -2.018  0.0597 .  
x1           3.291e+01  1.474e+01   2.232  0.0393 *  
x2           1.214e-05  6.310e-06   1.924  0.0712 .  
x3          -1.122e+00  7.760e-01  -1.446  0.1663  
---  
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
  
Residual standard error: 0.05454 on 17 degrees of freedom  
Multiple R-squared:  0.3448, Adjusted R-squared:  0.2292  
F-statistic: 2.982 on 3 and 17 DF, p-value: 0.06054
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std  
W = 0.6916, p-value = 2.167e-05
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 5.8876, df = 12, p-value = 0.9216
```

In questo caso, si possono evincere significatività sia per il coefficiente che riassume il livello delle emissioni pro-capite cumulato, sia per il coefficiente che riassume il livello del prodotto interno lordo pro-capite in termini reali. I risultati di questa regressione non smentiscono quanto finora riscontrato: il coefficiente è positivo per entrambe le variabili e quindi non troviamo alcun effetto difensivo mentre troviamo l'effetto di scala, dovuto alla correlazione positiva tra tasso di crescita delle emissioni inquinanti di ammoniaca e livello della produzione reale pro-capite.

Procediamo con l'analisi dei dati per quanto riguarda il Canada: di seguito l'output di R per quanto riguarda tale regressione. In questo caso non riscontriamo nessuna significatività dei coefficienti e quindi riportiamo i risultati dell'analisi a puro scopo di completezza.

Output dei dati – Ammoniaca – Canada

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.02308 -0.01830 -0.00660  0.01951  0.03480

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  8.660e-02  1.703e-01   0.508   0.618
x1          -3.210e+00  9.429e+00  -0.340   0.738
x2          -1.124e-06  8.896e-07  -1.263   0.223
x3           1.536e-01  1.747e-01   0.879   0.392

Residual standard error: 0.02079 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2103, Adjusted R-squared:  0.07098
F-statistic: 1.509 on 3 and 17 DF, p-value: 0.248
```

Continuiamo con il caso danese, per il quale come ci aspettavamo, non riscontriamo la significatività di alcun parametro; ricordiamo infatti che, anche nel caso del monossido di carbonio, non avevamo trovato valori significativi, il che è probabilmente dovuto all'efficacia delle politiche varate dai governi locali al fine di debellare l'inquinamento cumulato nel tempo.

Output dei dati – Ammoniacca – Danimarca

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.0303691 -0.0136564 -0.0008349  0.0166326  0.0254511

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -4.617e-01  4.116e-01  -1.122   0.278
x1           1.356e+01  1.417e+01   0.957   0.352
x2           7.559e-07  6.584e-07   1.148   0.267
x3           7.993e-02  2.428e-01   0.329   0.746

Residual standard error: 0.01926 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1634, Adjusted R-squared:  0.01571
F-statistic: 1.106 on 3 and 17 DF, p-value: 0.3738
```

Proseguiamo con il caso della Finlandia e proponiamo di seguito l'output di R per la regressione.

Output dei dati – Ammoniacca – Finlandia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.075514 -0.006025 -0.001767  0.012831  0.037236

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.213e-01  1.577e-01  -1.403   0.1787
x1           4.590e+01  2.069e+01   2.219   0.0404 *
x2          -2.297e-06  1.265e-06  -1.816   0.0871 .
x3          -3.857e-01  2.021e-01  -1.908   0.0734 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0268 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4582, Adjusted R-squared:  0.3625
F-statistic: 4.791 on 3 and 17 DF, p-value: 0.01346
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std  
W = 0.90865, p-value = 0.05165
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 4.8812, df = 12, p-value = 0.9618
```

I risultati del caso in questione sono molto interessanti, non tanto per il valore del coefficiente che riassume il livello di emissioni dell'inquinante nell'aria, che come di consueto ci rivela l'assenza di un effetto difensivo, quanto per i valori trovati nei casi del tasso di crescita del prodotto interno lordo pro-capite e del livello di prodotto interno lordo pro-capite, entrambi indicati in termini reali.

Tali valori, infatti, smentirebbero (e sarebbe la prima volta) l'effetto di scala trovato in tutti gli altri casi, anche per quanto riguarda la presenza di monossido di carbonio nell'aria. Il rapporto inverso, in questo caso, tra il valore dei due coefficienti e quello della variabile risposta indica quindi una probabile differenza sostanziale nella determinazione di tale rapporto. In ogni caso, possiamo osservare che il livello di significatività osservato in entrambi i casi è piuttosto alto, dunque si tratta di un risultato che deve essere preso con la dovuta cautela.

Procediamo con le statistiche per la Germania e presentiamo di seguito l'output di R per la regressione.

Output dei dati – Ammoniaca – Germania

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.034633 -0.011926 -0.001348  0.010082  0.046047

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -4.982e-01  1.709e-01  -2.915  0.00966 **
x1           6.805e+01  2.429e+01   2.801  0.01228 *
x2          -2.860e-06  1.810e-06  -1.581  0.13242
x3           2.568e-01  2.431e-01   1.056  0.30558
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02141 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3559, Adjusted R-squared:  0.2422
F-statistic: 3.131 on 3 and 17 DF, p-value: 0.05299
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.98107, p-value = 0.9398
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 15.524, df = 12, p-value = 0.214
```

Come possiamo constatare, per il caso tedesco l'unico coefficiente che possiamo considerare significativo è quello relativo al livello di emissioni cumulate pro-capite: anche in questo caso non possiamo rilevare l'esistenza di un effetto difensivo.

Procediamo con l'analisi di regressione per il caso ungherese: presentiamo di seguito l'output di R. In questo caso non possiamo chiamare significativo nessun coefficiente, dunque mostriamo i dati al puro scopo di completezza.

Output dei dati – Ammoniaca - Ungheria

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.079363 -0.011945  0.000621  0.028002  0.040874

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.644e-01  1.717e-01  -1.540   0.142
x1           2.896e+01  2.060e+01   1.406   0.178
x2           1.620e-08  1.828e-08   0.886   0.388
x3           8.033e-02  2.080e-01   0.386   0.704

Residual standard error: 0.03456 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1274, Adjusted R-squared: -0.02662
F-statistic: 0.8271 on 3 and 17 DF, p-value: 0.497
```

Anche nel caso italiano possiamo portare gli stessi risultati.

Output dei dati – Ammoniaca – Italia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.026355 -0.017969 -0.006721  0.017464  0.047574

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.818e-01  1.887e-01  -0.964   0.349
x1           1.648e+01  1.865e+01   0.884   0.389
x2           1.937e-06  2.929e-06   0.661   0.517
x3           1.450e-01  3.026e-01   0.479   0.638

Residual standard error: 0.02428 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1061, Adjusted R-squared: -0.05159
F-statistic: 0.6729 on 3 and 17 DF, p-value: 0.5804
```

Anche il caso olandese non presenta significatività nei coefficienti.

Output dei dati – Ammoniaca – Olanda

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.085625 -0.013706  0.005902  0.018823  0.063515

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -3.452e-01  4.094e-01  -0.843   0.411
x1           1.054e+01  1.890e+01   0.558   0.584
x2           6.361e-06  6.920e-06   0.919   0.371
x3          -2.006e-01  4.653e-01  -0.431   0.672

Residual standard error: 0.04193 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.201, Adjusted R-squared: 0.06005
F-statistic: 1.426 on 3 and 17 DF, p-value: 0.2699
```

Procediamo con l'analisi dei dati inerenti la Norvegia: presentiamo di seguito l'output di R.

Output dei dati – Ammoniaca – Norvegia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.042366 -0.010734  0.002520  0.007458  0.023981

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -5.389e-02  1.265e-01  -0.426   0.6755
x1           1.675e+01  2.120e+01   0.790   0.4405
x2           -7.742e-08  3.583e-08  -2.160   0.0453 *
x3           -1.428e-01  7.294e-02  -1.958   0.0668 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.01692 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4067, Adjusted R-squared:  0.302
F-statistic: 3.884 on 3 and 17 DF, p-value: 0.02777
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.94458, p-value = 0.268
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 7.4076, df = 12, p-value = 0.8295
```

Anche per questo caso, i dati sono molto interessanti poiché smentiscono l'esistenza di un effetto di scala sia considerando il livello del prodotto interno lordo pro-capite in termini reali, sia il tasso di crescita del prodotto interno lordo pro-capite in termini reali. Si tratta già della seconda casistica in cui riscontriamo la presenza di una confutazione dell'esistenza di tale effetto.

Procediamo con l'analisi dei risultati per la Polonia.

Output dei dati – Ammoniaca – Polonia

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.046564 -0.021724  0.006137  0.013730  0.060063

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -5.486e-01  2.529e-01  -2.169  0.0446 *
x1           5.975e+01  2.732e+01   2.187  0.0430 *
x2           2.400e-06  1.457e-06   1.648  0.1178
x3          -1.076e-01  1.149e-01  -0.936  0.3624
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02984 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2268, Adjusted R-squared:  0.09038
F-statistic: 1.662 on 3 and 17 DF, p-value: 0.2126
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.95256, p-value = 0.3804
```

Box-Ljung test

```
data: res.std  
X-squared = 18.244, df = 12, p-value = 0.1085
```

In questo caso i risultati non differiscono dai molti altri casi in cui il coefficiente significativo è quello che mostra la relazione tra la variabile risposta ed il livello di emissioni prodotto in totale (pro-capite), evidenziando una relazione positiva e quindi falsificando l'ipotesi di una presenza dell'effetto difensivo.

Procediamo con il caso spagnolo e presentiamo di seguito l'output di R. Anche in questo caso non sono presenti coefficiente significativi per la nostra analisi.

Output dei dati – Ammoniaca – Spagna

```
Call:  
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)  
  
Residuals:  
      Min       1Q   Median       3Q      Max  
-0.080806 -0.018941 -0.005013  0.026322  0.070467  
  
Coefficients:  
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept)  5.458e-02  1.661e-01   0.329   0.746  
x1           3.724e+00  1.404e+01   0.265   0.794  
x2          -4.567e-06  2.874e-06  -1.589   0.130  
x3          -2.588e-01  4.819e-01  -0.537   0.598  
  
Residual standard error: 0.04159 on 17 degrees of freedom  
Multiple R-squared:  0.1687, Adjusted R-squared:  0.02205  
F-statistic:  1.15 on 3 and 17 DF, p-value: 0.3574
```

Procediamo con l'analisi dei dati per quanto riguarda la Svizzera e presentiamo di seguito l'output di R.

Output dei dati – Ammoniaca – Svizzera

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.0178324 -0.0024037 -0.0002212  0.0016181  0.0140130

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -5.928e-02  9.725e-02  -0.610  0.550232
x1           2.436e+00  6.684e+00   0.364  0.720053
x2           2.412e-07  5.992e-07   0.402  0.692346
x3           3.967e-01  9.048e-02   4.384  0.000405 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.007982 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5864, Adjusted R-squared:  0.5135
F-statistic: 8.036 on 3 and 17 DF, p-value: 0.001498
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.93584, p-value = 0.1802
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 16.873, df = 12, p-value = 0.1544
```

Anche in questo caso, la presenza dell'effetto di scala è ben visibile, data la significatività del coefficiente che riassume il tasso di crescita del prodotto interno lordo pro-capite in termini reali.

Procediamo con l'analisi dei dati inerenti il Regno Unito e presentiamo di seguito l'output di R: non risultano coefficienti significativi per questo Paese.

Output dei dati – Ammoniaca – Regno Unito

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.03387 -0.01394 -0.00709  0.01328  0.03996

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.206e-01  2.439e-01  -0.904   0.378
x1           2.842e+01  3.210e+01   0.886   0.388
x2          -6.004e-06  2.608e-05  -0.230   0.821
x3           4.665e-06  1.330e-05   0.351   0.730

Residual standard error: 0.02307 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.06677, Adjusted R-squared:  -0.09792
F-statistic: 0.4054 on 3 and 17 DF,  p-value: 0.751
```

Presentiamo, infine, il caso degli Stati Uniti, per completare la nostra analisi di regressione.

Output dei dati – Ammoniaca – Regno Unito

```
Call:
lm(formula = y1 ~ x1 + x2 + x3)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.73453 -0.02144  0.03171  0.06413  0.25597

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -0.2557     0.1247  -2.050  0.0561 .
x1            17.9619     8.8588   2.028  0.0586 .
x2             0.4008     2.1499   0.186  0.8543
x3            -0.5463     3.1639  -0.173  0.8649
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: res.std
W = 0.69941, p-value = 2.707e-05
```

Box-Ljung test

```
data: res.std
X-squared = 4.6997, df = 12, p-value = 0.9673
```

3.6 – Risultati delle analisi

Nelle precedenti pagine abbiamo eseguito numerose regressioni multivariate che miravano alla verifica dell'effettiva esistenza dei due effetti mostrati nel capitolo due attraverso l'analisi del modello di Criado e Stengos.

Dalle nostre evidenze, esiste un effetto di scala e quindi un rapporto di tipo diretto tra il tasso di crescita dell'economia ed il tasso di crescita dell'inquinamento ma, attualmente non possiamo sostenere l'esistenza di un rapporto inverso tra il tasso di crescita dell'inquinamento e l'accumulazione di agente inquinante nell'ambiente. Possiamo inoltre asserire che non sempre l'effetto di scala può essere evinto dai dati, infatti la tabella dei risultati inerenti le regressioni per il controllo della presenza di ammoniaca mostrano alcuni dati discordanti, mostrati in colore giallo.

Conclusion

L'economia ambientale ha raggiunto un livello analitico notevole anche se il suo inserimento nella letteratura economica, rispetto ad altre scienze, è recente e c'è ancora molto da studiare e molti passi devono ancora essere fatti per comprendere appieno le dinamiche che intervengono nell'economia quando si inseriscono nell'utilità del consumatore o nella funzione di produzione delle imprese le componenti ambientali ed i loro effetti. Nel nostro lavoro abbiamo voluto approfondire la visione di due studiosi, Criado e Stengos, e del loro modello che ha identificato, dal punto di vista analitico, due effetti prodotti dall'accumulazione dell'inquinamento nel tempo.

Il primo effetto è quello difensivo, che rappresenta un rapporto inverso tra l'accumulazione dell'agente inquinante ed il tasso di crescita dell'inquinamento, intuizione basata sull'ipotesi di una progressiva stabilizzazione nel tempo dell'agente inquinante e della sua totale presenza nel sistema economico. Il secondo effetto è quello di scala, che si riferisce alla relazione diretta tra il tasso di crescita dell'economia ed il tasso di crescita dell'inquinamento: dato che non vi può essere produzione senza inquinamento, tale relazione è molto più intuitiva della prima. I due effetti sono ovviamente contrapposti: sta alla valutazione empirica stabilire quale di essi (e in quale caso) un effetto prevale sull'altro.

I modelli che, in generale, hanno inserito dal punto di vista analitico, la tematica ambientale all'interno delle loro equazioni, riguardano tutte le macrocategorie dei modelli di crescita endogena che abbiamo studiato durante gli anni in cui tali teorie si sono sviluppate e raffinate. Partendo dai modelli convessi, infatti, possiamo osservare che il tasso di crescita di un'economia è tanto maggiore quanto più alta è la produttività, più basso è il tasso di preferenza intertemporale, più alta è l'elasticità di sostituzione intertemporale del consumo e più bassa è l'elasticità di sostituzione intertemporale della componente ambientale. Di fronte ad un'elasticità di sostituzione elevata, infatti, il futuro diviene più importante del passato e quindi il tasso di crescita attuale si riduce, a favore di una crescita di tipo sostenibile.

Nei modelli di crescita endogena che invece sfruttano il concetto di capitale umano, vi sono due possibilità. La prima è che le esternalità dovute all'accumulazione del capitale umano siano nulle: in questo caso il tasso di crescita ottimo è uguale al tasso di crescita

di mercato. Ma se tali esternalità non sono nulle, allora il tasso di crescita ottimo può essere differente rispetto a quello del mercato: se il tasso di sostituzione intertemporale è basso allora il primo sarà minore del secondo, poiché il futuro diviene meno importante. Nel caso in cui, invece, il tasso di sostituzione intertemporale è alto, il tasso di crescita di mercato risulterà inferiore al tasso di crescita ottimo.

Infine, nei modelli che coinvolgono il concetto di innovazione, impostando l'analisi sulla presenza di un settore dedicato esclusivamente alla ricerca e allo sviluppo, vi sono due possibilità in termini di divergenza del tasso di mercato da quello efficiente: nel caso in cui il primo sia maggiore del secondo, riscontreremo lievi esternalità ambientali, elevata elasticità di sostituzione intertemporale e basso grado di potere monopolistico. In caso contrario, invece, rileveremo elevate esternalità ambientali, elevata elasticità di sostituzione intertemporale e un alto grado di potere monopolistico.

Nell'ultima parte del nostro lavoro abbiamo effettuato numerose regressioni al fine di valutare l'eventuale effettiva presenza degli effetti difensivo e di scala per quanto riguarda due principali agenti inquinanti dell'aria: il monossido di carbonio e l'ammoniaca. Trattandosi entrambi di agenti tossici per l'uomo ed oggetto di numerosi interventi al fine di ridurre la presenza totale dell'inquinante nel sistema economico, è sembrato interessante procedere alla verifica dei due effetti sulla base delle serie storiche che coinvolgessero alcuni tra i più importanti Stati dell'Unione Europea e del Nord America. Dalla nostra ricerca è emersa una significativa presenza dell'effetto di scala mentre non abbiamo riscontrato la presenza dell'effetto difensivo in termini di relazione indiretta tra tasso di crescita dell'inquinante e la sua accumulazione nel tempo: abbiamo invece riscontrato l'effetto opposto.

Bibliografia

Abramovitz M. (1956), *Resource and Output Trends in the U.S. since 1870*, The American Economic Review, Vol. 46, No. 2, pp. 5-23.

Aghion P., Howitt P. (1998), *Endogenous Growth Theory*, MIT Press.

Albasha E., Roe T. (1995), *Environment in Three Classes of Endogenous Growth Models*, Economic Development Center, Department of Economics, University of Minnesota, Bulletin No. 95-6.

