



Università  
Ca' Foscari  
Venezia

# Corso di Laurea Magistrale in Economia

Vecchio ordinamento, ante D.M. 509/1999

Ordinamento ex D.M. 509/1999

Ordinamento ex D.M. 270/2004

## Tesi di Laurea

### CONVERGENZA DI CRESCITA E INQUINAMENTO

Rassegna di studi

#### **Relatore**

Ch. Prof. Roberto Roson

#### **Laureando**

Silvia Minto – Matricola 832168

#### **Anno Accademico**

2016 / 2017



Università  
Ca'Foscari  
Venezia

## CONVERGENZA DI CRESCITA E INQUINAMENTO

– Rassegna di studi

<b>INDICE</b>	Pag. 2
Capitolo 1 – Convergenza di crescita e inquinamento.....	pag. 4
1.1 Introduzione.....	pag. 4
1.2 La convergenza della crescita economica del PIL verso uno stato stazionario .....	pag. 6
1.2.1 Quah (1996) “Empirics for economic growth and convergence”.....	pag. 10
1.3 La convergenza della crescita dell’inquinamento ad uno stato stazionario.....	pag. 11
1.3.1 Panopoulou e Pantelidis (2009) “Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions”.....	pag. 14
1.4 Alcuni studi sulla convergenza delle emissioni inquinanti fra paesi .....	pag. 20
1.4.1 Strazicich e List (2003) “Are CO2 Emissions Levels Converging Among Industrial Countries?”.....	pag. 21
1.4.2 Nguyen Van (2005) “Distribution Dynamics of CO2 Emissions”.....	pag. 25
1.4.3 Aldy (2006) “Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?”.....	pag. 26
1.4.4 Barassi e altri (2011) “The Stochastic Convergence Of CO2 Emissions: A Long Memory Approach”.....	pag. 29
1.4.5 Westerlund e Basher (2008) “Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data”.....	pag. 32
1.4.6 Jalil (2016) “Per Capita Carbon Dioxide Emission in the Developing Economies: Convergence or Divergence?”.....	pag. 37
1.4.7 Nourry (2009) “Re-Examining the Empirical Evidence for Stochastic Convergence of Two Air Pollutants with a Pair-Wise Approach”.....	pag. 39
1.4.8 List (1999) “Have Air Pollutant Emissions Converged Among U.S. Regions? Evidence from Unit Root Test”.....	pag. 43
1.4.9 Acar e Lindmark (2016) “Periods of converging carbon dioxide emissions from oil combustion in a pre-Kyoto context”.....	pag. 46
1.4.10 De Oliveira e Bourscheidt (2017) “Multi-sectorial convergence in greenhouse gas emissions”.....	pag. 50



# Università Ca'Foscari Venezia

1.4.11 Panopoulou e Pantelidis (2009) “Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions” .....	pag. 57
1.5 La relazione fra crescita economica e ambiente.....	pag. 58
1.5.1 Brock e Taylor (2005) “Economic growth and the environment: A review of theory and empirics”.....	pag. 59
1.5.2 Xepapadeas (2005) “Economic Growth and the Environment”.....	pag. 63
1.5.3 Grossman e Krueger (1995) “Economic Growth and the Environment”.....	pag. 65
1.5.4 Selden e Song (1994) “Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?”.....	pag. 70
1.5.5 Carson e altri (1997) “The relationship between air pollution emissions and income: US data”.....	pag. 72
1.5.6 Bengochea-Morancho e altri (2001) “Economic Growth and CO2 Emissions in the European Union”.....	pag. 74
1.5.7 Markandya e altri (2006) “Empirical Analysis of National Income and SO2 Emissions in Selected European Countries”.....	pag. 77
1.5.8 Bassetti e altri (2013) “CO2 Emissions and Income Dynamics: What Does the Global Evidence Tell Us?”.....	pag. 82
1.6 L’articolo “Growth and pollution convergence: Theory and Evidence, di Criado, Valente, Stengos (2011).....	pag. 89
1.7 L’andamento delle emissioni inquinanti dell’aria negli ultimi decenni.....	pag.101
Capitolo 2 – Nozioni sull’inquinamento dell’aria.....	pag.106
2.1 L’effetto serra.....	pag.113
3. Considerazioni conclusive .....	pag.116
Bibliografia.....	pag.123



Università  
Ca'Foscari  
Venezia

## **Capitolo 1**

### **1. CONVERGENZA DI CRESCITA E INQUINAMENTO**

Rassegna di studi sull'argomento.