Alstine J., Neumayer E. (2010), *The Environmental Kutznes curve*, in Gallagher K. P., *Handbook on Trade and The Environment*, Elgar original reference, Edward Elgar, Cheltenham, UK.

Barro R. (1996), *Health, Human Capital and Economic Growth*, World Health Organization.

Barro R., Lee J. (2013), *A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950-2010*, Journal of Development Economics, Vol. 104, pp. 184-198.

Becker G. S., Lewis H. G., *On the Interaction Between the Quantity and Quality of Children*, Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 2, pp. S279-S288.

Bithas K. (2011), *Sustainability and Externalities: Is The Internalization of Externalities a Sufficient Condition for Sustainability?*, Ecological Economics, Vol. 70, pp. 1703-1706.

Bloom D. E., Danning D. (2003), *The Health and Poverty of Nations: From Theory to Practice*, Journal of Human Development, Vol. 4, No. 1, pp. 47-71.

Bloom D. E., Danning D., Sevilla J. (2004), *The Effect of Health on Economic Growth: A Production Function Approach*, World Development, Vol. 32, No. 1, pp. 1-13.

Bovenberg A. L., Smulders J. (1995), *Environmental Quality and Pollution-Augmenting Technological Change in a Two-Sector Endogenous Growth Model*, Journal of Public Economics, Vol. 57, No. 3, pp. 353-360.

Brock W. A. (1973), *A Polluted Golden Age*. In: Smith, V. L. (Ed.), *Economics of Natural and Environmental Resource*, Gordon & Breach, New York, pp. 441-461.

Case A., Fertig A., Paxson C. (2005), *The Lasting Impact of Childhood Health and Circumstance*, Journal of Health Economics, Vol. 24, No. 2, pp. 365-389.

Cole M. A. (2004), *Trade, the Pollution Haven Hypothesis and th Environmental Kutznes Curve: Examining the Linkages*, Ecological Economics, Vol. 48, No. 1, pp. 71-81

Cunha F., Heckman J. (2007), *The Technology of Skill Formation*, American Economic Review, Vol. 97, No. 2, pp. 31-47.

Currie J., Mandrian BC (1999), Vol. 3, Parte C, Capitolo 50, pp. 3309-3416.

Currie J., Rosemary H. (1999), *Is The Impact of Health Shocks Cushioned by Socioeconomic Status? The Case of Low Birthweight*, American Economic Review, Vol. 89, No. 2, pp. 245-250.

Currie J., Stabile M. (2006), *Child Mental Health and Human Capital Accumulation: The Case of ADHD*, Journal of Health Economics, Vol. 25, No. 6, pp. 1094-1118.

Daly H. (1990), *Commentary: Toward Some Operational Principles of Sustainable Development*, Ecological Economics, Vol. 2, pp. 1-6.

Daly H. (1991), *Elements of Environmental Macroeconomics*, Capitolo 3 in Costanza R., *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, Columbia University Press, New York.

De Long J. B., Summers L. H., Abel A. B., *Equipment Investment and Economic Growth: How Strong is the Nexus?*, Brooking Papers of Economic Activity, Vol. 1992, No. 2, pp. 157-211.

Dinda S. (2004), *Environmental Kutznes Curve Hypotesis: A Survey*, Ecological Economics, Vol. 49, pp. 431-455.

Feenstra R. C. (2004), *The Heckscher-Ohlin Model*, Advanced International Trade: Theory and Evidence. Princeton University Press, pp. 31-63.

Grossman M. (2000), *The Human Capital Model*, Handbook of Health Economics, Vol. 1, Parte A, Capitolo 7, pp. 347-408.

Grossman G. M., Helpman A. B. (1993), *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*, in P. Garber, *The US-Mexico Free Trade Agreement*, MIT Press, Cambridge, MA.

Grossman G., Helpman E. (1994), *Endogenous Innovation in the Theory of Growth*, Journal of Economic Perspective, Vol. 8, pp. 23-44.

Halkos G. E. (2013), *Exploring the Economy- Environment Relationship in the Case of Sulphur Emissions*, Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 56, No. 2, pp. 159-177.

Harris J. M., Codur A. M. (2004), *Macroeconomics and Environment*, Global Development and Environment Institute, Boston, MA, USA.

Heilbroner R. (1953), *The Wordly Philosopher: The Lives, Times and Ideas of the Great Economic Thinkers*, Simon & Schuster.

- Heyes A. (2000), *A Proposal for Greening of Textbook Macro: IS-LM-EE*, Ecological Economics, Vol. 32, pp. 1-7.
- Inada K. (1963), *On a Two-Sector Model of Economic Growth: Comments and a Generalization*, The Review of Economic Studies, Vol. 30, No. 2, pp. 119-127.
- Islam F., Lopez R. (2015), *Government Spending and Air Pollution in the U.S.*, International Review of Environmental and Resource Economics, Vol. 8, No. 2, pp. 139-189.
- Janicke M., Binder M., Monch H. (1997), *Dirty Industries: Patterns of Change in Industrial Countries*, Environmental and Resource Economics, Vol. 9, pp. 467-491.
- Jones L., Manuelli R. (1990), *A Convex Model of Equilibrium Growth: Theory and Policy*, Journal of Political Economy, Vol. 98, pp. 1008-1038.
- Jorgenson D. W., *The Development of a Dual Economy*, The Economic Journal, Vol. 71, No. 282, pp. 309-334.
- Kyriacou, G. A., (1991), *Level and Growth Effects of Human Capital: A Cross-Country Study of the Convergence Hypothesis*, WP 91-26, C.V. Starr Center for Applied Economics, New York University.
- Krugman P. (1990), *Increasing Returns and Economic Geography*, NBER Working Papers 3275, National Bureau of Economic Research.
- Krugman P. (1993), *Inequality and the Political Economy of Eurosclerosis*, CEPR Discussion Papers 867.
- Kwabena G. B., Wilson M. (2004), *Health Human Capital and Economic Growth in Sub-Saharan African and OECD Countries*, The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol. 44, No. 2, pp. 296-320.
- Kumbhakar S. C., Tsionas E. G. (2016), *The Good, The Bad and the Technology: Endogeneity in Environmental Models*, Journal of Econometrics, Volume 190, No. 2, pp. 315-327.
- Kuznets S. (1955), *Economic Growth and Income Inequality*, American Economic Review, Vol 49, pp. 1-28.
- Lewis W. A. (1954), *Economic Development with Unlimited Supplies of Labour*, The Manchester School, Vol. 22, No. 2, pp. 139-191.
- Lopez R., Thomas V., Wang I. (2010), *The Quality of Growth: Fiscal Policies for Better Results*, IEG World Bank.
- Lucas R. E. (1988), *On the Mechanism of Economic Development*, Journal of Monetary Economics, Vol. 22, pp. 3-42.
- Malthus T. (1798), *An Essay on the Principle of Population*, W. Pickering, London, 1986.

- Meier G. M., Baldwin R. E. (1975), *Economic Development*, John Wiley & Son Ltd.
- Murphy K., Schleifer A., Vishny R. (1989), *Income Distribution, Market Size, and Industrialization*, *The Quarterly Journal of Economics*, No. 104, pp. 537-564.
- Nehru V., Swanson E. & Dubey A., (1993), *A new database on human capital stock: sources, methodology and results*, Policy Research Working Paper Series 1124, The World Bank.
- Nurkse R. (1952), *Some International Aspects of the Problem of Economic Development*, *The American Economic Review*, Vol. 42, No. 2, pp. 571-583.
- Okun B., Richardson R. W. (1964), *Studies in Economic Development*, Holt, Rinehart e Winston.
- Panayotou T. (1993), *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development*, WP 238, Geneva: Technology and Employment Programme, International Labour Office.
- Psacharopoulos G., Arriagada A. M. (1986), *The Educational Composition of the Labour Force: An International Comparison*, *International Labour Review*, Vol. 125, No. 5, pp. 561 ss..
- Rebelo S. (1991), *Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth*, *Journal of Political Economy*, Vol. 99, pp. 500-521.
- Romer P. (1986), *Increasing Return and Long-Run Growth*, *The Journal of Policy Economy*, Vol. 94, No. 5, pp. 1002-1037.
- Romer P. (1990), *Endogenous Technological Change*, *Journal of Political Economy*, Vol. 98, pp. S71-S102.
- Rosenstein-Rodan P. N. (1964), *Capital formation and economic development*, Routledge Library Edition: Development.
- Sala-i-Martin X. X., Mulligan C. B., *Measuring Aggregate Human Capital*, WP No. 273, EconStor.
- Smith A. (1975), *La Ricchezza delle Nazioni*, Grandi Tascabili Economici Newton, Roma.
- Smith J. P. (1999), *Healthy Bodies and Thick Wallets: The Dual Relation Between Health and Economic Status*, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 13, No. 2, pp. 145-1666.
- Solow R. (1961), *A Contribution to Theory of Economic Growth*, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, No. 1, pp. 65-94.
- Stengos T., Kottaridi C. (2008), *Foreign Direct Investment, Human Capital and Nonlinearities in Economic Growth*, WP 20-08, The Rimini Centre for Economic Analysis.

Strauss J., Duncan T. (1998), *Health, Nutrition, and Economic Development*, Journal of Economic Literature, Vol. 36, No. 2, pp. 766-817.

Thomas D, Frankengerg E. (2002), *Health, Nutrition and Prosperity, A Microeconomic Perspective*, Bulletin of the World Health Organization, Vol. 80, pp. 106-113.

Van der Ploeg F., Withagen C. (1991), *Pollution Control and the Ramsey Problem*, Environmental and Resource Economics, Vol. 1, No. 2, pp. 215-236.

Xepapadeas A. (2005), *Economic Growth and the Environment*, in Maler K. G., Vincent J. R., *Handbook of Environmental Economics*, Edizione 1, Volume 3, Capitolo 23, pp. 1219-1271, Elsevier.

Zhu Q., Peng X. (2012), *The Impacts of Population Change on Carbon Emission in China 1978-2008*, Environmental Impact Assessment Review, Vol. 36, pp. 1-8.

Monossido di carbonio – Dati Grezzi

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	1287,196	1286,651	1216,868	1151,04	1085,655	987,992	993,633	924,174	886	784,15	785,938	763,544	731,036	735,48	716,681	687,969	666,795	628,351	604,492	570,025	582,908	564,854	565,144	585,737	538,342	567,132
Belgium	1412,653	1372,018	1344,176	1257,691	1143,7	1129,103	1104,916	1005,8	963,388	887,093	944,053	897,543	885,274	855,916	817,144	771,075	718,821	674,818	672,936	4457,1	520,951	414,898	367,302	548,519	346,804	397,651
Canada	12155,148	11855,728	11761,321	12021,258	11754,938	11418,268	11160,76	10938,093	11057,308	10849,619	10612,147	9801,07	9674,894	9377,866	8804,54	7857,008	7373,3	7078,293	6907,171	6534,927	6419,869	6037,12	5836,711	5716,796	5696,711	5582,779
Denmark	741,371	768,297	749,87	735,419	694,72	661,583	641,012	594,848	557,044	509,339	489,018	481,789	462,771	469,238	459,149	463,405	453,229	460,077	439,712	410,843	407,654	370,906	354,764	342,4	316,008	326,993
Finland	723,535	693,353	666,258	636,503	621,372	606,927	631,318	625,012	616,261	570,89	569,958	565,075	553,824	524,677	509,687	477,581	458,796	445,187	428,058	396,762	412,097	383,607	381,424	368,171	343,494	324,572
Germany	12499,659	10272,538	8888,393	8090,534	6734,61	6438,92	5986,89	5850,637	5408,251	5064,671	4793,556	4617,246	4343,613	4162,79	3926,668	3721,916	3625,737	3507,58	3403,005	2956,835	3322,277	3234,859	2860,535	2833,222	2719,907	2682,922
Hungary	1372,428	1251,606	964,568	1036,41	928,873	890,932	860,154	799,123	717,801	706,299	554,498	578,903	454,907	584,852	547,03	485,944	547,114	526,541	388,645	513,793	469,633	534,079	554,634	546,566	465,326	457,65
Italy	7246,139	7592,749	7711,672	7801,243	7374,714	7296,573	6996,246	6550,987	6082,067	5629,859	4919,171	4459,505	3887,749	3934,816	3393,609	3429,812	3281,995	3348,271	3475,897	3094,843	3058,595	2415,586	2659,612	2488,762	2258,025	2355,784
Latvia	386,256	354,704	328,826	333,802	319,81	292,047	295,282	269,426	253,197	244,959	231,908	239,039	228,646	230,028	220,623	202,562	203,009	185,281	171,538	182,195	146,885	152,037	156,672	142,039	136,781	131,189
Lithuania	461,385	543,35	334,736	287,539	237,792	284,438	300,16	315,583	300,768	275,173	207,468	207,641	206,372	207,237	190,89	194,207	191,251	177,599	176,1	172,232	175,487	158,429	161,814	142,861	136,663	126,615
Netherlands	1143,224	1044,339	1004,056	978,117	926,205	917,671	900,045	849,932	816,78	787,822	751,563	749,86	742,168	734,286	743,231	723,199	733,693	721,645	725,801	676,704	675,385	653,269	620,08	590,124	562,551	569,954
Norway	824,706	774,071	738,567	748,271	744,288	723,326	703,272	694,655	669,555	643,902	625,021	607,183	599,569	574,903	546,231	549,168	523,08	508,277	494,887	446,345	458,904	433,29	426,389	396,757	376,647	382,502
Poland	3593,081	4127,406	4130,449	4639,667	4405,179	4386,003	4505,444	4246,486	3717,224	3734,248	3208,665	3062,225	3076,816	2990,488	3058,612	3051,295	3209,99	2966,651	2974,311	2895,493	3057,103	2770,531	2786,892	2649,659	2407,023	2401,347
Spain	4781,51	4581,706	4679,758	4593,093	4362,618	4042,062	4039,522	3808,512	3743,767	3587,249	2935,704	2522,743	2361,586	2263,823	2188,66	2107,504	1978,103	1965,325	1845,898	1687,851	1759,755	1718,272	1663,088	1627,484	1644,563	1643,22
Switzerland	798,188	763,737	711,262	625,89	574,924	533,397	514,536	485,266	465,106	452,155	425,767	405,107	377,648	366,135	347,657	331,08	306,799	287,766	276,764	259,984	249,3	227,985	220,851	213,203	195,111	186,15
United Kingdom	7377,312	7467,535	7087,215	6789,584	6404,856	5961,615	5995,395	5345,06	4982,127	4652,111	4042,582	4102,697	3647,606	3326,103	3157,616	2920,772	2782,268	2573,521	2434,179	2053,339	1967,391	1791,838	1771,637	1770,632	1709,16	1645,127
United States	139878	133475	127821	123289	121165	115012	116900	106968	104673	103912	103844	96401	84804	80730	76651	73162	70704	68247	61195	54933	55857	55394	52948	50502	50502	46088

Monossido di carbonio – Tasso di crescita

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	-0,00042	-0,05424	-0,05410	-0,05681	-0,08996	0,00571	-0,06990	-0,04131	-0,11495	0,00228	-0,02849	-0,04258	0,00608	-0,02556	-0,04006	-0,03078	-0,05765	-0,03797	-0,05702	0,02260	-0,03097	0,00051	0,03644	-0,08092	0,05348
Belgium	-0,02877	-0,02029	-0,06434	-0,09064	-0,01276	-0,02142	-0,08970	-0,04217	-0,07919	0,06421	-0,04927	-0,01367	-0,03316	-0,04530	-0,05638	-0,06777	-0,06122	-0,00279	5,62336	-0,88312	-0,20358	-0,11472	0,49337	-0,36774	0,14662
Canada	-0,02463	-0,00796	0,02210	-0,02215	-0,02864	-0,02255	-0,01995	0,01090	-0,01878	-0,02189	-0,07643	-0,01287	-0,03070	-0,06114	-0,10762	-0,06156	-0,04001	-0,02418	-0,05389	-0,01761	-0,05962	-0,03320	-0,02054	-0,00351	-0,02000
Denmark	0,03632	-0,02398	-0,01927	-0,05534	-0,04770	-0,03109	-0,07202	-0,06355	-0,08564	-0,03990	-0,01478	-0,03947	0,01397	-0,02150	0,00927	-0,02196	0,01511	-0,04426	-0,06565	-0,00776	-0,09015	-0,04352	-0,03485	-0,07708	0,03476
Finland	-0,04171	-0,03908	-0,04466	-0,02377	-0,02325	0,04019	-0,00999	-0,01400	-0,07362	-0,00163	-0,00857	-0,01991	-0,05263	-0,02857	-0,06299	-0,03933	-0,02966	-0,03848	-0,07311	0,03865	-0,06913	-0,00569	-0,03475	-0,06703	-0,05509
Germany	-0,17817	-0,13474	-0,08976	-0,16759	-0,04391	-0,07020	-0,02276	-0,07561	-0,06353	-0,05353	-0,03678	-0,05926	-0,04163	-0,05672	-0,05214	-0,02584	-0,03259	-0,02981	-0,13111	0,12359	-0,02631	-0,11572	-0,00955	-0,04000	-0,01360
Hungary	-0,08804	-0,22934	0,07448	-0,10376	-0,04085	-0,03455	-0,07095	-0,10176	-0,01602	-0,21492	0,04401	-0,21419	0,28565	-0,06467	-0,11167	0,12588	-0,03760	-0,26189	0,32201	-0,08595	0,13723	0,03849	-0,01455	-0,14864	-0,01650
Italy	0,04783	0,01566	0,01161	-0,05467	-0,01060	-0,04116	-0,06364	-0,07158	-0,07435	-0,12624	-0,09344	-0,12821	0,01211	-0,13754	0,01067	-0,04310	0,02019	0,03812	-0,10963	-0,01171	-0,21023	0,10102	-0,06424	-0,09271	0,04329
Latvia	-0,08169	-0,07296	0,01513	-0,04192	-0,08681	0,01108	-0,08756	-0,06024	-0,03254	-0,05328	0,03075	-0,04348	0,00604	-0,04089	-0,08186	0,00221	-0,08733	-0,07417	0,06213	-0,19380	0,03508	0,03049	-0,09340	-0,03702	-0,04088
Lithuania	0,17765	-0,38394	-0,14100	-0,17301	0,19616	0,05527	0,05138	-0,04694	-0,08510	-0,24605	0,00083	-0,00611	0,00419	-0,07888	0,01738	-0,01522	-0,07138	-0,00844	-0,02196	0,01890	-0,09720	0,02137	-0,11713	-0,04338	-0,07352
Netherlands	-0,08650	-0,03857	-0,02583	-0,05307	-0,00921	-0,01921	-0,05568	-0,03901	-0,03545	-0,04602	-0,00227	-0,01026	-0,01062	0,01218	-0,02695	0,01451	-0,01642	0,00576	-0,06765	-0,00195	-0,03275	-0,05080	-0,04831	-0,04672	0,01316
Norway	-0,06140	-0,04587	0,01314	-0,00532	-0,02816	-0,02772	-0,01225	-0,03613	-0,03831	-0,02932	-0,02854	-0,01254	-0,04114	-0,04987	0,00538	-0,04750	-0,02830	-0,02634	-0,09809	0,02814	-0,05582	-0,01593	-0,06950	-0,05069	0,01555
Poland	0,14871	0,00074	0,12328	-0,05054	-0,00435	0,02723	-0,05748	-0,12464	0,00458	-0,14075	-0,04564	0,00476	-0,02806	0,02278	-0,00239	0,05201	-0,07581	0,00258	-0,02650	0,05581	-0,09374	0,00591	-0,04924	-0,09157	-0,00236
Spain	-0,04179	0,02140	-0,01852	-0,05018	-0,07348	-0,00063	-0,05719	-0,01700	-0,04181	-0,18163	-0,14067	-0,06388	-0,04140	-0,03320	-0,03708	-0,06140	-0,00646	-0,06077	-0,08562	0,04260	-0,02357	-0,03212	-0,02141	0,01049	-0,00082
Switzerland	-0,04316	-0,06871	-0,12003	-0,08143	-0,07223	-0,03536	-0,05689	-0,04154	-0,02785	-0,05836	-0,04852	-0,06778	-0,03049	-0,05047	-0,04768	-0,07334	-0,06204	-0,03823	-0,06063	-0,04109	-0,08550	-0,03129	-0,03463	-0,08486	-0,04593
United Kingdom	0,01223	-0,05093	-0,04200	-0,05666	-0,06920	0,00567	-0,10847	-0,06790	-0,06624	-0,13102	0,01487	-0,11092	-0,08814	-0,05066	-0,07501	-0,04742	-0,07503	-0,05414	-0,15646	-0,04186	-0,08923	-0,01127	-0,00057	-0,03472	-0,03746
United States	-0,04578	-0,04236	-0,03546	-0,01723	-0,05078	0,01642	-0,08496	-0,02146	-0,00727	-0,00065	-0,07167	-0,12030	-0,04803	-0,05053	-0,04552	-0,03359	-0,03476	-0,10333	-0,10233	0,01682	-0,00829	-0,04416	-0,04620	0,00000	-0,08740