#### **1.1 Introduzione**

Nel presente studio mi sono soffermata sul problema delle relazioni fra crescita e inquinamento e ho cercato di capire perché vari autori e scritti di epoca relativamente recente si soffermino sul problema della convergenza della crescita del Pil e dell'inquinamento verso un livello/più livelli di stato stazionario, per cui paesi diversi si avvicinano e tenderebbero ad un medesimo livello di Pil ed inquinamento. Per la convergenza dell'inquinamento ad uno stato stazionario, il metodo di esame viene mutuato da scritti che indagano sulla convergenza del Pil fra stati diversi. Sebbene il problema della convergenza possa non essere posto in termini assoluti, in quanto la realtà è più complessa di quanto gli studi possano far pensare, ho ritenuto interessante approfondire un filone di articoli pubblicati sull'argomento, per esaminare il rapporto sotteso fra crescita economica ed inquinamento. Ho esaminato gli articoli più citati dagli autori medesimi che trattano l'argomento, risalendo alle basi teoriche, poste di fatto in alcuni articoli degli anni Novanta del Novecento, con frequenti richiami ad un testo di Solow (1956). Ho esaminato il modello teorico alla base, i riferimenti tecnici ed econometrici con cui i diversi autori si sono posti il problema della convergenza come definizione e come misurazione. Anche ammesso che il problema della convergenza sia ben posto, ho cercato di capire quanto fondati siano i percorsi, i presupposti e le metodologie che portano alla determinazione della convergenza ed alla sua misurazione concreta. Ho esaminato le assunzioni ed i vari test sui quali si basano le asserzioni e le conclusioni degli scritti reperiti, per cercare di capire metodi, limiti e fondamenti. Questo per misurare la ragionevolezza e la



# Università Ca'Foscari Venezia

validità delle conclusioni degli autori sul problema. Il problema potrebbe essere complesso, ed indubbiamente molti punti non sono per me chiari nelle fonti reperite.

A partire dall'articolo di Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011) "Growth and pollution convergence: Theory and evidence", in "Journal of Environmental Economics and Management" 62 (2011) pp. 199-214, farò una breve rassegna di studi pubblicati che trattano l'argomento o problematiche simili, evidenziando le posizioni dei vari autori, le premesse da essi adottate, le implicazioni dei metodi utilizzati e valutando i risultati cui pervengono. Gli autori dell'articolo citato esaminano le relazioni fra crescita economica del Pil e quantità di emissioni inquinanti, per verificare se sussista una convergenza verso uno stato stazionario dell'inquinamento da ossidi di azoto (NOx) e ossidi di zolfo (SOx) in un campione di 25 paesi dell'Europa, suddivisi in due sotto-campioni di paesi europei dell'Unione Europea a 15 stati ed altri paesi europei non dell'Unione Europea a 15 stati, nel periodo dal 1980 al 2005. Esaminano anche la relazione fra crescita del Pil o livello del Pil e quantità di emissioni inquinanti. Gli autori concludono che in Europa vi sarebbe una convergenza dei livelli di inquinamento da NOx e SOx ad uno stato stazionario e che la crescita delle emissioni è correlata positivamente alla crescita del Pil, secondo un effetto di scala. Nel loro modello cercano di inserire un effetto difensivo costituito dalla quota di spesa sul Pil in tecnologie verdi, con riduzione delle emissioni inquinanti.

Nel tema trattato si enucleano alcuni problemi di base:

- La convergenza della crescita economica ad uno stato stazionario;
- La convergenza della crescita dell'inquinamento ad uno stato stazionario;
- La relazione fra crescita economica misurata dall'andamento crescente/decrecente del Pil e andamento crescente/decrecente delle emissioni inquinanti;
- La tipologia di emissioni inquinanti dell'aria: ossidi di azoto (NOx), ossidi di zolfo (SOx), anidride carbonica (CO2), materia di particolato (PM), altre sostanze gassose;



- La grandezza del campione, l'ubicazione geografica dei paesi considerati e l'identificazione di sottogruppi ove misurare la convergenza.