Monossido di carbonio – Dati pro-capite

Country Name	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	0,1677	0,1659	0,1552	0,1456	0,1368	0,1243	0,1248	0,1160	0,1111	0,0981	0,0981	0,0949	0,0905	0,0906	0,0877	0,0836	0,0806	0,0757	0,0726	0,0683	0,0697	0,0673	0,0670	0,0691	0,0630	0,0657
Belgium	0,1417	0,1371	0,1338	0,1247	0,1131	0,1114	0,1088	0,0988	0,0944	0,0867	0,0921	0,0873	0,0857	0,0825	0,0784	0,0736	0,0681	0,0635	0,0628	0,0413	0,0478	0,0376	0,0330	0,0491	0,0309	0,0353
Canada	0,4374	0,4208	0,4124	0,4169	0,4038	0,3890	0,3761	0,3648	0,3656	0,3557	0,3449	0,3153	0,3085	0,2961	0,2752	0,2432	0,2264	0,2152	0,2078	0,1943	0,1888	0,1758	0,1680	0,1626	0,1603	0,1558
Denmark	0,1442	0,1491	0,1450	0,1417	0,1334	0,1264	0,1218	0,1126	0,1050	0,0957	0,0916	0,0899	0,0861	0,0870	0,0850	0,0855	0,0834	0,0842	0,0800	0,0744	0,0735	0,0666	0,0634	0,0610	0,0560	0,0575
Finland	0,1451	0,1383	0,1321	0,1256	0,1221	0,1188	0,1232	0,1216	0,1196	0,1105	0,1101	0,1089	0,1065	0,1006	0,0975	0,0910	0,0871	0,0842	0,0806	0,0743	0,0768	0,0712	0,0705	0,0677	0,0629	0,0592
Germany	0,1574	0,1284	0,1102	0,0997	0,0827	0,0788	0,0731	0,0713	0,0659	0,0617	0,0583	0,0561	0,0527	0,0504	0,0476	0,0451	0,0440	0,0426	0,0414	0,0361	0,0406	0,0403	0,0356	0,0351	0,0336	0,0328
Hungary	0,1323	0,1207	0,0930	0,1001	0,0898	0,0863	0,0834	0,0777	0,0699	0,0690	0,0543	0,0568	0,0448	0,0577	0,0541	0,0482	0,0543	0,0524	0,0387	0,0513	0,0470	0,0536	0,0559	0,0552	0,0472	0,0465
Italy	0,1278	0,1338	0,1358	0,1373	0,1297	0,1284	0,1230	0,1152	0,1069	0,0989	0,0864	0,0783	0,0681	0,0687	0,0588	0,0592	0,0564	0,0573	0,0591	0,0524	0,0516	0,0407	0,0447	0,0413	0,0371	0,0388
Netherlands	0,0765	0,0693	0,0661	0,0640	0,0602	0,0594	0,0580	0,0544	0,0520	0,0498	0,0472	0,0467	0,0460	0,0453	0,0456	0,0443	0,0449	0,0441	0,0441	0,0409	0,0406	0,0391	0,0370	0,0351	0,0334	0,0336
Norway	0,1944	0,1816	0,1723	0,1735	0,1716	0,1659	0,1605	0,1577	0,1511	0,1443	0,1392	0,1345	0,1321	0,1259	0,1190	0,1188	0,1122	0,1079	0,1038	0,0924	0,0939	0,0875	0,0850	0,0781	0,0733	0,0737
Poland	0,0943	0,1079	0,1077	0,1206	0,1143	0,1136	0,1166	0,1099	0,0961	0,0966	0,0839	0,0801	0,0805	0,0783	0,0801	0,0799	0,0842	0,0778	0,0780	0,0759	0,0804	0,0728	0,0732	0,0697	0,0633	0,0632
Spain	0,1230	0,1176	0,1195	0,1167	0,1103	0,1018	0,1013	0,0951	0,0931	0,0888	0,0724	0,0618	0,0570	0,0537	0,0510	0,0483	0,0446	0,0435	0,0402	0,0364	0,0378	0,0368	0,0356	0,0349	0,0354	0,0354
Switzerland	0,1189	0,1123	0,1035	0,0902	0,0822	0,0758	0,0728	0,0685	0,0654	0,0633	0,0593	0,0560	0,0518	0,0499	0,0470	0,0445	0,0410	0,0381	0,0362	0,0336	0,0319	0,0288	0,0276	0,0264	0,0238	0,0225
United Kingdom	0,1289	0,1300	0,1231	0,1176	0,1107	0,1028	0,1031	0,0917	0,0852	0,0793	0,0686	0,0694	0,0614	0,0558	0,0526	0,0484	0,0457	0,0420	0,0394	0,0330	0,0313	0,0283	0,0278	0,0276	0,0265	0,0253
United States	0,5604	0,5276	0,4983	0,4743	0,4605	0,4319	0,4339	0,3923	0,3795	0,3724	0,3680	0,3383	0,2948	0,2783	0,2618	0,2476	0,2370	0,2266	0,2012	0,1791	0,1806	0,1777	0,1686	0,1597	0,1585	0,1436

Ammoniaca – Dati grezzi

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	66,147	67,622	65,925	66,753	68,15	69,453	68,053	68,445	68,973	67,505	66,102	66,302	65,683	65,591	65,213	65,296	65,533	66,809	66,391	67,457	66,797	66,224	66,309	66,184	66,595	66,867
Belgium	117,468	107,989	108,451	110,485	110,971	113,479	114,607	114,212	114,641	115,037	82,608	80,326	78,961	75,416	70,275	68,355	68,121	68,006	67,309	67,522	68,011	66,985	66,067	66,566	65,632	65,5
Canada	398,025	395,087	407,659	411,904	426,6	444,562	461,998	469,546	470,76	470,619	483,685	484,886	497,865	491,419	505,056	502,391	491,75	494,391	483,33	468,466	461,502	459,653	474,989	488,677	483,562	485,195
Denmark	124,674	120,502	117,946	115,827	112,81	106,247	102,896	102,563	102,757	97,553	95,714	93,972	92,494	91,655	91,08	87,555	83,904	83,065	81,518	77,613	78,166	76,526	74,712	71,971	72,153	72,759
Finland	34,084	32,381	30,999	31,368	32,306	32,739	33,837	35,236	34,549	37,055	34,094	33,657	34,959	35,719	36,031	36,529	35,863	35,658	34,819	35,089	35,284	34,294	33,686	33,133	33,487	31,824
Germany	793,08	708,701	694,355	694,121	664,175	678,535	685,725	680,63	687,991	694,575	697,672	705,955	691,742	691,254	682,861	678,13	682,758	682,995	692,172	710,354	681,429	723,242	704,76	729,518	737,369	759,265
Hungary	139,425	115,446	96,585	86,484	80,334	81,466	82,86	80,028	82,064	84,254	84,863	83,152	83,956	85,109	81,161	77,104	77,284	77,583	70,296	68,19	69,031	69,913	69,987	72,904	72,554	76,345
Italy	470,898	475,39	460,241	465,735	456,218	450,801	441,968	453,606	451,663	457,628	453,151	458,286	445,719	442,857	434,687	421,695	419,547	428,028	418,109	402,627	389,287	402,293	415,943	402,617	394,34	393,316
Latvia	43,393	40,426	30,557	20,616	18,865	18,05	18,305	17,894	17,066	15,646	15,854	15,901	15,948	16,141	15,957	16,462	16,704	17	16,707	17,224	17,206	17,155	18,024	18,285	18,786	18,757
Lithuania	65,931	64,854	43,211	35,923	34,118	33,696	33,762	33,863	32,062	30,15	28,096	29,886	31,32	31,876	31,894	32,438	32,595	31,106	30,162	30,935	30,789	29,671	29,464	28,804	29,196	28,851
Netherlands	368,792	380,666	311,918	312,608	266,381	227,144	229,414	219,254	203,769	201,143	177,93	171,581	164,139	159,956	158,558	155,532	157,617	155,33	140,959	137,906	134,898	131,016	125,29	123,644	127,39	127,596
Norway	23,746	23,418	24,684	23,802	23,239	24,188	24,881	24,138	24,882	25,424	25,338	25,407	25,83	26,828	27,044	26,688	26,693	26,469	26,569	26,932	26,693	25,973	26,4	26,371	26,555	26,678
Poland	440,83	405,505	382,729	353,391	358,038	353,037	335,434	341,088	345,907	337,258	318,278	322,351	321,722	303,812	291,372	299,066	320,396	319,341	304,972	291,037	284,042	284,219	273,872	273,155	269,184	267,101
Spain	447,938	436,504	438,289	414,03	436,92	428,91	460,567	465,1	481,87	494,936	522,209	525,835	518,661	529,6	525,623	495,328	479,637	492,944	448,354	445,202	447,214	438,435	429,658	435,983	455,376	476,186
Switzerland	73,366	72,4	71,835	70,99	70,855	70,008	69,734	67,578	67,094	65,665	66,178	65,951	64,75	63,789	63,495	64,132	64,393	65,077	65,215	63,903	63,714	62,752	62,025	61,185	61,588	60,664
United Kingdom	325,696	328,128	323,365	324,363	325,539	324,699	335,697	344,631	339,956	336,37	326,363	320,335	315,823	308,628	312,856	307,349	303,417	294,262	280,718	280,558	282,461	284,011	279,621	277,038	288,023	292,838
United States	3918	3975	4031	4099	4163	4227	4289	4372	4481	4406	4453	3348	3417,852	3398,869	3379,886	3446,754	3578,477	3710,2	3772,611	3735	3695	3655	3,655	3,654	3,359	3,352

Ammoniaca – Tasso di crescita

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	0,02230	-0,02510	0,01256	0,02093	0,01912	-0,02016	0,00576	0,00771	-0,02128	-0,02078	0,00303	-0,00934	-0,00140	-0,00576	0,00127	0,00363	0,01947	-0,00626	0,01606	-0,00978	-0,00858	0,00128	-0,00189	0,00621	0,00408
Belgium	-0,08069	0,00428	0,01876	0,00440	0,02260	0,00994	-0,00345	0,00376	0,00345	-0,28190	-0,02762	-0,01699	-0,04490	-0,06817	-0,02732	-0,00342	-0,00169	-0,01025	0,00316	0,00724	-0,01509	-0,01370	0,00755	-0,01403	-0,00201
Canada	-0,00738	0,03182	0,01041	0,03568	0,04211	0,03922	0,01634	0,00259	-0,00030	0,02776	0,00248	0,02677	-0,01295	0,02775	-0,00528	-0,02118	0,00537	-0,02237	-0,03075	-0,01487	-0,00401	0,03336	0,02882	-0,01047	0,00338
Denmark	-0,03346	-0,02121	-0,01797	-0,02605	-0,05818	-0,03154	-0,00324	0,00189	-0,05064	-0,01885	-0,01820	-0,01573	-0,00907	-0,00627	-0,03870	-0,04170	-0,01000	-0,01862	-0,04790	0,00713	-0,02098	-0,02370	-0,03669	0,00253	0,00840
Finland	-0,04996	-0,04268	0,01190	0,02990	0,01340	0,03354	0,04135	-0,01950	0,07253	-0,07991	-0,01282	0,03868	0,02174	0,00873	0,01382	-0,01823	-0,00572	-0,02353	0,00775	0,00556	-0,02806	-0,01773	-0,01642	0,01068	-0,04966
Germany	-0,10639	-0,02024	-0,00034	-0,04314	0,02162	0,01060	-0,00743	0,01081	0,00957	0,00446	0,01187	-0,02013	-0,00071	-0,01214	-0,00693	0,00682	0,00035	0,01344	0,02627	-0,04072	0,06136	-0,02555	0,03513	0,01076	0,02969
Hungary	-0,17198	-0,16338	-0,10458	-0,07111	0,01409	0,01711	-0,03418	0,02544	0,02669	0,00723	-0,02016	0,00967	0,01373	-0,04639	-0,04999	0,00233	0,00387	-0,09393	-0,02996	0,01233	0,01278	0,00106	0,04168	-0,00480	0,05225
Italy	0,00954	-0,03187	0,01194	-0,02043	-0,01187	-0,01959	0,02633	-0,00428	0,01321	-0,00978	0,01133	-0,02742	-0,00642	-0,01845	-0,02989	-0,00509	0,02021	-0,02317	-0,03703	-0,03313	0,03341	0,03393	-0,03204	-0,02056	-0,00260
Latvia	-0,06838	-0,24413	-0,32533	-0,08493	-0,04320	0,01413	-0,02245	-0,04627	-0,08321	0,01329	0,00296	0,00296	0,01210	-0,01140	0,03165	0,01470	0,01772	-0,01724	0,03095	-0,00105	-0,00296	0,05066	0,01448	0,02740	-0,00154
Lithuania	-0,01634	-0,33372	-0,16866	-0,05025	-0,01237	0,00196	0,00299	-0,05318	-0,05963	-0,06813	0,06371	0,04798	0,01775	0,00056	0,01706	0,00484	-0,04568	-0,03035	0,02563	-0,00472	-0,03631	-0,00698	-0,02240	0,01361	-0,01182
Netherlands	0,03220	-0,18060	0,00221	-0,14788	-0,14730	0,00999	-0,04429	-0,07063	-0,01289	-0,11541	-0,03568	-0,04337	-0,02548	-0,00874	-0,01908	0,01341	-0,01451	-0,09252	-0,02166	-0,02181	-0,02878	-0,04370	-0,01314	0,03030	0,00162
Norway	-0,01381	0,05406	-0,03573	-0,02365	0,04084	0,02865	-0,02986	0,03082	0,02178	-0,00338	0,00272	0,01665	0,03864	0,00805	-0,01316	0,00019	-0,00839	0,00378	0,01366	-0,00887	-0,02697	0,01644	-0,00110	0,00698	0,00463
Poland	-0,08013	-0,05617	-0,07665	0,01315	-0,01397	-0,04986	0,01686	0,01413	-0,02500	-0,05628	0,01280	-0,00195	-0,05567	-0,04095	0,02641	0,07132	-0,00329	-0,04500	-0,04569	-0,02403	0,00062	-0,03641	-0,00262	-0,01454	-0,00774
Spain	-0,02553	0,00409	-0,05535	0,05529	-0,01833	0,07381	0,00984	0,03606	0,02712	0,05510	0,00694	-0,01364	0,02109	-0,00751	-0,05764	-0,03168	0,02774	-0,09046	-0,00703	0,00452	-0,01963	-0,02002	0,01472	0,04448	0,04570
Switzerland	-0,01317	-0,00780	-0,01176	-0,00190	-0,01195	-0,00391	-0,03092	-0,00716	-0,02130	0,00781	-0,00343	-0,01821	-0,01484	-0,00461	0,01003	0,00407	0,01062	0,00212	-0,02012	-0,00296	-0,01510	-0,01159	-0,01354	0,00659	-0,01500
United Kingdom	0,00747	-0,01452	0,00309	0,00363	-0,00258	0,03387	0,02661	-0,01357	-0,01055	-0,02975	-0,01847	-0,01409	-0,02278	0,01370	-0,01760	-0,01279	-0,03017	-0,04603	-0,00057	0,00678	0,00549	-0,01546	-0,00924	0,03965	0,01672
United States	0,01455	0,01409	0,01687	0,01561	0,01537	0,01467	0,01935	0,02493	-0,01674	0,01067	-0,24815	0,02086	-0,00555	-0,00559	0,01978	0,03822	0,03681	0,01682	-0,00997	-0,01071	-0,01083	-0,99900	-0,00027	-0,08073	-0,00208