## **1.2 La convergenza della crescita economica del Pil verso uno stato stazionario**

L'articolo preso in esame (Ordàs, Valente, Stengos, 2011) si occupa dell'indagine sulla convergenza delle emissioni inquinanti di paesi diversi ad un livello di stato stazionario e dei legami fra crescita delle emissioni inquinanti e crescita del reddito. Per esaminare l'articolo può essere utile chiarire cosa si intenda per convergenza e come questa si misuri. Per l'esame della convergenza dell'inquinamento vengono utilizzati metodi di stima impiegati per valutare la convergenza del reddito fra paesi, traendoli da alcune fonti che vengono definite descrivere l'"economia neoclassica". In Robert J. Barro e Xavier Sala-i-Martin (1992)<sup>1</sup> troviamo una prima descrizione di questo concetto di convergenza. La convergenza nei redditi, per la cui misura si considera il reddito pro capite o il reddito per lavoratore, implica che in un dato momento temporale i redditi dei diversi paesi si eguaglieranno. Questo è possibile se i redditi dei paesi più poveri crescono più velocemente dei redditi dei paesi più ricchi. Nello scritto di Robert J. Barro e Xavier Sala-i-Martin (1992) si vuole verificare la convergenza dei redditi e del prodotto pro capite di 48 stati contigui degli Stati Uniti nel periodo dal 1840 al 1963. Per fare questo viene utilizzato il modello neoclassico di crescita, citando alcuni autori<sup>2</sup>, secondo cui il tasso di crescita pro capite tende ad essere inversamente correlato al livello iniziale di prodotto o reddito pro capite. Se le

---

<sup>1</sup> Robert J. Barro e Xavier Sala-i-Martin, "Convergence", in "Journal of Political Economy", 1992 Vol. 100 n. 2, pp. 223-251.

<sup>2</sup> Ramsey Frank P., "A Mathematical Theory of Saving", in "Econ. J." 38, (December 1928) pp. 543-559;

Solow Robert M., "A Contribution to the Theory of Economic Growth", in "Quarterly Journal of Economics", 70 (February 1956), pp. 65-94;

Cass David, "Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation", in "Rev. Econ. Studies", 32 (July 1965), pp. 233-240;

Koopmans Tjalling C., "On the Concept of Optimal Economic Growth", in "The Econometric Approach to Development Planning", Amsterdam, North Holland, 1965.



# Università Ca'Foscari Venezia

economie sono simili riguardo a preferenze e tecnologia, le economie povere crescono più velocemente delle economie ricche e c'è una forza che promuove la convergenza verso gli stessi livelli di prodotto e reddito pro capite. Il modello è costituito dalla funzione di produzione nella forma intensiva, in cui il prodotto o reddito pro capite è funzione del solo capitale pro capite, o capitale per unità efficiente di lavoro. La crescita del capitale pro capite è generata dalla funzione di capitale pro capite meno il consumo per unità efficiente di lavoro, meno il capitale moltiplicato per una serie di costanti sommate fra di loro, costituite dal tasso di deprezzamento del capitale, dal tasso di crescita della popolazione o della forza lavoro e dal tasso esogeno di progresso tecnico che aumenta l'efficienza del lavoro. Questo è un fattore comune in tali descrizioni dell'economia neoclassica. Dopo una tale formulazione si procede alla massimizzazione della funzione di utilità per le famiglie, in cui la variabile da massimizzare presa in considerazione è il consumo. In queste rappresentazioni dell'economia neoclassica, i tassi di crescita, ad esempio della popolazione, sono rappresentati da esponenti applicati alla base del logaritmo naturale che moltiplica la numerosità della popolazione, così come il progresso tecnico che aumenta l'efficienza lavoro è rappresentato da un esponente. Passando ai logaritmi, queste grandezze diventano addendi che moltiplicano il capitale pro capite, e vengono sottratte nell'equazione che rappresenta l'accumulazione del capitale o il differenziale del capitale. Sono espresse da esponenti nella funzione di utilità anche le elasticità del consumo, ed il tasso di preferenza temporale o tasso di sconto. La massimizzazione della funzione di utilità con variabile il consumo porta alla definizione di tassi di crescita ottimi del consumo. Dalla massimizzazione della funzione di utilità si perviene allo stato stazionario, in cui le quantità stimate di prodotto pro capite, capitale pro capite e consumo pro capite non cambiano e le quantità effettive di prodotto, capitale e consumo pro capite crescono al tasso del progresso tecnico. La dinamica di crescita viene rappresentata da una "Log-linearizzazione" di equazioni e dallo stato stazionario costituito dal tasso di crescita del consumo ottenuto dalla massimizzazione della funzione di utilità. Si utilizzano cioè espressioni lineari di variabili espresse in forma logaritmica. La soluzione viene



# Università Ca'Foscari Venezia

trovata in una approssimazione log-lineare al modello con “tecnologia” Cobb-Douglas, in cui il logaritmo del tasso di crescita del prodotto è uguale al logaritmo del prodotto al tempo iniziale che moltiplica la base del logaritmo naturale elevata ad esponente meno beta che moltiplica il tempo  $t$ . Il parametro beta, che è positivo ma preceduto da segno meno, governa la velocità di aggiustamento allo stato stazionario, ed è uguale ad una espressione piuttosto complessa. Più grande è beta, maggiore è la sensibilità del tasso di crescita medio alla differenza fra il logaritmo del prodotto in stato stazionario di convergenza ed il logaritmo del prodotto a livello iniziale, cioè è tanto più rapida la convergenza allo stato stazionario. Il modello implica convergenza condizionale nel fatto che, per un dato tasso di progresso tecnico ed un dato tasso di crescita del prodotto, il tasso di crescita è maggiore, quanto più basso è il livello di prodotto al momento iniziale. La convergenza è condizionale nel fatto che il livello di reddito iniziale entra in relazione con il prodotto di stato stazionario ed il tasso di progresso tecnico, che possono essere diversi da economia ad economia. Poiché l'elemento cruciale per la convergenza nel modello neoclassico sono i rendimenti decrescenti del capitale, la grandezza di questi rendimenti decrescenti (che è data dalla grandezza dell'esponente alpha del capitale nella funzione di produzione intensiva, in cui il prodotto pro capite è uguale al capitale pro capite elevato ad esponente alfa) ha un effetto forte su beta. In trattazioni successive, il metodo di misurare la convergenza è dato da una semplice funzione lineare in cui il tasso di crescita del prodotto è uguale ad una costante meno il coefficiente beta che moltiplica il valore del prodotto al livello iniziale, nel tempo  $t=0$ . Questo tipo di convergenza, che viene definita convergenza in beta, vede l'elemento cruciale beta del test di valutazione, passare da esponente a parametro, con segno positivo, ma con segno negativo davanti nella funzione.

La convergenza, nel senso che le economie povere crescono più velocemente delle economie ricche, con beta maggiore di zero ma con segno negativo, non implica necessariamente che la dispersione dei dati fra le varie economie del valore del logaritmo del prodotto diminuisce nel tempo. L'effetto derivante da beta maggiore di zero, che tende a diminuire la dispersione, è compensato da





# Università Ca'Foscari Venezia

shock casuali che tendono ad aumentare la dispersione. Una misura di questa dispersione è data dalla varianza. L'evoluzione della varianza del logaritmo del prodotto fra le varie economie al tempo  $t$  è data dalla varianza del logaritmo del prodotto al tempo  $t-1$ , che moltiplica la base del logaritmo naturale elevata ad esponente meno  $2\beta$ , sommata alla varianza dello shock casuale. La varianza del prodotto al tempo  $t$  si avvicina al valore di stato stazionario, che aumenta all'aumentare della varianza degli shocks, ma diminuisce all'aumentare di  $\beta$ . La varianza del prodotto al tempo  $t$  diminuisce (o aumenta) nel tempo se l'iniziale valore della varianza al tempo  $t=0$ , è maggiore (o minore) di un valore della varianza  $\sigma^2$ . Un esponente positivo  $\beta$  preceduto da segno negativo non assicura una diminuzione della varianza del logaritmo del prodotto al tempo  $t$ . La valutazione della convergenza del prodotto fra paesi tramite il valore della dispersione misurato dalla varianza è chiamato anche convergenza in  $\sigma$ .