Ammoniaca – Valori pro-capite

Country Name	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	0,0086	0,0087	0,0084	0,0084	0,0086	0,0087	0,0086	0,0086	0,0086	0,0084	0,0083	0,0082	0,0081	0,0081	0,0080	0,0079	0,0079	0,0081	0,0080	0,0081	0,0080	0,0079	0,0079	0,0078	0,0078	0,0077
Belgium	0,0118	0,0108	0,0108	0,0110	0,0110	0,0112	0,0113	0,0112	0,0112	0,0112	0,0081	0,0078	0,0076	0,0073	0,0067	0,0065	0,0065	0,0064	0,0063	0,0063	0,0062	0,0061	0,0059	0,0060	0,0059	0,0058
Canada	0,0143	0,0140	0,0143	0,0143	0,0147	0,0151	0,0156	0,0157	0,0156	0,0154	0,0157	0,0156	0,0159	0,0155	0,0158	0,0155	0,0151	0,0150	0,0145	0,0139	0,0136	0,0134	0,0137	0,0139	0,0136	0,0135
Denmark	0,0243	0,0234	0,0228	0,0223	0,0217	0,0203	0,0196	0,0194	0,0194	0,0183	0,0179	0,0175	0,0172	0,0170	0,0169	0,0162	0,0154	0,0152	0,0148	0,0141	0,0141	0,0137	0,0134	0,0128	0,0128	0,0128
Finland	0,0068	0,0065	0,0061	0,0062	0,0063	0,0064	0,0066	0,0069	0,0067	0,0072	0,0066	0,0065	0,0067	0,0069	0,0069	0,0070	0,0068	0,0067	0,0066	0,0066	0,0066	0,0064	0,0062	0,0061	0,0061	0,0058
Germany	0,0100	0,0089	0,0086	0,0086	0,0082	0,0083	0,0084	0,0083	0,0084	0,0085	0,0085	0,0086	0,0084	0,0084	0,0083	0,0082	0,0083	0,0083	0,0084	0,0087	0,0083	0,0090	0,0088	0,0090	0,0091	0,0093
Hungary	0,0134	0,0111	0,0093	0,0083	0,0078	0,0079	0,0080	0,0078	0,0080	0,0082	0,0083	0,0082	0,0083	0,0084	0,0080	0,0076	0,0077	0,0077	0,0070	0,0068	0,0069	0,0070	0,0071	0,0074	0,0074	0,0078
Italy	0,0083	0,0084	0,0081	0,0082	0,0080	0,0079	0,0078	0,0080	0,0079	0,0080	0,0080	0,0080	0,0078	0,0077	0,0075	0,0073	0,0072	0,0073	0,0071	0,0068	0,0066	0,0068	0,0070	0,0067	0,0065	0,0065
Netherlands	0,0247	0,0253	0,0205	0,0204	0,0173	0,0147	0,0148	0,0140	0,0130	0,0127	0,0112	0,0107	0,0102	0,0099	0,0097	0,0095	0,0096	0,0095	0,0086	0,0083	0,0081	0,0078	0,0075	0,0074	0,0076	0,0075
Norway	0,0056	0,0055	0,0058	0,0055	0,0054	0,0055	0,0057	0,0055	0,0056	0,0057	0,0056	0,0056	0,0057	0,0059	0,0059	0,0058	0,0057	0,0056	0,0056	0,0056	0,0055	0,0052	0,0053	0,0052	0,0052	0,0051
Poland	0,0116	0,0106	0,0100	0,0092	0,0093	0,0091	0,0087	0,0088	0,0089	0,0087	0,0083	0,0084	0,0084	0,0080	0,0076	0,0078	0,0084	0,0084	0,0080	0,0076	0,0075	0,0075	0,0072	0,0072	0,0071	0,0070
Spain	0,0115	0,0112	0,0112	0,0105	0,0110	0,0108	0,0115	0,0116	0,0120	0,0123	0,0129	0,0129	0,0125	0,0126	0,0122	0,0113	0,0108	0,0109	0,0098	0,0096	0,0096	0,0094	0,0092	0,0094	0,0098	0,0103
Switzerland	0,0109	0,0106	0,0104	0,0102	0,0101	0,0099	0,0099	0,0095	0,0094	0,0092	0,0092	0,0091	0,0089	0,0087	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0085	0,0083	0,0081	0,0079	0,0078	0,0076	0,0075	0,0073
United Kingdom	0,0057	0,0057	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	0,0058	0,0059	0,0058	0,0057	0,0055	0,0054	0,0053	0,0052	0,0052	0,0051	0,0050	0,0048	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0044	0,0043	0,0045	0,0045
United States	0,0157	0,0157	0,0157	0,0158	0,0158	0,0159	0,0159	0,0160	0,0162	0,0158	0,0158	0,0117	0,0119	0,0117	0,0115	0,0117	0,0120	0,0123	0,0124	0,0122	0,0119	0,0117	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

NMVOC – Dati grezzi

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	280,633	276,604	255,126	240,817	217,917	204,292	197,981	176,938	169,031	161,321	153,245	149,914	146,241	144,114	139,619	136,624	131,185	126,304	123,323	118,109	118,732	114,704	113,926	115,777	110,238	112,89
Belgium	329,952	316,394	309,143	300,419	285,325	279,405	269,967	258,176	251,546	237,012	218,202	216,778	202,56	194,254	184,426	177,931	174,945	164,091	157,414	145,832	146,262	133,715	131,196	128,679	121,472	119,615
Canada	2883,38 5	2952,26 8	2940,83 3	3013,96 1	3032,90 9	3025,84 5	3021,40 4	2931,59 7	2937,54	2806,12 7	2745,10 1	2529,51 8	2549,495	2468,672	2413,859	2303,899	2195,337	2144,605	2112,841	1959,90 5	1969,87 7	1861,43 5	1889,00 4	1910,19 1	1926,31 8	1855,12 9
Denmark	203,936	212,219	213,912	205,495	209,845	204,47	205,223	194,872	185,384	178,129	173,792	165,591	161,263	155,3	152,335	148,701	144,889	141,087	136,031	128,497	125,334	118,014	115,003	115,066	106,529	109,477
Finland	269,941	255,342	250,298	243,176	245,024	233,99	228,757	225,987	222,098	217,143	182,998	181,125	174,967	168,198	164,108	151,012	146,569	141,821	130,853	122,679	127,621	116,62	115,63	111,188	93,239	87,774
Germany	3389,69 8	2904,83 1	2670,42 8	2518,43 3	2107,56 5	2026,35 4	1958,05 2	1932,12	1890,92 9	1746,42 9	1600,03	1497,62 2	1429,706	1359,499	1367,794	1311,655	1317,119	1253,159	1197,861	1101,05 5	1216,11 6	1130,90 7	1105,07 2	1091,94 2	1016,27 9	1020,18 1
Hungary	297,138	261,09	232,153	223,182	212,491	205,09	202,385	193,866	185,722	183,448	182,221	186,351	171,899	176,392	174,087	157,413	153,112	148,147	140,615	144,613	142,584	144,656	144,865	146,56	136,853	138,995
Italy	1935,53 3	2001,78 4	2075,71	2060,71 1	2010,96 8	1967,02 4	1908,21	1853,77	1751,40 2	1679,48 6	1515,93 5	1429,13 9	1340,775	1325,529	1219,08	1232,407	1196,659	1169,678	1140,239	1061,85 8	1001,24 3	910,65	907,086	876,937	821,32	842,074
Netherlands	489,833	449,537	422,186	399,626	370,643	348,89	324,436	298,068	276,586	260,687	243,541	216,131	203,39	188,913	175,325	181,266	174,277	173,194	166,066	156,002	165,171	160,147	156,291	148,079	142,689	139,018
Norway	301,286	301,335	327,63	345,489	360,558	375,318	377,594	376,905	370,491	379,015	390,25	399,712	354,902	310,8	278,202	229,085	199,968	196,805	164,398	149,116	150,684	143,794	143,305	147,645	157,557	155,922
Poland	484,11	552,806	566,144	625,771	627,594	616,208	633,096	611,546	571,819	576,314	541,336	524,023	529,635	518,208	534,261	543,275	584,153	552,098	573,541	553,507	570,912	549,174	546,291	534,947	517,431	530,619
Spain	1048,07 2	1052,55 9	1056,41 8	983,03	1005,49 7	977,238	1010,64 1	1009,73 2	1035,73 2	1014,42 3	981,977	955,579	905,1	861,531	843,236	811,145	777,376	764,529	703,513	649,185	639,787	609,362	582,286	565,928	569,365	583,995
Switzerland	298,251	280,574	260,535	233,425	213,266	197,157	184,695	172,907	159,954	151,047	142,393	134,278	123,882	115,444	106,336	101,988	98,061	94,035	92,545	89,858	88,178	85,358	83,628	82,112	80,342	77,497
United Kingdom	2946,67 7	2886,79 1	2787,66	2626,73 2	2489,74 3	2320,97 7	2240,4	2137,53 9	1972,79 9	1781,96	1630,66 9	1550,28 9	1457,443	1343,156	1256,494	1174,057	1128,845	1086,493	1011,539	919,072	899,26	878,17	866,234	841,984	840,558	835,355
United States	21871	21389	20925	20621	20475	19996	18934	17718	17039	16575	15887	15523	15491,32 4	14946,27 9	14384,31 2	14411,17 7	14546,10 7	14681,03 7	13528,36 8	13378	13579	13847	13482	13117	12756	12486

NMVOC – Tassi di crescita

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	0,014356 829	0,077648 913	0,056086 012	0,095092 954	0,062523 805	0,030892 056	0,106287 977	0,044687 97	0,045612 935	0,050061 678	0,021736 435	0,024500 714	0,014544 485	0,031190 585	0,021451 235	0,039809 989	0,037206 998	0,023601 786	0,042279 218	0,005274 789	0,033925 142	0,006782 675	0,016247 389	0,047841 972	0,024057 04
Belgium	0,041090 825	0,022917 628	0,028219 95	0,050243 16	0,020748 27	0,033778 923	0,043675 709	0,025680 156	0,057778 697	0,079363 07	0,006526 063	0,065587 836	0,041005 134	0,050593 553	0,035217 377	0,016781 786	0,062042 356	0,040690 836	0,073576 683	0,002948 598	0,085784 414	0,018838 575	0,019185 036	0,056007 585	0,015287 474
Canada	0,023889 63	0,003873 293	0,024866 424	0,006286 744	0,002329 117	0,001467 689	0,029723 599	0,002027 223	0,044735 731	0,021747 412	0,078533 722	0,007897 552	0,031701 572	0,022203 436	0,045553 614	0,047120 989	0,023108 981	0,014811 119	0,072384 055	0,005088 002	0,055050 138	0,014810 617	0,011215 964	0,008442 611	0,036955 996
Denmark	0,040615 683	0,007977 608	0,039347 956	0,021168 398	0,025614 144	0,003682 692	0,050437 816	0,048688 37	0,039134 985	0,024347 523	0,047188 593	0,026136 686	0,036976 864	0,019092 08	0,023855 319	0,025635 335	0,026240 777	0,035836 044	0,055384 434	0,024615 361	0,058403 945	0,025513 922	0,000547 812	0,074192 203	0,027673 216
Finland	0,054082 188	0,019753 899	0,028454 083	0,007599 434	0,045032 323	0,022364 204	0,012108 919	0,017208 954	0,022309 971	0,157246 607	0,010235 085	0,033998 62	0,038687 295	0,024316 579	0,079801 107	0,029421 503	0,032394 299	0,077336 925	0,062467 043	0,040283 993	0,086200 547	0,008489 11	0,038415 636	0,161429 291	0,058612 812
Germany	0,143041 356	0,080694 195	0,056917 842	0,163144 304	0,038533 094	0,033706 845	0,013243 775	0,021319 069	0,076417 465	0,083827 628	0,064003 8	0,045349 227	0,049105 9	0,006101 512	0,041043 461	0,004165 73	0,048560 532	0,044126 883	0,080815 721	0,104500 683	0,070066 507	0,022844 496	0,011881 579	0,069292 142	0,003839 497
Hungary	0,121317 368	0,110831 514	0,038642 619	0,047902 609	0,034829 71	0,013189 332	0,042093 04	0,042008 398	0,012244 107	0,006688 544	0,022664 786	0,077552 576	0,026137 441	0,013067 486	0,095779 696	0,027323 029	0,032427 243	0,050841 394	0,028432 244	0,014030 551	0,014531 785	0,001444 807	0,011700 549	0,066232 26	0,015651 831
Italy	0,034228 814	0,036930 058	0,007225 961	0,024138 756	0,021852 163	0,029899 991	0,028529 355	0,055221 522	0,041061 961	0,097381 58	0,057255 753	0,061830 235	0,011371 035	0,080306 806	0,010932 014	0,029006 651	0,022546 941	0,025168 465	0,068740 852	0,057083 904	0,090480 533	0,003913 688	0,033237 201	0,063421 888	0,025269 079
Netherlands	0,082264 772	0,060842 6	0,053436 163	0,072525 311	0,058689 898	0,070090 86	0,081273 348	0,072070 803	0,057483 025	0,065772 363	0,112547 785	0,058950 359	0,071178 524	0,071927 289	0,033885 641	0,038556 596	0,006214 245	0,041156 16	0,060602 411	0,058774 888	0,030416 962	0,024077 878	0,052543 013	0,036399 489	0,025727 281
Norway	0,000162 636	0,087261 685	0,054509 66	0,043616 439	0,040936 548	0,006064 191	0,001824 711	0,017017 551	0,023007 307	0,029642 626	0,024245 996	0,112105 716	0,124265 29	0,104884 17	0,176551 57	0,127101 294	0,015817 531	0,164665 532	0,092957 335	0,010515 304	0,045724 828	0,003400 698	0,030285 056	0,067134 004	0,010377 197
Poland	0,141901 634	0,024127 813	0,105321 261	0,002913 206	0,018142 302	0,027406 33	0,034039 071	0,064961 589	0,007860 879	0,060692 609	0,031981 985	0,010709 454	0,021575 236	0,030977 908	0,016871 903	0,075243 661	0,054874 322	0,038839 119	0,034930 371	0,031444 95	0,038075 921	0,005249 702	0,020765 489	0,032743 431	0,025487 456
Spain	0,004281 194	0,003666 303	0,069468 714	0,022854 847	0,028104 51	0,034181 029	0,000899 429	0,025749 407	0,020573 855	0,031984 685	0,026882 503	0,052825 564	0,048137 222	0,021235 452	0,038056 962	0,041631 274	0,016526 108	0,079808 614	0,077223 875	0,014476 613	0,047554 889	0,044433 358	0,028092 724	0,006073 211	0,025695 292
Switzerland	0,059268 871	0,071421 443	0,104055 117	0,086361 786	0,075534 778	0,063208 509	0,063824 143	0,074913 104	0,055684 759	0,057293 425	0,056990 161	0,077421 469	0,068113 205	0,078895 395	0,040889 257	0,038504 53	0,041056 077	0,015845 164	0,029034 524	0,018696 165	0,031980 766	0,020267 579	0,018127 9	0,021555 924	0,035411 117
United Kingdom	0,020323 232	0,034339 514	0,057728 704	0,052151 875	0,067784 506	0,034716 846	0,045911 891	0,077069 939	0,096735 146	0,084901 457	0,049292 652	0,059889 479	0,078416 103	0,064521 173	0,065608 749	0,038509 204	0,037517 994	0,068987 099	0,091412 195	0,021556 527	0,023452 617	0,013591 901	0,027994 745	0,001693 619	0,006189 936
United States	0,022038 316	0,021693 394	0,014528 076	0,007080 161	0,023394 383	0,053110 622	0,064223 091	0,038322 61	0,027231 645	0,041508 296	0,022911 815	0,002040 585	0,035183 887	0,037599 124	0,001867 66	0,009362 872	0,009276 021	0,078514 14	0,011115 014	0,015024 667	0,019736 358	0,026359 5	0,027073 135	0,027521 537	0,021166 51