Riferimenti alla beta-convergenza ed alla sigma-convergenza applicata al prodotto o reddito pro capite si trovano pure in Xavier X. Sala-i-Martin (1996)<sup>3</sup>. L'autore afferma esserci beta-convergenza fra i prodotti di diverse economie se si trova una relazione negativa fra il tasso di crescita del reddito pro capite ed il livello iniziale di reddito. Non si deve confondere la beta-convergenza con la sigma-convergenza, in cui la dispersione del reddito reale pro capite fra gruppi di economie tende a diminuire nel tempo. Secondo l'autore, mentre la sigma-convergenza misura come la distribuzione del reddito evolve col tempo, la beta-convergenza studia la mobilità del reddito all'interno della stessa distribuzione. L'autore vuole dimostrare che la beta-convergenza è una condizione necessaria per la sigma-convergenza, partendo da una espressione della varianza della crescita del reddito al tempo  $t$ , posta uguale al coefficiente uno meno  $\beta$  al quadrato moltiplicato la varianza del reddito al tempo  $t-1$ , sommata alla varianza del termine di errore o shock. Con questa formulazione, argomentando che non vi è beta-convergenza se  $\beta$ , che è preceduto da segno negativo, è minore di zero,

---

<sup>3</sup> Xavier I. Sala-i-Martin, "Regional cohesion: Evidence and theories of regional growth and convergence", in "European Economic Review" 40 (1996) pp. 1325-1352.



dando così luogo ad un segno positivo di beta davanti al logaritmo del reddito al tempo  $t-1$ , anche la varianza della distribuzione del reddito aumenta col tempo. In questo modo, senza beta-convergenza, non vi è neppure sigma-convergenza. La conclusione è che la beta-convergenza è una condizione necessaria ma non sufficiente per la sigma-convergenza.

### *1.2.1 Quah (1996), "Empirics for economic growth and convergence"*

In uno scritto di Quah (1996)<sup>4</sup> non si contestano i modelli economici neoclassici di base, i concetti di convergenza ed i metodi per stimarla, ma si contestano i risultati empirici, laddove secondo l'autore nel mondo non sembrerebbe verificarsi convergenza dei redditi e dei prodotti fra paesi diversi, ma i paesi poveri diventano più poveri ed i paesi ricchi diventano più ricchi, mentre la classe media svanisce. Questa è una critica ricorrente riguardo l'andamento economico mondiale nel complesso e dei singoli stati in particolare. Solo fra gli stati degli Stati Uniti sarebbe rinvenibile il fenomeno della convergenza fra i redditi. Il tasso di convergenza fra i redditi stimato del 2% in molti studi, potrebbe essere dovuto ad altri fattori o a ragioni non correlate alla dinamica della crescita economica. Quah (1996) propone un modello di polarizzazione fra gruppi di paesi: paesi ricchi che diventano più ricchi e paesi poveri che diventano più poveri. L'autore si chiede come si possa credere che la crescita sia la stessa fra diverse economie, soltanto dopo che sono state rimosse poche, ovvie eterogeneità misurabili. E, inoltre, come si possa credere che in quel processo di crescita, dopo il condizionamento di variabili che costituiscono eterogeneità, le economie stiano convergendo verso lo stesso, unico sentiero di crescita di lungo periodo. Espresso in altro modo, si chiede quanto sia credibile che il semplice condizionamento usato in letteratura rimuova tutte le differenze significative nella crescita economica fra le economie, così che i paesi starebbero convergendo. Semplificando, Quah (1996) ritiene che vi sia beta-convergenza quando in una regressione considerata cross-section delle medie temporali dei tassi di crescita sui

---

<sup>4</sup> Quah Danny T., "Empirics for economic growth and convergence", in "European Economic Review", 40 (1996) pp. 1353-1375.



livelli iniziali di reddito, il coefficiente beta del livello iniziale di reddito è negativo: questo significa che le regioni più povere crescono più velocemente. La beta-convergenza condizionale si ha quando si ottiene di nuovo un coefficiente beta negativo, ma solo quando la regressione ha sul lato destro variabili esplicative addizionali. Sempre semplificando, la sigma-convergenza si ha quando la dispersione dei livelli cross-section diminuisce nel tempo. Tipicamente la dispersione è misurata dalla standard deviation del campione. In questi test tutti i dati delle variabili vengono considerati cross-section, mentre in realtà si tratta forse di dati in forma panel, in cui vi sono diverse variabili, considerate in vari paesi, con misurazione dei valori in serie temporali.