NMVOC – Valori pro-capite

Country Name	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	0,036550 988	0,035668 329	0,032538 639	0,030461 444	0,027458 891	0,025702 674	0,024875 057	0,022205 96	0,021190 356	0,020184 492	0,019127 971	0,018640 704	0,018094 751	0,017744 92	0,017085 118	0,016605 109	0,015865 364	0,015225 628	0,014819 811	0,014156 11	0,014196 612	0,013668 837	0,013514 368	0,013653 954	0,012906 051	0,013076 311
Belgium	0,033103 186	0,031625 213	0,030775 325	0,029790 247	0,028206 425	0,027563 402	0,026580 353	0,025357 999	0,024654 102	0,023176 441	0,021285 404	0,021073 886	0,019603 621	0,018721 233	0,017697 301	0,016980 39	0,016585 675	0,015442 841	0,014697 89	0,013507 349	0,013423 968	0,012103 376	0,011789 459	0,011506 85	0,010836 951	0,010609 626
Canada	0,103752 474	0,104795 589	0,103116 219	0,104530 161	0,104181 052	0,103081 181	0,101827 116	0,097761 612	0,097115 502	0,092006 577	0,089214 422	0,081382 348	0,081292 488	0,077935 093	0,075444 882	0,071301 653	0,067402 609	0,065209 49	0,063552 169	0,058280 948	0,057928 573	0,054201 64	0,054358 975	0,054340 319	0,054208 502	0,051772 227
Denmark	0,039669 018	0,041173 211	0,041364 667	0,039604 882	0,040306 904	0,039070 404	0,038992 992	0,036872 721	0,034950 291	0,033471 576	0,032547 659	0,030900 859	0,029997 223	0,028809 548	0,028186 576	0,027438 484	0,026647 37	0,025833 306	0,024761 628	0,023265 397	0,022592 134	0,021185 257	0,020567 204	0,020492 857	0,018876 49	0,019262 308
Finland	0,054135 112	0,050928 449	0,049642 681	0,047997 344	0,048154 081	0,045810 419	0,044639 231	0,043967 754	0,043096 553	0,042037 381	0,035353 673	0,034912 244	0,033643 631	0,032265 02	0,031389 174	0,028785 596	0,027831 664	0,026815 751	0,024626 985	0,022978 454	0,023795 007	0,021643 302	0,021357 706	0,020442 834	0,017072 012	0,016018 524
Germany	0,042673 659	0,036304 081	0,033121 753	0,031031 861	0,025879 27	0,024809 04	0,023903 51	0,023552 452	0,023046 845	0,021271 91	0,019462 36	0,018186 076	0,017332 187	0,016471 952	0,016576 054	0,015904 743	0,015989 023	0,015232 944	0,014588 474	0,013443 516	0,014871 138	0,014087 913	0,013740 263	0,013540 006	0,012549 366	0,012488 962
Hungary	0,028642 601	0,025169 183	0,022388 404	0,021547 816	0,020543 721	0,019855 813	0,019627 614	0,018839 343	0,018089 976	0,017919 166	0,017845 609	0,018291 986	0,016921 511	0,017413 603	0,017224 15	0,015605 431	0,015202 698	0,014732 522	0,014008 006	0,014428 619	0,014258 367	0,014506 615	0,014602 794	0,014814 393	0,013870 516	0,014121 163
Italy	0,034124 805	0,035268 431	0,036546 064	0,036259 809	0,035377 335	0,034603 714	0,033559 63	0,032584 951	0,030776 704	0,029507 988	0,026622 39	0,025084 012	0,023498 043	0,023127 812	0,021133 277	0,021259 582	0,020580 962	0,020015 603	0,019383 008	0,017968 55	0,016890 8	0,015336 114	0,015234 973	0,014558 85	0,013510 966	0,013865 732
Netherlands	0,032761 44	0,029830 327	0,027804 359	0,026135 8	0,024094 579	0,022568 721	0,020890 251	0,019093 888	0,017608 857	0,016486 564	0,015292 506	0,013469 312	0,012594 643	0,011643 111	0,010768 172	0,011107 075	0,010661 686	0,010572 41	0,010097 903	0,009437 286	0,009940 842	0,009593 619	0,009328 043	0,008811 902	0,008460 654	0,008206 531
Norway	0,071033 341	0,070707 168	0,076434 753	0,080122 848	0,083142 766	0,086098 224	0,086182 388	0,085559 947	0,083604 651	0,084944 507	0,086896 653	0,088554 287	0,078203 959	0,068085 405	0,060585 247	0,049550 201	0,042905 355	0,041792 017	0,034477 913	0,030881 023	0,030819 438	0,029031 182	0,028554 93	0,029066 133	0,030669 629	0,030041 391
Poland	0,012702 704	0,014453 883	0,014757 296	0,016270 101	0,016283 104	0,015966 007	0,016391 102	0,015822 804	0,014789 641	0,014907 138	0,014149 383	0,013700 637	0,013853 779	0,013564 032	0,013992 402	0,014234 735	0,015315 511	0,014482 946	0,015043 399	0,014508 093	0,015007 1	0,014427 931	0,014352 223	0,014062 677	0,013612 402	0,013968 653
Spain	0,026965 377	0,027011 981	0,026978 561	0,024974 555	0,025424 012	0,024600 664	0,025335 792	0,025207 135	0,025749 419	0,025117 64	0,024205 785	0,023392 151	0,021845 667	0,020421 405	0,019645 824	0,018581 589	0,017509 526	0,016904 334	0,015309 035	0,014002 238	0,013736 145	0,013036 518	0,012449 176	0,012139 156	0,012249 445	0,012573 95
Switzerland	0,044412 204	0,041261 016	0,037893 994	0,033643 137	0,030493 602	0,028002 523	0,026116 928	0,024391 211	0,022497 043	0,021143 224	0,019820 162	0,018572 713	0,017005 656	0,015730 206	0,014389 905	0,013713 382	0,013102 868	0,012453 124	0,012101 063	0,011603 817	0,011268 885	0,010787 88	0,010457 603	0,010150 635	0,009811 386	0,009356 833
United Kingdom	0,051472 511	0,050270 721	0,048413 347	0,045509 27	0,043026 198	0,040003 719	0,038516 718	0,036653 818	0,033730 474	0,030366 14	0,027688 901	0,026222 895	0,024548 278	0,022518 199	0,020945 789	0,019437 642	0,018552 243	0,017717 7	0,016366 093	0,014757 981	0,014327 1	0,013882 153	0,013598 586	0,013129 694	0,013009 084	0,012826 188
United States	0,087616 125	0,084547 851	0,081574 495	0,079336 255	0,077814 431	0,075094 45	0,072023 674	0,064982 744	0,061768 182	0,059400 086	0,056304 452	0,054472 6	0,053859 413	0,051519 718	0,049125 86	0,048766 049	0,048750 289	0,048736 773	0,044487 46	0,043609 001	0,043895 521	0,044429 349	0,042936 527	0,041482 595	0,040042 258	0,038909 728

NOX – Dati grezzi

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	220,89	229,337	215,918	206,193	200,486	200,001	217,427	205,889	218,108	209,638	215,091	224,927	230,763	239,014	236,288	238,057	223,646	213,054	197,134	180,776	181,081	171,374	164,47	164,306	153,068	149,123
Belgium	411,844	401,251	390,262	384,442	384,461	383,129	372,631	361,309	364,898	340,495	345,179	335,352	323,297	321,775	333,08	318,719	305,01	295,963	268,995	241,438	246,281	228,743	214,905	207,069	200,304	197,209
Canada	2373,39 1	2270,89	2339,57 5	2384,26 7	2495,26 1	2550,58 4	2616,45 9	2772,23	2821,65 9	2882,18 2	2843,21 1	2710,92 9	2659,216	2631,625	2482,56	2394,441	2281,957	2261,903	2184,948	2032,69 3	2072,13 9	2020,38 5	1913,85 4	1876,45	1860,67 4	1826,66 6
Denmark	300,82	348,887	304,963	305,132	308,14	290,16	324,268	277,691	255,853	237,115	224,644	221,718	218,087	226,67	211,087	202,784	202,145	188,624	171,819	152,767	147,52	139,341	128,59	123,883	115,217	114,49
Finland	284,585	274,281	276,864	275,245	277,182	254,938	263,048	256,868	250,965	221,406	229,392	240,294	230,751	242,61	228,978	201,975	218,526	215,967	195,892	176,192	189,484	174,841	166,681	158,852	152,693	139,653
Germany	2883,44 3	2641,14 4	2494,66	2388,44 9	2201,30 1	2165,70 4	2093,66 6	2027,63 5	2003,96	1979,25	1925,65 5	1848,33 3	1770,713	1715,139	1648,744	1574,001	1557,605	1485,12	1411,01	1310,38 3	1334,02 8	1313,9	1271,55 1	1267,81 7	1220,88 5	1187,44 9
Hungary	235,453	205,74	184,297	185,946	186,816	182,186	186,327	188,571	188,237	194,128	180,497	181,509	174,182	177,079	174,088	169,34	162,699	159,929	155,154	143,338	139,744	131,925	122,606	120,485	118,725	123,162
Italy	2031,74 5	2100,59 9	2134,70 4	2034,31 9	1934,58 4	1906,99 1	1833,99 2	1758,97 4	1646,69 8	1551,61 5	1450,52 5	1413,27	1353,694	1338,978	1293,156	1233,337	1168,59	1125,732	1043,427	964,754	948,461	915,168	851,932	798,547	786,637	763,009
Netherlands	603,921	590,348	573,48	559,681	522,105	505,456	492,042	463,195	442,773	438,464	420,459	409,461	397,417	392,923	378,961	368,877	360,439	345,278	336,098	303,87	299,69	286,207	271,565	258,962	234,105	228,172
Norway	198,611	192,219	191,562	195,348	200,364	202,818	212,341	220,743	219,37	220,87	209,219	207,252	202,003	201,83	203,014	203,524	200,048	203,236	193,566	184,377	188,193	183,425	177,644	166,871	157,021	151,329
Poland	1052,59 7	1044,70 3	1031,84 8	1026,48	1024,08	1029,28 9	1058,79 5	1004,11 2	911,52	884,809	832,861	811,439	778,635	798,078	818,348	848,393	865,631	868,079	834,092	822,425	851,584	832,632	804,097	769,131	720,401	713,804
Spain	1500,14 7	1539,01 6	1580,36 7	1544,85 1	1582,70 9	1564,52 5	1530,93	1503,11 6	1490,66	1522,45	1535,48 5	1484,09 9	1523,412	1527,835	1565,724	1544,62	1487,418	1476,751	1277,818	1136,07 9	1059,27 4	1042,35 9	1009,64 7	895,669	881,056	904,849
Switzerland	143,741	141,407	134,87	123,555	122,181	118,629	114,654	110,833	110,412	110,205	107,885	104,576	98,464	96,064	94,269	93,705	90,672	87,584	85,896	80,167	78,161	73,437	73,376	72,759	68,515	64,487
United Kingdom	2917,61	2825,09 4	2764,55 3	2594,74 6	2473,56	2342,59 4	2235,34 2	2054,02 9	1998,33 5	1879,31 1	1817,13 6	1789,49 8	1689,164	1662,223	1617,651	1608,076	1556,998	1488,363	1341,079	1161,99 5	1139,45 3	1061,24 4	1088,62 7	1034,85 5	956,675	918,342
United States	23161	22842	22916	23003	22997	22639	22423	22552	22152	20581	21547	20275	21632,31 2	20493,09 3	19343,66 6	18380,73 9	17357,63 1	16334,52 3	15252,74 4	14221	13381	13004	12443	11883	11323	10432

NOX – Tassi di crescita

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	0,03824	-0,05851	-0,04504	-0,02768	-0,00242	0,08713	-0,05307	0,05935	-0,03883	0,02601	0,04573	0,02595	0,03576	-0,01141	0,00749	-0,06054	-0,04736	-0,07472	-0,08298	0,00169	-0,05361	-0,04029	-0,00100	-0,06840	-0,02577
Belgium	-0,02572	-0,02739	-0,01491	0,00005	-0,00346	-0,02740	-0,03038	0,00993	-0,06688	0,01376	-0,02847	-0,03595	-0,00471	0,03513	-0,04312	-0,04301	-0,02966	-0,09112	-0,10244	0,02006	-0,07121	-0,06050	-0,03646	-0,03267	-0,01545
Canada	-0,04319	0,03025	0,01910	0,04655	0,02217	0,02583	0,05954	0,01783	0,02145	-0,01352	-0,04653	-0,01908	-0,01038	-0,05664	-0,03550	-0,04698	-0,00879	-0,03402	-0,06968	0,01941	-0,02498	-0,05273	-0,01954	-0,00841	-0,01828
Denmark	0,15979	-0,12590	0,00055	0,00986	-0,05835	0,11755	-0,14364	-0,07864	-0,07324	-0,05259	-0,01303	-0,01638	0,03936	-0,06875	-0,03933	-0,00315	-0,06689	-0,08909	-0,11088	-0,03435	-0,05544	-0,07716	-0,03660	-0,06995	-0,00631
Finland	-0,03621	0,00942	-0,00585	0,00704	-0,08025	0,03181	-0,02349	-0,02298	-0,11778	0,03607	0,04753	-0,03971	0,05139	-0,05619	-0,11793	0,08195	-0,01171	-0,09295	-0,10057	0,07544	-0,07728	-0,04667	-0,04697	-0,03877	-0,08540
Germany	-0,08403	-0,05546	-0,04258	-0,07836	-0,01617	-0,03326	-0,03154	-0,01168	-0,01233	-0,02708	-0,04015	-0,04199	-0,03139	-0,03871	-0,04533	-0,01042	-0,04654	-0,04990	-0,07132	0,01804	-0,01509	-0,03223	-0,00294	-0,03702	-0,02739
Hungary	-0,12620	-0,10422	0,00895	0,00468	-0,02478	0,02273	0,01204	-0,00177	0,03130	-0,07022	0,00561	-0,04037	0,01663	-0,01689	-0,02727	-0,03922	-0,01703	-0,02986	-0,07616	-0,02507	-0,05595	-0,07064	-0,01730	-0,01461	0,03737
Italy	0,03389	0,01624	-0,04703	-0,04903	-0,01426	-0,03828	-0,04090	-0,06383	-0,05774	-0,06515	-0,02568	-0,04215	-0,01087	-0,03422	-0,04626	-0,05250	-0,03667	-0,07311	-0,07540	-0,01689	-0,03510	-0,06910	-0,06266	-0,01491	-0,03004
Netherlands	-0,02247	-0,02857	-0,02406	-0,06714	-0,03189	-0,02654	-0,05863	-0,04409	-0,00973	-0,04106	-0,02616	-0,02941	-0,01131	-0,03553	-0,02661	-0,02287	-0,04206	-0,02659	-0,09589	-0,01376	-0,04499	-0,05116	-0,04641	-0,09599	-0,02534
Norway	-0,03218	-0,00342	0,01976	0,02568	0,01225	0,04695	0,03957	-0,00622	0,00684	-0,05275	-0,00940	-0,02533	-0,00086	0,00587	0,00251	-0,01708	0,01594	-0,04758	-0,04747	0,02070	-0,02534	-0,03152	-0,06064	-0,05903	-0,03625
Poland	-0,00750	-0,01230	-0,00520	-0,00234	0,00509	0,02867	-0,05165	-0,09221	-0,02930	-0,05871	-0,02572	-0,04043	0,02497	0,02540	0,03671	0,02032	0,00283	-0,03915	-0,01399	0,03545	-0,02225	-0,03427	-0,04348	-0,06336	-0,00916
Spain	0,02591	0,02687	-0,02247	0,02451	-0,01149	-0,02147	-0,01817	-0,00829	0,02133	0,00856	-0,03347	0,02649	0,00290	0,02480	-0,01348	-0,03703	-0,00717	-0,13471	-0,11092	-0,06761	-0,01597	-0,03138	-0,11289	-0,01632	0,02701
Switzerland	-0,01624	-0,04623	-0,08390	-0,01112	-0,02907	-0,03351	-0,03333	-0,00380	-0,00187	-0,02105	-0,03067	-0,05845	-0,02437	-0,01869	-0,00598	-0,03237	-0,03406	-0,01927	-0,06670	-0,02502	-0,06044	-0,00083	-0,00841	-0,05833	-0,05879
United Kingdom	-0,03171	-0,02143	-0,06142	-0,04670	-0,05295	-0,04578	-0,08111	-0,02711	-0,05956	-0,03308	-0,01521	-0,05607	-0,01595	-0,02681	-0,00592	-0,03176	-0,04408	-0,09896	-0,13354	-0,01940	-0,06864	0,02580	-0,04939	-0,07555	-0,04007
United States	-0,01377	0,00324	0,00380	-0,00026	-0,01557	-0,00954	0,00575	-0,01774	-0,07092	0,04694	-0,05903	0,06695	-0,05266	-0,05609	-0,04978	-0,05566	-0,05894	-0,06623	-0,06764	-0,05907	-0,02817	-0,04314	-0,04501	-0,04713	-0,07869

SOX – Dati grezzi

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	74,571	71,588	55,201	53,581	47,926	47,53	44,809	40,129	35,493	33,588	31,559	32,432	31,623	31,668	27,079	25,946	26,629	23,166	20,585	15,115	16,701	15,569	15,065	14,941	14,778	14,902
Belgium	365,231	367,7	358,879	333,314	290,619	258,024	248,397	225,229	213,381	173,718	173,158	166,727	156,958	152,537	155,197	142,438	133,491	123,774	95,877	73,944	60,263	52,938	47,315	44,653	42,416	42,637
Canada	3061,83	2841,54 4	2723,05 1	2642,25 4	2430,88 4	2558,88 5	2567,53 7	2524,69 6	2483,84	2390,89 6	2396,84 7	2379,99 7	2328,117	2281,354	2253,975	2183,847	1985,596	1928,994	1742,56 8	1474,27 9	1367,04 9	1282,9 6	1266,30 6	1252,33 4	1202,85 7	1048,81 9
Denmark	179,248	237,773	185,088	150,18	153,281	146,924	176,915	104,893	80,526	59,713	32,701	30,186	28,381	35,175	28,817	26,13	30,298	27,578	21,367	15,671	15,753	14,505	12,648	12,991	11,272	10,827
Finland	263,032	198,433	144,492	125,984	119	99,612	109,71	104,683	94,531	91,769	79,988	86,371	80,769	98,045	84,329	69,614	84,523	82,93	70,135	59,378	66,957	61,111	51,434	47,375	43,174	42,06
Germany	5484,94 1	3968,57 1	3240,53 3	2904,92	2418,42 8	1744,49 8	1476,26 2	1226,08 8	979,687	799,574	644,448	623,318	559,776	532,221	491,391	471,677	472,92	456,495	453,09	396,493	409,31	399,07 4	380,997	372,795	356,85	351,768
Hungary	824,724	825,861	711,466	719,833	631,169	615,375	611,918	624,367	568,589	561,616	428,3	347,202	273,22	246,804	150,533	41,743	39,758	35,457	35,586	30,221	31,127	34,575	31,793	31,253	27,535	24,107
Italy	1783,27 8	1672,00 7	1573,64 2	1471,07 6	1388,91 3	1321,65	1213,37 2	1138,24 8	1003,40 9	902,436	754,766	702,81	621,93	523,124	485,926	408,279	386,605	344,175	288,796	236,18	217,35	195,2	176,872	145,49	130,787	123,111
Latvia	100,461	81,696	69,803	65,746	66,713	49,394	55,68	43,971	39,85	31,968	17,57	14,118	12,814	11,372	9,291	8,454	8,154	7,895	6,606	6,441	4,348	4,314	4,45	3,935	3,906	3,66
Lithuania	173,293	198,889	104,719	90,309	89,605	69,365	70,088	65,114	81,428	61,504	37,642	40,31	35,301	27,552	28,422	30,908	29,71	25,902	22,856	22,262	22,374	24,179	20,632	18,811	16,887	18,232
Netherlands	193,293	179,382	168,621	157,422	144,033	130,603	118,268	104,116	95,69	89,464	73,391	74,635	67,895	63,367	65,954	64,18	64,191	60,725	50,849	37,462	33,859	33,472	33,721	29,546	29,125	30,29
Norway	52,282	43,906	36,936	35,095	34,874	33,825	33,198	30,601	30,047	29,366	27,178	25,317	22,959	23,347	25,073	24,034	21,146	20,101	20,031	15,497	19,682	18,795	17,303	16,733	16,493	16,335
Poland	2647,69 6	2559,58 8	2312,62 1	2298,26 9	2200,87 5	2135,03 7	2148,80 1	1968,37 3	1763,64	1592,25 6	1403,62 8	1378,96	1291,103	1273,461	1201,919	1163,597	1227,863	1165,732	938,916	803,382	866,009	827,54 5	793,989	759,151	714,593	690,26
Spain	2156,69 4	2179,47 3	2140,53 4	2021,29 6	1970,39 7	1826,46	1611,04 1	1751,69 1	1591,98 7	1585,31 2	1473,31 4	1423,62 9	1550,948	1298,882	1329,365	1277,099	1157,76	1121,188	507,227	456,912	425,371	461,35 3	409,294	261,423	257,29	273,285
Switzerland	39,742	36,493	33,076	26,595	27,348	25,923	25,497	23,437	22,248	16,798	15,381	18,088	15,581	15,112	14,968	15,22	13,773	11,738	11,924	10,05	10,546	8,733	8,957	8,71	7,909	6,758
United Kingdom	3685,35 1	3530,32 1	3463,60 2	3125,10 3	2663,13 9	2372,00 2	2015,02 2	1651,29 2	1629,85 4	1246,27 1	1220,23 5	1135,28 1	1013,972	991,085	834,309	711,014	669,637	588,202	491,24	400,057	423,6	392,74	438,981	379,525	305,351	236,115
United States	20935	20299	20033	19752	19365	16891	16679	17092	17186	15917	14830	14453	13514,66 5	13306,63 2	13087,41 6	13145,17 6	11854,05 6	10562,93 5	9302,12 5	8182	6951	5791	5,789	5,788	4,293	3,384

SOX – Tassi di crescita

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	-0,04000	-0,22891	-0,02935	-0,10554	-0,00826	-0,05725	-0,10444	-0,11553	-0,05367	-0,06041	0,02766	-0,02494	0,00142	-0,14491	-0,04184	0,02632	-0,13005	-0,11141	-0,26573	0,10493	-0,06778	-0,03237	-0,00823	-0,01091	0,00839
Belgium	0,00676	-0,02399	-0,07124	-0,12809	-0,11216	-0,03731	-0,09327	-0,05260	-0,18588	-0,00322	-0,03714	-0,05859	-0,02817	0,01744	-0,08221	-0,06281	-0,07279	-0,22539	-0,22876	-0,18502	-0,12155	-0,10622	-0,05626	-0,05010	0,00521
Canada	-0,07195	-0,04170	-0,02967	-0,08000	0,05266	0,00338	-0,01669	-0,01618	-0,03742	0,00249	-0,00703	-0,02180	-0,02009	-0,01200	-0,03111	-0,09078	-0,02851	-0,09664	-0,15396	-0,07273	-0,06151	-0,01298	-0,01103	-0,03951	-0,12806
Denmark	0,32650	-0,22158	-0,18860	0,02065	-0,04147	0,20413	-0,40710	-0,23230	-0,25846	-0,45236	-0,07691	-0,05980	0,23939	-0,18075	-0,09324	0,15951	-0,08977	-0,22522	-0,26658	0,00523	-0,07922	-0,12802	0,02712	-0,13232	-0,03948
Finland	-0,24559	-0,27183	-0,12809	-0,05544	-0,16292	0,10137	-0,04582	-0,09698	-0,02922	-0,12838	0,07980	-0,06486	0,21389	-0,13989	-0,17450	0,21417	-0,01885	-0,15429	-0,15338	0,12764	-0,08731	-0,15835	-0,07892	-0,08868	-0,02580
Germany	-0,27646	-0,18345	-0,10357	-0,16747	-0,27866	-0,15376	-0,16946	-0,20097	-0,18385	-0,19401	-0,03279	-0,10194	-0,04923	-0,07672	-0,04012	0,00264	-0,03473	-0,00746	-0,12491	0,03233	-0,02501	-0,04530	-0,02153	-0,04277	-0,01424
Hungary	0,00138	-0,13852	0,01176	-0,12317	-0,02502	-0,00562	0,02034	-0,08934	-0,01226	-0,23738	-0,18935	-0,21308	-0,09668	-0,39007	-0,72270	-0,04755	-0,10818	0,00364	-0,15076	0,02998	0,11077	-0,08046	-0,01698	-0,11896	-0,12450
Italy	-0,06240	-0,05883	-0,06518	-0,05585	-0,04843	-0,08193	-0,06191	-0,11846	-0,10063	-0,16363	-0,06884	-0,11508	-0,15887	-0,07111	-0,15979	-0,05309	-0,10975	-0,16090	-0,18219	-0,07973	-0,10191	-0,09389	-0,17743	-0,10106	-0,05869
Latvia	-0,18679	-0,14558	-0,05812	0,01471	-0,25960	0,12726	-0,21029	-0,09372	-0,19779	-0,45039	-0,19647	-0,09236	-0,11253	-0,18299	-0,09009	-0,03549	-0,03176	-0,16327	-0,02498	-0,32495	-0,00782	0,03153	-0,11573	-0,00737	-0,06298
Lithuania	0,14770	-0,47348	-0,13761	-0,00780	-0,22588	0,01042	-0,07097	0,25055	-0,24468	-0,38797	0,07088	-0,12426	-0,21951	0,03158	0,08747	-0,03876	-0,12817	-0,11760	-0,02599	0,00503	0,08067	-0,14670	-0,08826	-0,10228	0,07965
Netherlands	-0,07197	-0,05999	-0,06642	-0,08505	-0,09324	-0,09445	-0,11966	-0,08093	-0,06506	-0,17966	0,01695	-0,09031	-0,06669	0,04083	-0,02690	0,00017	-0,05400	-0,16263	-0,26327	-0,09618	-0,01143	0,00744	-0,12381	-0,01425	0,04000
Norway	-0,16021	-0,15875	-0,04984	-0,00630	-0,03008	-0,01854	-0,07823	-0,01810	-0,02266	-0,07451	-0,06847	-0,09314	0,01690	0,07393	-0,04144	-0,12016	-0,04942	-0,00348	-0,22635	0,27005	-0,04507	-0,07938	-0,03294	-0,01434	-0,00958
Poland	-0,03328	-0,09649	-0,00621	-0,04238	-0,02991	0,00645	-0,08397	-0,10401	-0,09718	-0,11847	-0,01757	-0,06371	-0,01366	-0,05618	-0,03188	0,05523	-0,05060	-0,19457	-0,14435	0,07795	-0,04442	-0,04055	-0,04388	-0,05869	-0,03405
Spain	0,01056	-0,01787	-0,05570	-0,02518	-0,07305	-0,11794	0,08730	-0,09117	-0,00419	-0,07065	-0,03372	0,08943	-0,16252	0,02347	-0,03932	-0,09345	-0,03159	-0,54760	-0,09920	-0,06903	0,08459	-0,11284	-0,36128	-0,01581	0,06217
Switzerland	-0,08175	-0,09363	-0,19594	0,02831	-0,05211	-0,01643	-0,08079	-0,05073	-0,24497	-0,08436	0,17600	-0,13860	-0,03010	-0,00953	0,01684	-0,09507	-0,14775	0,01585	-0,15716	0,04935	-0,17191	0,02565	-0,02758	-0,09196	-0,14553
United Kingdom	-0,04207	-0,01890	-0,09773	-0,14782	-0,10932	-0,15050	-0,18051	-0,01298	-0,23535	-0,02089	-0,06962	-0,10685	-0,02257	-0,15819	-0,14778	-0,05819	-0,12161	-0,16484	-0,18562	0,05885	-0,07285	0,11774	-0,13544	-0,19544	-0,22674
United States	-0,03038	-0,01310	-0,01403	-0,01959	-0,12776	-0,01255	0,02476	0,00550	-0,07384	-0,06829	-0,02542	-0,06492	-0,01539	-0,01647	0,00441	-0,09822	-0,10892	-0,11936	-0,12042	-0,15045	-0,16688	-0,99900	-0,00017	-0,25829	-0,21174

REAL GDP

Country Name	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	27623,15	28247,48	28837,64	29831,50	30842,38	31804,71	32111,08	32482,59	32569,17	33243,52	33724,62	34682,64	35822,37	36262,94	34794,02	35379,93	36291,47	36372,20	36169,60	36203,77	36210,77
Belgium	26598,98	26970,06	27903,17	28393,64	29338,07	30330,47	30471,63	30875,46	30984,63	31972,15	32462,68	33057,48	33947,42	33944,08	32913,37	33509,03	33641,81	33476,86	33380,34	33752,26	34028,56
Canada	38702,67	38904,85	40143,34	41342,19	43118,54	44954,54	45291,06	46237,65	46604,37	47563,56	48604,69	49483,91	50017,18	49973,78	47947,68	48878,62	49918,56	50193,90	50848,24	51736,67	51821,14
Switzerland	64423,51	64485,99	65836,28	67603,54	68422,13	70717,27	71193,46	70771,83	70276,51	71732,73	73495,06	75948,39	78367,79	79045,61	76329,42	77806,73	78248,96	78201,38	78739,07	79689,31	79753,56
Germany	26262,40	26400,67	26849,56	27376,93	27902,90	28690,52	29127,92	29078,99	28856,57	29200,52	29423,59	30546,75	31584,94	31987,55	30266,81	31549,97	33316,61	33417,73	33489,82	33994,06	34288,52
Denmark	276270,77	282678,53	290685,83	296056,59	303777,54	314108,17	315561,01	316021,36	316392,28	323995,85	330654,39	342465,49	344050,23	340283,39	321860,48	326429,25	329433,67	328939,70	330628,58	334283,40	337263,08
Spain	17884,63	18286,68	18882,08	19613,80	20410,54	21394,20	22096,30	22413,78	22713,74	23032,16	23489,46	24059,79	24508,70	24390,40	23311,35	23207,54	22894,25	22209,54	21902,36	22271,09	23053,37
Finland	24159,18	24961,10	26442,87	27804,42	28972,75	30541,85	31258,82	31707,12	32262,33	33431,76	34243,75	35495,91	37177,80	37271,81	34026,67	34884,90	35616,24	34941,64	34517,37	34157,76	34091,42
United Kingdom	19851,97	20304,18	21069,78	21667,67	22290,22	23024,55	23519,60	23995,89	24678,79	25118,99	25719,49	26158,18	26566,97	26234,15	24946,12	25170,76	25337,56	25534,73	25884,91	26475,30	26881,84
Hungary	1861524,37	1864988,63	1931168,90	2017659,49	2087865,94	2181407,15	2270386,15	2379961,24	2478646,41	2608470,42	2728356,45	2837845,73	2854602,38	2884069,39	2697897,60	2722453,64	2775552,24	2744063,11	2809309,94	2935978,33	3042064,09
Italy	24788,04	25099,85	25547,00	25952,39	26352,78	27318,11	27786,63	27814,24	27732,78	27989,77	28117,07	28595,19	28870,50	28378,62	26700,96	27067,89	27177,19	26339,97	25586,43	25381,57	25647,90
Netherlands	29022,84	29919,63	31045,91	32251,38	33655,89	34832,62	35305,05	35116,78	35050,72	35638,44	36323,39	37541,13	38844,99	39351,50	37674,65	38007,65	38460,14	37913,05	37729,48	38127,68	38817,23
Norway	425858,04	445008,77	465992,51	475383,08	481644,58	493866,82	501620,69	506095,84	507764,17	524756,61	534874,69	543292,13	553750,10	549520,78	533457,95	530498,12	528750,64	536054,06	535142,65	539592,71	544603,89
Poland	19719,80	20898,24	22233,62	23251,31	24332,70	25709,26	26037,30	26581,19	27546,72	28978,37	30003,96	31878,28	34139,39	35585,36	36564,18	37991,37	39876,04	40517,31	41106,07	42487,43	44150,31
United States	38677,72	39681,52	40965,85	42292,89	43768,88	45055,82	45047,49	45428,65	46304,04	47614,28	48755,62	49575,40	49979,53	49364,64	47575,61	48373,88	48783,47	49497,59	49976,63	50881,11	51956,58

Growth Rate of GDP

Country Name	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Austria	2,5109	2,2601	2,0893	3,4464	3,3886	3,1201	0,9633	1,1570	0,2665	2,0705	1,4472	2,8407	3,2862	1,2299	-4,0507	1,6839	2,5764	0,2224	-0,5570	0,0945	0,0193
Belgium	2,1706	1,3951	3,4598	1,7578	3,3262	3,3826	0,4654	1,3253	0,3536	3,1871	1,5342	1,8323	2,6921	-0,0099	-3,0365	1,8098	0,3963	-0,4903	-0,2883	1,1142	0,8186
Canada	1,8309	0,5224	3,1834	2,9864	4,2967	4,2580	0,7486	2,0900	0,7931	2,0582	2,1889	1,8089	1,0777	-0,0868	-4,0543	1,9416	2,1276	0,5516	1,3036	1,7472	0,1633
Switzerland	-0,1884	0,0970	2,0939	2,6843	1,2109	3,3544	0,6734	-0,5922	-0,6999	2,0721	2,4568	3,3381	3,1856	0,8649	-3,4362	1,9354	0,5684	-0,0608	0,6876	1,2068	0,0806
Germany	1,4391	0,5265	1,7003	1,9642	1,9212	2,8227	1,5245	-0,1680	-0,7649	1,1919	0,7639	3,8172	3,3987	1,2747	-5,3794	4,2395	5,5995	0,3035	0,2157	1,5057	0,8662
Denmark	2,4923	2,3194	2,8327	1,8476	2,6079	3,4007	0,4625	0,1459	0,1174	2,4032	2,0551	3,5720	0,4627	-1,0949	-5,4140	1,4195	0,9204	-0,1499	0,5134	1,1054	0,8914
Spain	2,3050	2,2480	3,2559	3,8752	4,0621	4,8194	3,2817	1,4368	1,3382	1,4019	1,9855	2,4280	1,8658	-0,4827	-4,4241	-0,4454	-1,3499	-2,9908	-1,3831	1,6835	3,5125
Finland	3,8102	3,3193	5,9363	5,1490	4,2020	5,4158	2,3475	1,4342	1,7511	3,6247	2,4288	3,6566	4,7383	0,2529	-8,7067	2,5222	2,0964	-1,8941	-1,2142	-1,0418	-0,1942
United Kingdom	2,1990	2,2779	3,7706	2,8377	2,8732	3,2944	2,1501	2,0251	2,8459	1,7837	2,3906	1,7057	1,5628	-1,2528	-4,9097	0,9005	0,6627	0,7782	1,3714	2,2808	1,5355
Hungary	1,6309	0,1861	3,5486	4,4787	3,4796	4,4802	4,0790	4,8263	4,1465	5,2377	4,5960	4,0130	0,5905	1,0323	-6,4552	0,9102	1,9504	-1,1345	2,3777	4,5089	3,6133
Italy	2,8852	1,2579	1,7815	1,5868	1,5428	3,6631	1,7150	0,0994	-0,2929	0,9266	0,4548	1,7005	0,9628	-1,7037	-5,9117	1,3742	0,4038	-3,0806	-2,8608	-0,8007	1,0493
Netherlands	2,6080	3,0900	3,7643	3,8829	4,3549	3,4964	1,3563	-0,5333	-0,1881	1,6768	1,9219	3,3525	3,4732	1,3039	-4,2612	0,8839	1,1905	-1,4225	-0,4842	1,0554	1,8085
Norway	3,6147	4,4970	4,7154	2,0152	1,3171	2,5376	1,5700	0,8921	0,3296	3,3465	1,9281	1,5737	1,9249	-0,7638	-2,9231	-0,5548	-0,3294	1,3813	-0,1700	0,8316	0,9287
Poland	6,8068	5,9759	6,3899	4,5773	4,6509	5,6572	1,2759	2,0889	3,6324	5,1972	3,5392	6,2469	7,0929	4,2355	2,7506	3,9033	4,9608	1,6081	1,4531	3,3605	3,9138
United States	1,5031	2,5953	3,2366	3,2394	3,4899	2,9403	-0,0185	0,8461	1,9270	2,8297	2,3970	1,6814	0,8152	-1,2303	-3,6241	1,6779	0,8467	1,4639	0,9678	1,8098	2,1137