### **1.3 La convergenza della crescita dell'inquinamento ad uno stato stazionario**

Nel precedente paragrafo si sono evidenziati due metodi per valutare la convergenza del reddito ad un valore di stato stazionario: la beta-convergenza e la sigma-convergenza, a partire da modelli economici "neoclassici", in cui il reddito ed il prodotto pro capite viene scritto come funzione del solo capitale pro capite, elevato ad esponente alpha, derivando l'espressione dalla funzione che viene detta della "tecnologia" Cobb-Douglas. Entrambi questi metodi sono citati ed utilizzati in una serie di articoli in cui gli autori vogliono indagare la convergenza delle emissioni inquinanti ad uno stato stazionario. In un paper di Ordàs Criado Carlos e Grether Jean-Marie (2010)<sup>5</sup>, che cito perché l'autore Ordàs Criado Carlos forse si identifica con uno degli autori dell'articolo originario da cui è iniziata la presente indagine (Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011))<sup>6</sup>, vengono evidenziati alcuni metodi per stimare la convergenza fra diversi paesi delle

---

<sup>5</sup> Ordàs Criado Carlos e Grether Jean-Marie (2010), "Convergence in CO2 per capita emissions. A robust distributional approach", Centre for Energy Policy and Economics (CEPE), Working Paper N. 70, February 2010.

<sup>6</sup> Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011) "Growth and pollution convergence: Theory and evidence", in "Journal of Environmental Economics and Management" 62 (2011) pp. 199-214.



# Università Ca'Foscari Venezia

emissioni di alcuni inquinanti dell'aria verso uno stato stazionario, e questi metodi sono gli stessi impiegati dalla letteratura che, utilizzando il modello neoclassico cui si è fatto cenno, vuole stimare la convergenza dei redditi pro capite fra vari paesi. Le variabili ora divengono il tasso di crescita delle emissioni inquinanti ed il livello di emissioni inquinanti ad inizio periodo per la beta-convergenza, ove il tasso di crescita delle emissioni inquinanti per i vari paesi viene regredito sul livello di emissioni inquinanti a inizio periodo, con coefficiente beta, che deve risultare con segno negativo. Per la sigma-convergenza, viene utilizzata la varianza o la standard deviation delle emissioni inquinanti nel periodo considerato, per verificare l'eventuale diminuzione di dispersione dei dati, che viene considerata indice di convergenza.

Il paper investiga l'ipotesi di convergenza per le emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> con una serie di dati panel di 166 aree del mondo nel periodo dal 1960 al 2002. Lo studio è basato sull'analisi delle distribuzioni spaziali nel tempo. L'evoluzione dei gap delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> fra paesi e regioni è esplorata soprattutto con quattro misure di convergenza, tutte prestate dalla letteratura sulla crescita del reddito. Riporterò le valutazioni degli autori sui metodi econometrici utilizzati.

La prima misura, chiamata beta-convergenza, cattura l'idea che paesi con livelli iniziali di inquinamento pro capite più bassi dovrebbero sperimentare una crescita dell'inquinamento più alta, e perciò alla fine raggiungere i paesi più inquinanti. In presenza di beta-convergenza assoluta, regredendo nel successivo periodo il tasso medio di crescita per ciascun paese sul suo livello iniziale di inquinamento, dovrebbe risultare una relazione negativa. In pratica, ci si aspetta che il fenomeno di raggiungere i livelli dei paesi più inquinanti accada fra paesi simili, la cui attività economica è decollata in diversi momenti di tempo. Così economie con differenze strutturali tendono a crescere verso il loro livello di inquinamento e la convergenza diventa condizionale rispetto alle caratteristiche del paese. In questo caso la convergenza beta-condizionale è investigata naturalmente aggiungendo una serie di fattori esplicativi esogeni alla regressione di beta-convergenza assoluta.

La seconda misura empirica di convergenza, chiamata sigma-convergenza,



# Università Ca'Foscari Venezia

richiede che la dispersione del valore del reddito pro capite fra un gruppo di paesi decresca nel tempo. La sigma-convergenza si riferisce ad una diminuzione nel tempo nella variazione di dati cross-section della variabile di interesse. Tipicamente è usata la standard deviation del campione per misurare la variazione. La beta-convergenza è una condizione necessaria ma non sufficiente perché la varianza dei dati cross-section diminuisca nel tempo. La convergenza può non riuscire a catturare fenomeni di polarizzazione in caso di tendenza verso la multimodalità.