Monossido di carbonio – Dati per le analisi di regressione

Austria	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita CO	-0,0900	0,0057	-0,0699	-0,0413	-0,1150	0,0023	-0,0285	-0,0426	0,0061	-0,0256	-0,0401	-0,0308	-0,0577	-0,0380	-0,0570	0,0226	-0,0310	0,0005	0,0364	-0,0809	0,0535
Livello di emissioni pro-capite	0,1243	0,1248	0,1160	0,1111	0,0981	0,0981	0,0949	0,0905	0,0906	0,0877	0,0836	0,0806	0,0757	0,0726	0,0683	0,0697	0,0673	0,0670	0,0691	0,0630	0,0657
GDP pro-capite	22219,7500	22935,1037	23685,0890	24614,7428	25505,7953	26662,2630	27420,6722	28054,4947	28549,4870	29656,0534	30879,9600	32390,3831	34232,8268	35301,5744	34523,8965	35379,9290	36956,8462	37799,9265	38199,7730	38993,1154	39903,4433
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0437	0,0322	0,0327	0,0393	0,0362	0,0453	0,0284	0,0231	0,0176	0,0388	0,0413	0,0489	0,0569	0,0312	-0,0220	0,0248	0,0446	0,0228	0,0106	0,0208	0,0233
Belgio	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita CO	-0,0128	-0,0214	-0,0897	-0,0422	-0,0792	0,0642	-0,0493	-0,0137	-0,0332	-0,0453	-0,0564	-0,0678	-0,0612	-0,0028	-0,3377	0,1688	-0,2036	-0,1147	0,4934	-0,3677	0,1466
Livello di emissioni pro-capite	0,1114	0,1088	0,0988	0,0944	0,0867	0,0921	0,0873	0,0857	0,0825	0,0784	0,0736	0,0681	0,0635	0,0628	0,0413	0,0478	0,0376	0,0330	0,0491	0,0309	0,0353
GDP pro-capite	20875,9737	21261,2108	22194,6039	22982,3989	23881,8691	25189,3184	25838,3893	26620,6158	27239,0976	28663,9356	29725,3731	30969,2265	32441,3921	33059,4578	32305,0365	33509,0283	34315,2683	34821,3097	35084,1653	35711,1397	36404,8310
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0342	0,0185	0,0439	0,0355	0,0391	0,0547	0,0258	0,0303	0,0232	0,0523	0,0370	0,0418	0,0475	0,0191	-0,0228	0,0373	0,0241	0,0147	0,0075	0,0179	0,0194
Canada	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita CO	-0,0286	-0,0226	-0,0200	0,0109	-0,0188	-0,0219	-0,0764	-0,0129	-0,0307	-0,0611	-0,1076	-0,0616	-0,0400	-0,0242	-0,0539	-0,0176	-0,0596	-0,0332	-0,0205	-0,0035	-0,0200
Livello di emissioni pro-capite	0,3890	0,3761	0,3648	0,3656	0,3557	0,3449	0,3153	0,3085	0,2961	0,2752	0,2432	0,2264	0,2152	0,2078	0,1943	0,1888	0,1758	0,1680	0,1626	0,1603	0,1558
GDP pro-capite	28240,5464	28883,3206	30142,9276	30987,1098	32933,8474	35826,8036	36693,5419	37926,5353	39471,9977	41605,8134	43854,5432	45814,6719	47845,2762	49718,2905	46608,1357	48878,6239	51536,9460	52454,0838	53980,2011	56005,6426	55673,2094
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0413	0,0228	0,0436	0,0280	0,0628	0,0878	0,0242	0,0336	0,0407	0,0541	0,0540	0,0447	0,0443	0,0391	-0,0626	0,0487	0,0544	0,0178	0,0291	0,0375	-0,0059
Danimarca	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita CO	-0,0477	-0,0311	-0,0720	-0,0636	-0,0856	-0,0399	-0,0148	-0,0395	0,0140	-0,0215	0,0093	-0,0220	0,0151	-0,0443	-0,0657	-0,0078	-0,0901	-0,0435	-0,0349	-0,0771	0,0348
Livello di emissioni pro-capite	0,1264	0,1218	0,1126	0,1050	0,0957	0,0916	0,0899	0,0861	0,0870	0,0850	0,0855	0,0834	0,0842	0,0800	0,0744	0,0735	0,0666	0,0634	0,0610	0,0560	0,0575
GDP pro-capite	198052,5753	206727,8552	216864,8915	223593,3320	233289,7203	248503,2632	255939,8281	262330,5619	266530,2433	278655,6741	292647,6428	309394,1226	318385,9269	327920,3280	311807,6006	326429,2498	331537,5872	338903,2637	343668,8102	351054,0934	356666,5019
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0381	0,0438	0,0490	0,0310	0,0434	0,0652	0,0299	0,0250	0,0160	0,0455	0,0502	0,0572	0,0291	0,0299	-0,0491	0,0469	0,0156	0,0222	0,0141	0,0215	0,0160

	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000	
Finlandia																						
Tasso di crescita CO	-0,0232	0,0402	-0,0100	-0,0140	-0,0736	-0,0016	-0,0086	-0,0199	-0,0526	-0,0286	-0,0630	-0,0393	-0,0297	-0,0385	-0,0731	0,0387	-0,0691	-0,0057	-0,0347	-0,0670	-0,0551	
Livello di emissioni pro-capite	0,1188	0,1232	0,1216	0,1196	0,1105	0,1101	0,1089	0,1065	0,1006	0,0975	0,0910	0,0871	0,0842	0,0806	0,0743	0,0768	0,0712	0,0705	0,0677	0,0629	0,0592	
GDP pro-capite	19295,233 4	19915,805 7	21545,049 6	23359,2795	24571,4140	26324,4780	27840,5507	28513,8363	29075,1185	30312,1244	31335,1109	32777,2912	35279,6140	36457,0777	33907,7307	34884,9003	36536,5742	36903,2269	37385,3736	37622,1823	38252,1789	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0817	0,0322	0,0818	0,0842	0,0519	0,0713	0,0576	0,0242	0,0197	0,0425	0,0337	0,0460	0,0763	0,0334	-0,0699	0,0288	0,0473	0,0100	0,0131	0,0063	0,0167	
Germania																						
Tasso di crescita CO	-0,0439	-0,0702	-0,0228	-0,0756	-0,0635	-0,0535	-0,0368	-0,0593	-0,0416	-0,0567	-0,0521	-0,0258	-0,0326	-0,0298	-0,1311	0,1236	-0,0263	-0,1157	-0,0095	-0,0400	-0,0136	
Livello di emissioni pro-capite	0,0788	0,0731	0,0713	0,0659	0,0617	0,0583	0,0561	0,0527	0,0504	0,0476	0,0451	0,0440	0,0426	0,0414	0,0361	0,0406	0,0403	0,0356	0,0351	0,0336	0,0328	
GDP pro-capite	23248,351 0	23516,132 3	23978,734 6	24598,4034	25150,7173	25744,3277	26470,5766	26783,0077	26898,9176	27517,2433	27899,5529	29052,5990	30549,9068	31198,8427	30039,2027	31549,9738	33673,2553	34295,7013	35045,1832	36211,1567	37260,0842	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0344	0,0115	0,0197	0,0258	0,0225	0,0236	0,0282	0,0118	0,0043	0,0230	0,0139	0,0413	0,0515	0,0212	-0,0372	0,0503	0,0673	0,0185	0,0219	0,0333	0,0290	
Ungheria																						
Tasso di crescita CO	-0,0408	-0,0345	-0,0710	-0,1018	-0,0160	-0,2149	0,0440	-0,2142	0,2857	-0,0647	-0,1117	0,1259	-0,0376	-0,2619	0,3220	-0,0859	0,1372	0,0385	-0,0145	-0,1486	-0,0165	
Livello di emissioni pro-capite	0,0863	0,0834	0,0777	0,0699	0,0690	0,0543	0,0568	0,0448	0,0577	0,0541	0,0482	0,0543	0,0524	0,0387	0,0513	0,0470	0,0536	0,0559	0,0552	0,0472	0,0465	
GDP pro-capite	564977,51 71	690747,70 65	858394,34 60	1018497,02 48	1139001,49 74	1307424,53 39	1513523,33 47	1718906,76 36	1889414,06 29	2087539,64 77	2236515,77 54	2408506,19 13	2553776,43 50	2709017,80 28	2636488,75 30	2722453,63 84	2838519,14 52	2901211,06 47	3057396,77 48	3303280,66 74	3487149,48 29	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,2880	0,2226	0,2427	0,1865	0,1183	0,1479	0,1576	0,1357	0,0992	0,1049	0,0714	0,0769	0,0603	0,0608	-0,0268	0,0326	0,0426	0,0221	0,0538	0,0804	0,0557	
Italia																						
Tasso di crescita CO	-0,0106	-0,0412	-0,0636	-0,0716	-0,0744	-0,1262	-0,0934	-0,1282	0,0121	-0,1375	0,0107	-0,0431	0,0202	0,0381	-0,1096	-0,0117	-0,2102	0,1010	-0,0642	-0,0927	0,0433	
Livello di emissioni pro-capite	0,1284	0,1230	0,1152	0,1069	0,0989	0,0864	0,0783	0,0681	0,0687	0,0588	0,0592	0,0564	0,0573	0,0591	0,0524	0,0516	0,0407	0,0447	0,0413	0,0371	0,0388	
GDP pro-capite	17327,741 7	18344,717 6	19157,357 6	19953,6895	20589,9022	21763,6182	22797,9064	23586,0081	24265,0825	25107,9915	25698,4433	26631,7068	27542,7335	27745,0535	26615,9334	27067,8883	27576,2562	27095,6108	26639,4476	26679,5549	27212,3574	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0795	0,0587	0,0443	0,0416	0,0319	0,0570	0,0475	0,0346	0,0288	0,0347	0,0235	0,0363	0,0342	0,0073	-0,0407	0,0170	0,0188	-0,0174	-0,0168	0,0015	0,0200	

	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000	
Olanda																						
Tasso di crescita CO	-0,0092	-0,0192	-0,0557	-0,0390	-0,0355	-0,0460	-0,0023	-0,0103	-0,0106	0,0122	-0,0270	0,0145	-0,0164	0,0058	-0,0676	-0,0019	-0,0327	-0,0508	-0,0483	-0,0467	0,0132	
Livello di emissioni pro-capite	0,0594	0,0580	0,0544	0,0520	0,0498	0,0472	0,0467	0,0460	0,0453	0,0456	0,0443	0,0449	0,0441	0,0441	0,0409	0,0406	0,0391	0,0370	0,0351	0,0334	0,0336	
GDP pro-capite	21045,402 3	21954,479 5	23378,975 3	24785,7528	26235,4978	28134,7923	29707,7560	30621,2876	31227,2154	32179,4688	33432,1944	35434,2604	37436,9052	38865,3057	37357,8648	38007,6452	38514,7157	38505,8468	38843,8003	39312,6407	40345,9331	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0473	0,0432	0,0649	0,0602	0,0585	0,0724	0,0559	0,0308	0,0198	0,0305	0,0389	0,0599	0,0565	0,0382	-0,0388	0,0174	0,0133	-0,0002	0,0088	0,0121	0,0263	
Norvegia																						
Tasso di crescita CO	-0,0282	-0,0277	-0,0123	-0,0361	-0,0383	-0,0293	-0,0285	-0,0125	-0,0411	-0,0499	0,0054	-0,0475	-0,0283	-0,0263	-0,0981	0,0281	-0,0558	-0,0159	-0,0695	-0,0507	0,0155	
Livello di emissioni pro-capite	0,1659	0,1605	0,1577	0,1511	0,1443	0,1392	0,1345	0,1321	0,1259	0,1190	0,1188	0,1122	0,1079	0,1038	0,0924	0,0939	0,0875	0,0850	0,0781	0,0733	0,0737	
GDP pro-capite	220941,35 05	240715,84 56	259088,15 51	262484,813 1	283667,790 0	335759,759 5	346626,342 5	343791,612 4	354800,535 8	388069,670 4	430200,478 4	475319,787 2	499246,042 8	547124,792 3	503486,426 9	530498,121 2	564446,866 3	591454,582 8	605473,083 3	612521,490 2	600765,398 3	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0679	0,0895	0,0763	0,0131	0,0807	0,1836	0,0324	-0,0082	0,0320	0,0938	0,1086	0,1049	0,0503	0,0959	-0,0798	0,0536	0,0640	0,0478	0,0237	0,0116	-0,0192	
Polonia																						
Tasso di crescita CO	-0,0044	0,0272	-0,0575	-0,1246	0,0046	-0,1407	-0,0456	0,0048	-0,0281	0,0228	-0,0024	0,0520	-0,0758	0,0026	-0,0265	0,0558	-0,0937	0,0059	-0,0492	-0,0916	-0,0024	
Livello di emissioni pro-capite	0,1136	0,1166	0,1099	0,0961	0,0966	0,0839	0,0801	0,0805	0,0783	0,0801	0,0799	0,0842	0,0778	0,0780	0,0759	0,0804	0,0728	0,0732	0,0697	0,0633	0,0632	
GDP pro-capite	8930,7687	11164,505 7	13500,636 2	15675,4897	17415,4754	19525,8434	20392,5290	21203,4863	22142,1155	24437,0796	25951,9573	28048,9896	31153,9232	33732,2858	35967,2436	37991,3736	41163,6892	42808,4486	43556,4265	45243,1072	47369,3593	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,3669	0,2501	0,2092	0,1611	0,1110	0,1212	0,0444	0,0398	0,0443	0,1036	0,0620	0,0808	0,1107	0,0828	0,0663	0,0563	0,0835	0,0400	0,0175	0,0387	0,0470	
Spagna																						
Tasso di crescita CO	-0,0735	-0,0006	-0,0572	-0,0170	-0,0418	-0,1816	-0,1407	-0,0639	-0,0414	-0,0332	-0,0371	-0,0614	-0,0065	-0,0608	-0,0856	0,0426	-0,0236	-0,0321	-0,0214	0,0105	-0,0008	
Livello di emissioni pro-capite	0,1018	0,1013	0,0951	0,0931	0,0888	0,0724	0,0618	0,0570	0,0537	0,0510	0,0483	0,0446	0,0435	0,0402	0,0364	0,0378	0,0368	0,0356	0,0349	0,0354	0,0354	
GDP pro-capite	11563,196 6	12233,487 4	12932,670 2	13774,0842	14715,5728	15930,0968	17124,1357	18084,9583	19045,1968	20069,4774	21317,2679	22703,4880	23897,4884	24289,9949	23274,0171	23207,5357	22900,8822	22231,0687	22001,1156	22327,8896	23253,3514	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0735	0,0580	0,0572	0,0651	0,0684	0,0825	0,0750	0,0561	0,0531	0,0538	0,0622	0,0650	0,0526	0,0164	-0,0418	-0,0029	-0,0132	-0,0292	-0,0103	0,0149	0,0414	

	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Svizzera																					
Tasso di crescita CO	-0,0722	-0,0354	-0,0569	-0,0415	-0,0278	-0,0584	-0,0485	-0,0678	-0,0305	-0,0505	-0,0477	-0,0733	-0,0620	-0,0382	-0,0606	-0,0411	-0,0855	-0,0313	-0,0346	-0,0849	-0,0459
Livello di emissioni pro-capite	0,0758	0,0728	0,0685	0,0654	0,0633	0,0593	0,0560	0,0518	0,0499	0,0470	0,0445	0,0410	0,0381	0,0362	0,0336	0,0319	0,0288	0,0276	0,0264	0,0238	0,0225
GDP pro-capite	57543,3350	57692,5878	58658,5887	60162,6443	60961,2395	63952,0240	65038,3996	64489,2477	64759,5482	66328,4736	68427,0693	72193,1795	76291,7071	78511,5859	76088,0788	77806,7277	78516,7937	78332,5019	78891,0452	79343,7776	78930,6875
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0055	0,0026	0,0167	0,0256	0,0133	0,0491	0,0170	-0,0084	0,0042	0,0242	0,0316	0,0550	0,0568	0,0291	-0,0309	0,0226	0,0091	-0,0023	0,0071	0,0057	-0,0052
Regno Unito																					
Tasso di crescita CO	-0,0692	0,0057	-0,1085	-0,0679	-0,0662	-0,1310	0,0149	-0,1109	-0,0881	-0,0507	-0,0750	-0,0474	-0,0750	-0,0541	-0,1565	-0,0419	-0,0892	-0,0113	-0,0006	-0,0347	-0,0375
Livello di emissioni pro-capite	0,1028	0,1031	0,0917	0,0852	0,0793	0,0686	0,0694	0,0614	0,0558	0,0526	0,0484	0,0457	0,0420	0,0394	0,0330	0,0313	0,0283	0,0278	0,0276	0,0265	0,0253
GDP pro-capite	14583,6289	15524,7782	16260,4000	16915,3934	17543,9458	18493,5389	19053,9450	19873,2101	20931,5627	21839,2524	22952,9523	24051,1337	25057,1312	25441,5702	24560,4947	25170,7583	25847,1383	26455,5269	27328,9019	28431,7003	29000,0005
Tasso di crescita GDP pro-capite	28782,1750	30068,2309	31572,6902	32949,1978	34620,9289	36449,8551	37273,6181	38166,0378	39677,1983	41921,8098	44307,9206	46437,0671	48061,5377	48401,4273	47001,5553	48373,8788	49790,6655	51450,1223	52787,0269	54706,8682	56469,0090
Stati Uniti																					
Tasso di crescita CO	-0,0508	0,0164	-0,0850	-0,0215	-0,0073	-0,0007	-0,0717	-0,1203	-0,0480	-0,0505	-0,0455	-0,0336	-0,0348	-0,1033	-0,1023	0,0168	-0,0083	-0,0442	-0,0462	0,0000	-0,0874
Livello di emissioni pro-capite	0,4319	0,4339	0,3923	0,3795	0,3724	0,3680	0,3383	0,2948	0,2783	0,2618	0,2476	0,2370	0,2266	0,2012	0,1791	0,1806	0,1777	0,1686	0,1597	0,1585	0,1436
GDP pro-capite	0,1324	0,0645	0,0474	0,0403	0,0372	0,0541	0,0303	0,0430	0,0533	0,0434	0,0510	0,0478	0,0418	0,0153	-0,0346	0,0248	0,0269	0,0235	0,0330	0,0404	0,0200
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0362	0,0447	0,0500	0,0436	0,0507	0,0528	0,0226	0,0239	0,0396	0,0566	0,0569	0,0481	0,0350	0,0071	-0,0289	0,0292	0,0293	0,0333	0,0260	0,0364	0,0322

Ammoniaca – Dati per l’analisi di regressione

	1995.0000	1996.0000	1997.0000	1998.0000	1999.0000	2000.0000	2001.0000	2002.0000	2003.0000	2004.0000	2005.0000	2006.0000	2007.0000	2008.0000	2009.0000	2010.0000	2011.0000	2012.0000	2013.0000	2014.0000	2015.0000	
Austria																						
Tasso di crescita NH3	0,0176	-0,0215	0,0046	0,0066	-0,0232	-0,0231	-0,0008	-0,0142	-0,0063	-0,0119	-0,0055	-0,0013	0,0162	-0,0094	0,0134	-0,0122	-0,0119	-0,0033	-0,0077	-0,0011	-0,0066	
Livello di emissioni pro-capite	0,0087	0,0086	0,0086	0,0086	0,0084	0,0083	0,0082	0,0081	0,0081	0,0080	0,0079	0,0079	0,0081	0,0080	0,0081	0,0080	0,0079	0,0079	0,0078	0,0078	0,0077	
GDP pro-capite	22219,750 0	22935,103 7	23685,089 0	24614,7428	25505,7953	26662,2630	27420,6722	28054,4947	28549,4870	29656,0534	30879,9600	32390,3831	34232,8268	35301,5744	34523,8965	35379,9290	36956,8462	37799,9265	38199,7730	38993,1154	39903,4433	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0437	0,0322	0,0327	0,0393	0,0362	0,0453	0,0284	0,0231	0,0176	0,0388	0,0413	0,0489	0,0569	0,0312	-0,0220	0,0248	0,0446	0,0228	0,0106	0,0208	0,0233	
Belgio																						
Tasso di crescita NH3	0,0205	0,0080	-0,0059	0,0016	0,0012	-0,2836	-0,0310	-0,0214	-0,0489	-0,0722	-0,0327	-0,0100	-0,0090	-0,0180	-0,0049	-0,0019	-0,0287	-0,0208	0,0026	-0,0163	-0,0078	
Livello di emissioni pro-capite	0,0112	0,0113	0,0112	0,0112	0,0112	0,0081	0,0078	0,0076	0,0073	0,0067	0,0065	0,0065	0,0064	0,0063	0,0063	0,0062	0,0061	0,0059	0,0060	0,0059	0,0058	
GDP pro-capite	20875,973 7	21261,210 8	22194,603 9	22982,3989	23881,8691	25189,3184	25838,3893	26620,6158	27239,0976	28663,9356	29725,3731	30969,2265	32441,3921	33059,4578	32305,0365	33509,0283	34315,2683	34821,3097	35084,1653	35711,1397	36404,8310	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0342	0,0185	0,0439	0,0355	0,0391	0,0547	0,0258	0,0303	0,0232	0,0523	0,0370	0,0418	0,0475	0,0191	-0,0228	0,0373	0,0241	0,0147	0,0075	0,0179	0,0194	
Canada																						
Tasso di crescita NH3	0,0335	0,0281	0,0057	-0,0061	-0,0085	0,0187	-0,0076	0,0176	-0,0227	0,0175	-0,0150	-0,0289	-0,0043	-0,0329	-0,0418	-0,0258	-0,0138	0,0212	0,0171	-0,0211	-0,0049	
Livello di emissioni pro-capite	0,0151	0,0156	0,0157	0,0156	0,0154	0,0157	0,0156	0,0159	0,0155	0,0158	0,0155	0,0151	0,0150	0,0145	0,0139	0,0136	0,0134	0,0137	0,0139	0,0136	0,0135	
GDP pro-capite	28240,546 4	28883,320 6	30142,927 6	30987,1098	32933,8474	35826,8036	36693,5419	37926,5353	39471,9977	41605,8134	43854,5432	45814,6719	47845,2762	49718,2905	46608,1357	48878,6239	51536,9460	52454,0838	53980,2011	56005,6426	55673,2094	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0413	0,0228	0,0436	0,0280	0,0628	0,0878	0,0242	0,0336	0,0407	0,0541	0,0540	0,0447	0,0443	0,0391	-0,0626	0,0487	0,0544	0,0178	0,0291	0,0375	-0,0059	
Danimarca																						
Tasso di crescita NH3	-0,0631	-0,0370	-0,0074	-0,0017	-0,0538	-0,0221	-0,0217	-0,0189	-0,0118	-0,0088	-0,0413	-0,0448	-0,0144	-0,0244	-0,0530	0,0027	-0,0250	-0,0274	-0,0407	-0,0025	0,0013	
Livello di emissioni pro-capite	0,0203	0,0196	0,0194	0,0194	0,0183	0,0179	0,0175	0,0172	0,0170	0,0169	0,0162	0,0154	0,0152	0,0148	0,0141	0,0141	0,0137	0,0134	0,0128	0,0128	0,0128	
GDP pro-capite	198052,57 53	206727,85 52	216864,89 15	223593,332 0	233289,720 3	248503,263 2	255939,828 1	262330,561 9	266530,243 3	278655,674 1	292647,642 8	309394,122 6	318385,926 9	327920,328 0	311807,600 6	326429,249 8	331537,587 2	338903,263 7	343668,810 2	351054,093 4	356666,501 9	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0381	0,0438	0,0490	0,0310	0,0434	0,0652	0,0299	0,0250	0,0160	0,0455	0,0502	0,0572	0,0291	0,0299	-0,0491	0,0469	0,0156	0,0222	0,0141	0,0215	0,0160	

	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000	
Finlandia																						
Tasso di crescita NH3	0,0095	0,0302	0,0383	-0,0221	0,0700	-0,0818	-0,0151	0,0362	0,0193	0,0058	0,0104	-0,0220	-0,0099	-0,0281	0,0029	0,0010	-0,0326	-0,0224	-0,0209	0,0065	-0,0528	
Livello di emissioni pro-capite	0,0064	0,0066	0,0069	0,0067	0,0072	0,0066	0,0065	0,0067	0,0069	0,0069	0,0070	0,0068	0,0067	0,0066	0,0066	0,0066	0,0064	0,0062	0,0061	0,0061	0,0058	
GDP pro-capite	19295,233 4	19915,805 7	21545,049 6	23359,2795	24571,4140	26324,4780	27840,5507	28513,8363	29075,1185	30312,1244	31335,1109	32777,2912	35279,6140	36457,0777	33907,7307	34884,9003	36536,5742	36903,2269	37385,3736	37622,1823	38252,1789	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0817	0,0322	0,0818	0,0842	0,0519	0,0713	0,0576	0,0242	0,0197	0,0425	0,0337	0,0460	0,0763	0,0334	-0,0699	0,0288	0,0473	0,0100	0,0131	0,0063	0,0167	
Germania																						
Tasso di crescita NH3	0,0186	0,0077	-0,0089	0,0107	0,0089	0,0031	0,0102	-0,0218	-0,0013	-0,0119	-0,0064	0,0080	0,0017	0,0154	0,0289	-0,0392	0,0812	-0,0274	0,0323	0,0066	0,0208	
Livello di emissioni pro-capite	0,0083	0,0084	0,0083	0,0084	0,0085	0,0085	0,0086	0,0084	0,0084	0,0083	0,0082	0,0083	0,0083	0,0084	0,0087	0,0083	0,0090	0,0088	0,0090	0,0091	0,0093	
GDP pro-capite	23248,351 0	23516,132 3	23978,734 6	24598,4034	25150,7173	25744,3277	26470,5766	26783,0077	26898,9176	27517,2433	27899,5529	29052,5990	30549,9068	31198,8427	30039,2027	31549,9738	33673,2553	34295,7013	35045,1832	36211,1567	37260,0842	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0344	0,0115	0,0197	0,0258	0,0225	0,0236	0,0282	0,0118	0,0043	0,0230	0,0139	0,0413	0,0515	0,0212	-0,0372	0,0503	0,0673	0,0185	0,0219	0,0333	0,0290	
Ungheria																						
Tasso di crescita NH3	0,0155	0,0189	-0,0322	0,0278	0,0296	0,0098	-0,0179	0,0125	0,0166	-0,0443	-0,0481	0,0039	0,0054	-0,0923	-0,0285	0,0146	0,0157	0,0062	0,0446	-0,0021	0,0548	
Livello di emissioni pro-capite	0,0079	0,0080	0,0078	0,0080	0,0082	0,0083	0,0082	0,0083	0,0084	0,0080	0,0076	0,0077	0,0077	0,0070	0,0068	0,0069	0,0070	0,0071	0,0074	0,0074	0,0078	
GDP pro-capite	56497,751 71	69074,70 65	85839,34 60	101849,02 48	1139001,49 74	1307424,53 39	1513523,33 47	1718906,76 36	1889414,06 29	2087539,64 77	2236515,77 54	2408506,19 13	2553776,43 50	2709017,80 28	2636488,75 30	2722453,63 84	2838519,14 52	2901211,06 47	3057396,77 48	3303280,66 74	3487149,48 29	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,2880	0,2226	0,2427	0,1865	0,1183	0,1479	0,1576	0,1357	0,0992	0,1049	0,0714	0,0769	0,0603	0,0608	-0,0268	0,0326	0,0426	0,0221	0,0538	0,0804	0,0557	
Italia																						
Tasso di crescita NH3	-0,0119	-0,0199	0,0258	-0,0046	0,0130	-0,0102	0,0108	-0,0289	-0,0108	-0,0248	-0,0346	-0,0081	0,0151	-0,0296	-0,0414	-0,0361	0,0316	0,0311	-0,0432	-0,0295	-0,0016	
Livello di emissioni pro-capite	0,0079	0,0078	0,0080	0,0079	0,0080	0,0080	0,0080	0,0078	0,0077	0,0075	0,0073	0,0072	0,0073	0,0071	0,0068	0,0066	0,0068	0,0070	0,0067	0,0065	0,0065	
GDP pro-capite	17327,741 7	18344,717 6	19157,357 6	19953,6895	20589,9022	21763,6182	22797,9064	23586,0081	24265,0825	25107,9915	25698,4433	26631,7068	27542,7335	27745,0535	26615,9334	27067,8883	27576,2562	27095,6108	26639,4476	26679,5549	27212,3574	
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0795	0,0587	0,0443	0,0416	0,0319	0,0570	0,0475	0,0346	0,0288	0,0347	0,0235	0,0363	0,0342	0,0073	-0,0407	0,0170	0,0188	-0,0174	-0,0168	0,0015	0,0200	

Olanda	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita NH3	-0,1515	0,0053	-0,0492	-0,0763	-0,0194	-0,1217	-0,0429	-0,0495	-0,0301	-0,0122	-0,0214	0,0118	-0,0167	-0,0960	-0,0267	-0,0268	-0,0333	-0,0472	-0,0160	0,0266	-0,0028
Livello di emissioni pro-capite	0,0147	0,0148	0,0140	0,0130	0,0127	0,0112	0,0107	0,0102	0,0099	0,0097	0,0095	0,0096	0,0095	0,0086	0,0083	0,0081	0,0078	0,0075	0,0074	0,0076	0,0075
GDP pro-capite	21045,402 3	21954,479 5	23378,975 3	24785,7528	26235,4978	28134,7923	29707,7560	30621,2876	31227,2154	32179,4688	33432,1944	35434,2604	37436,9052	38865,3057	37357,8648	38007,6452	38514,7157	38505,8468	38843,8003	39312,6407	40345,9331
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0473	0,0432	0,0649	0,0602	0,0585	0,0724	0,0559	0,0308	0,0198	0,0305	0,0389	0,0599	0,0565	0,0382	-0,0388	0,0174	0,0133	-0,0002	0,0088	0,0121	0,0263
Norvegia	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita NH3	0,0354	0,0234	-0,0351	0,0247	0,0148	-0,0098	-0,0023	0,0112	0,0326	0,0021	-0,0199	-0,0078	-0,0186	-0,0087	0,0010	-0,0211	-0,0395	0,0032	-0,0131	-0,0043	-0,0056
Livello di emissioni pro-capite	0,0055	0,0057	0,0055	0,0056	0,0057	0,0056	0,0056	0,0057	0,0059	0,0059	0,0058	0,0057	0,0056	0,0056	0,0056	0,0055	0,0052	0,0053	0,0052	0,0052	0,0051
GDP pro-capite	220941,35 05	240715,84 56	259088,15 51	262484,813 1	283667,790 0	335759,759 5	346626,342 5	343791,612 4	354800,535 8	388069,670 4	430200,478 4	475319,787 2	499246,042 8	547124,792 3	503486,426 9	530498,121 2	564446,866 3	591454,582 8	605473,083 3	612521,490 2	600765,398 3
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0679	0,0895	0,0763	0,0131	0,0807	0,1836	0,0324	-0,0082	0,0320	0,0938	0,1086	0,1049	0,0503	0,0959	-0,0798	0,0536	0,0640	0,0478	0,0237	0,0116	-0,0192
Polonia	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita NH3	-0,0153	-0,0506	0,0162	0,0138	-0,0249	-0,0464	0,0131	-0,0015	-0,0550	-0,0404	0,0269	0,0720	-0,0028	-0,0451	-0,0463	-0,0212	0,0001	-0,0364	-0,0020	-0,0138	-0,0071
Livello di emissioni pro-capite	0,0091	0,0087	0,0088	0,0089	0,0087	0,0083	0,0084	0,0084	0,0080	0,0076	0,0078	0,0084	0,0084	0,0080	0,0076	0,0075	0,0075	0,0072	0,0072	0,0071	0,0070
GDP pro-capite	8930,7687	11164,505 7	13500,636 2	15675,4897	17415,4754	19525,8434	20392,5290	21203,4863	22142,1155	24437,0796	25951,9573	28048,9896	31153,9232	33732,2858	35967,2436	37991,3736	41163,6892	42808,4486	43556,4265	45243,1072	47369,3593
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,3669	0,2501	0,2092	0,1611	0,1110	0,1212	0,0444	0,0398	0,0443	0,1036	0,0620	0,0808	0,1107	0,0828	0,0663	0,0563	0,0835	0,0400	0,0175	0,0387	0,0470
Spagna	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita NH3	-0,0227	0,0693	0,0056	0,0318	0,0230	0,0504	0,0000	-0,0275	0,0028	-0,0245	-0,0734	-0,0479	0,0089	-0,1049	-0,0158	-0,0001	-0,0231	-0,0207	0,0181	0,0476	0,0465
Livello di emissioni pro-capite	0,0108	0,0115	0,0116	0,0120	0,0123	0,0129	0,0129	0,0125	0,0126	0,0122	0,0113	0,0108	0,0109	0,0098	0,0096	0,0096	0,0094	0,0092	0,0094	0,0098	0,0103
GDP pro-capite	11563,196 6	12233,487 4	12932,670 2	13774,0842	14715,5728	15930,0968	17124,1357	18084,9583	19045,1968	20069,4774	21317,2679	22703,4880	23897,4884	24289,9949	23274,0171	23207,5357	22900,8822	22231,0687	22001,1156	22327,8896	23253,3514
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0735	0,0580	0,0572	0,0651	0,0684	0,0825	0,0750	0,0561	0,0531	0,0538	0,0622	0,0650	0,0526	0,0164	-0,0418	-0,0029	-0,0132	-0,0292	-0,0103	0,0149	0,0414
Svizzera	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000

Tasso di crescita NH3	-0,0185	-0,0083	-0,0332	-0,0101	-0,0260	0,0022	-0,0097	-0,0256	-0,0221	-0,0114	0,0036	-0,0022	0,0016	-0,0105	-0,0323	-0,0133	-0,0260	-0,0220	-0,0248	-0,0056	-0,0262
Livello di emissioni pro-capite	0,0099	0,0099	0,0095	0,0094	0,0092	0,0092	0,0091	0,0089	0,0087	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0085	0,0083	0,0081	0,0079	0,0078	0,0076	0,0075	0,0073
GDP pro-capite	57543,335 0	57692,587 8	58658,588 7	60162,6443	60961,2395	63952,0240	65038,3996	64489,2477	64759,5482	66328,4736	68427,0693	72193,1795	76291,7071	78511,5859	76088,0788	77806,7277	78516,7937	78332,5019	78891,0452	79343,7776	78930,6875
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0055	0,0026	0,0167	0,0256	0,0133	0,0491	0,0170	-0,0084	0,0042	0,0242	0,0316	0,0550	0,0568	0,0291	-0,0309	0,0226	0,0091	-0,0023	0,0071	0,0057	-0,0052
Regno Unito	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita NH3	-0,0052	0,0312	0,0240	-0,0164	-0,0138	-0,0332	-0,0222	-0,0183	-0,0273	0,0079	-0,0243	-0,0200	-0,0377	-0,0535	-0,0081	-0,0011	-0,0023	-0,0223	-0,0158	0,0318	0,0087
Livello di emissioni pro-capite	0,0056	0,0058	0,0059	0,0058	0,0057	0,0055	0,0054	0,0053	0,0052	0,0052	0,0051	0,0050	0,0048	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0044	0,0043	0,0045	0,0045
GDP pro-capite	14583,628 9	15524,778 2	16260,400 0	16915,3934	17543,9458	18493,5389	19053,9450	19873,2101	20931,5627	21839,2524	22952,9523	24051,1337	25057,1312	25441,5702	24560,4947	25170,7583	25847,1383	26455,5269	27328,9019	28431,7003	29000,0005
Tasso di crescita GDP pro-capite	28782,175 0	30068,230 9	31572,690 2	32949,1978	34620,9289	36449,8551	37273,6181	38166,0378	39677,1983	41921,8098	44307,9206	46437,0671	48061,5377	48401,4273	47001,5553	48373,8788	49790,6655	51450,1223	52787,0269	54706,8682	56469,0090
Stati Uniti	1995,0000	1996,0000	1997,0000	1998,0000	1999,0000	2000,0000	2001,0000	2002,0000	2003,0000	2004,0000	2005,0000	2006,0000	2007,0000	2008,0000	2009,0000	2010,0000	2011,0000	2012,0000	2013,0000	2014,0000	2015,0000
Tasso di crescita NH3	0,0034	0,0029	0,0072	0,0131	-0,0280	-0,0005	-0,2556	0,0114	-0,0141	-0,0147	0,0104	0,0283	0,0270	0,0072	-0,0186	-0,0189	-0,0182	-0,9990	-0,0072	-0,0875	-0,0093
Livello di emissioni pro-capite	0,0159	0,0159	0,0160	0,0162	0,0158	0,0158	0,0117	0,0119	0,0117	0,0115	0,0117	0,0120	0,0123	0,0124	0,0122	0,0119	0,0117	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
GDP pro-capite	0,1324	0,0645	0,0474	0,0403	0,0372	0,0541	0,0303	0,0430	0,0533	0,0434	0,0510	0,0478	0,0418	0,0153	-0,0346	0,0248	0,0269	0,0235	0,0330	0,0404	0,0200
Tasso di crescita GDP pro-capite	0,0362	0,0447	0,0500	0,0436	0,0507	0,0528	0,0226	0,0239	0,0396	0,0566	0,0569	0,0481	0,0350	0,0071	-0,0289	0,0292	0,0293	0,0333	0,0260	0,0364	0,0322