La convergenza stocastica è un altro approccio alla convergenza basato su analisi su serie temporali univariate. Si basa sulla considerazione che è importante esaminare la persistenza di shock sulla variabile di interesse (il reddito pro capite o le emissioni inquinanti pro capite). Questo metodo impiega specificazioni di radice unitaria con una costante e con o senza un trend lineare, per testare in che misura gli allontanamenti iniziali da qualche ipotizzato equilibrio di lungo periodo nell'inquinamento pro capite tendano a svanire nel tempo. In questo quadro rigettare la presenza di radice unitaria in serie di inquinamento, relative a qualche media contemporanea specifica di gruppo, indica che uno shock casuale sulla serie volge verso una costante potenzialmente nulla o verso la costante ed un trend. Le specificazioni di radice unitaria possono essere stimate con una varietà di tecniche, disegnate per serie singole o dati panel, sotto l'ipotesi nulla di stazionarietà o non stazionarietà, e rendendo conto o no di multiple rotture strutturali e di dipendenze cross-section nelle statistiche di dati panel.

Infine, l'analisi delle dinamiche della distribuzione mette l'enfasi sulla mobilità all'interno delle distribuzioni, caratterizzando sequenze di distribuzioni con dati cross-section nel tempo. Il metodo consiste in distribuzioni spaziali di emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> condizionanti il futuro sulla base dei loro passati omologhi, assumendo che i livelli correnti si associno nei livelli futuri secondo una legge di transizione invariante nel tempo. Questo metodo è simile ad una autoregressione del primo ordine, con distribuzioni come argomento invece di uno scalare o vettori.

Focalizzandosi sui livelli di emissione pro capite di CO<sub>2</sub>, gli autori sottolineano



che sussistono forti divergenze ed emissioni crescenti sono prevalenti nei 166 paesi del mondo di cui hanno disponibilità dei dati nel primo periodo 1960-1980. Una stabilizzazione, nei differenziali fra paesi e nei livelli, interviene dopo gli shock del prezzo del petrolio degli anni Settanta. Si presentano significative differenze fra le successive distribuzioni spaziali nel mondo nelle prime decadi, ma non più tardi. Gli autori raggruppano i paesi secondo il livello di reddito o la prossimità geografica e questo consente loro l'identificazione di modelli di economie convergenti. Quattro gruppi mostrano convergenza, o più bassa dispersione fra i suoi membri, nell'intero orizzonte considerato 1960-2002: Europa e Asia Centrale, paesi OECD, Unione Europea a 15 stati, e gruppo di paesi del G20. Una maggioranza di gruppi mostra convergenza esclusivamente nel periodo dal 1980 al 2000: sono le economie ad alto e medio reddito, America Latina e Caraibi, Africa Centro-Orientale e Nord Africa, Africa Sub-Sahariana. Tre gruppi mostrano divergenza nell'intero periodo, nel primo periodo e nel tardo periodo: Asia Orientale e Pacifico, Asia Meridionale, Paesi dell'OPEC produttori di petrolio, e paesi a basso reddito in minor grado.

### *1.3.1 Panopoulou e Pantelidis (2009) "Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions"*

Notazioni sui metodi per valutare la convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub> si trovano anche in Panopoulou Ekaterini e Pantelidis Theologos (2009)<sup>7</sup>. Gli autori esaminano la convergenza nelle emissioni di diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) fra 128 paesi nel periodo 1960-2003.

Per fare questo utilizzano una nuova metodologia, che citano, introdotta da Phillips e Sul (2007)<sup>8</sup>. Secondo gli autori la nozione di convergenza fra paesi è basata sull'assunzione che questi sono inizialmente in disequilibrio. Rispetto alle pubblicazioni sul reddito e sull'ambiente, considerano principalmente tre tipi di convergenza.

---

<sup>7</sup> Panopoulou Ekaterini e Pantelidis Theologos, "Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions", in "Environmental Resource Economics", 2009, 44 pp. 47-70

<sup>8</sup> Phillips P.C.B, Sul D., "Transition modeling and econometric convergence tests", in "Econometrica", 2007, 75(6), pp. 1771-1855.



# Università Ca'Foscari Venezia

La prima è la beta-convergenza, che considerano introdotta da Baumol (1986)<sup>9</sup>. Il modo più semplice di scrivere la regressione è di considerare il tasso di crescita delle emissioni pro capite come uguale ad una costante intercetta, sommata al livello iniziale delle emissioni pro capite con coefficiente beta, più un termine di errore. Si ha beta-convergenza se il coefficiente beta è minore di zero, cioè negativo. La convergenza si verifica quando i paesi con un più alto livello di iniziale di emissioni pro capite hanno un più basso tasso di crescita delle emissioni dei paesi con un più basso livello iniziale di emissioni. Ci sarebbe una convergenza, così, verso livelli più alti di emissioni inquinanti, con i paesi con più bassi livelli di emissioni inquinanti che hanno più alti tassi di crescita di emissioni inquinanti e nella convergenza raggiungono i paesi con più alti livelli di emissioni inquinanti. La regressione assume lo stesso tasso di convergenza, o velocità di convergenza, per tutti i paesi.

La seconda convergenza è la sigma-convergenza, che si riferisce per gli autori ad una diminuzione nel tempo della variazione cross-section del logaritmo naturale della variabile di interesse. La misura della variazione è tipicamente la standard deviation. Come autore di riferimento citano Sala-i-Martin (1996)<sup>10</sup>, soprattutto per la considerazione che la beta-convergenza è una condizione necessaria ma non sufficiente per la sigma-convergenza.

Il terzo metodo per valutare la convergenza è la convergenza stocastica. Specificatamente, la convergenza stocastica nelle emissioni di diossido di carbonio suggerisce che gli shock nel logaritmo delle emissioni pro capite relativi alla media del campione siano temporanei. E' possibile testare la convergenza stocastica per mezzo di test di radice unitaria, dove la variabile testata è il logaritmo delle relative emissioni di anidride carbonica. La convergenza stocastica sussiste quando le emissioni relative di anidride carbonica sono stazionarie in trend. D'altro lato, l'esistenza di una radice unitaria indica che

---

<sup>9</sup> Baumol W.J., "Productivity Growth, Convergence, and Welfare: What the Long-run Data Show", in "Am Econ Rev", 1986, 76(5) pp. 1072-1085

<sup>10</sup> Xavier I. Sala-i-Martin, "Regional cohesion: Evidence and theories of regional growth and convergence", in "European Economic Review" 40 (1996) pp. 1325-1352.



# Università Ca'Foscari Venezia

l'effetto di uno shock è permanente e causa divergenza della serie dalla media del campione.

Gli autori utilizzano invece un metodo introdotto da Phillips e Sul (2007)<sup>11</sup> per testare la sigma-convergenza condizionale in un insieme di paesi. La metodologia è basata su un modello di un fattore non lineare che varia con il tempo, che incorpora la possibilità di eterogeneità di transizione o anche di divergenza di transizione. Con questa metodologia ritengono che sia possibile raggruppare i paesi entro modelli di convergenza per mezzo di un semplice algoritmo empirico. E' possibile individuare gruppi di paesi che convergono a differenti equilibri ed inoltre l'approccio permette che paesi singoli divergano dal gruppo. E' possibile analizzare la relazione fra vari modelli di convergenza e caratteristiche economiche. E' possibile anche tentare, secondo gli autori, di identificare le ragioni di divergenza per i paesi che non appartengono a nessun gruppo di convergenza. Il metodo utilizzato dagli autori è detto "log t Test".

Nel log t Test la variabile di interesse è il logaritmo naturale delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> in un certo numero di paesi che rappresentano la numerosità del campione, con rilevazioni temporali diverse del valore della variabile. Vengono utilizzati dati panel. La variabile di interesse è scissa nella somma di una componente sistematica ed una componente transitoria. La variabile di interesse è poi scomposta in due componenti: una comune e una contrastante o idiosincratca, che vengono moltiplicate fra loro. La componente idiosincratca dovrebbe misurare la distanza della variabile di interesse dalla componente comune, per cui viene utilizzato un simbolo di media. Questa formulazione dovrebbe consentire di testare la convergenza testando se il fattore di peso della componente idiosincratca, che viene moltiplicata alla componente comune, converge ad una costante, prendendo i rapporti e non le differenze e così eliminando la componente comune. Per fare questo, viene definito il relativo parametro di transizione, che è uguale alla variabile di interesse (logaritmo delle emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite) diviso il suo valore medio fra i paesi, che a sua volta è posto uguale al peso della

---

<sup>11</sup> Phillips P.C.B, Sul D., "Transition modeling and econometric convergence tests", in "Econometrica", 2007, 75(6), pp. 1771-1855.





# Università Ca'Foscari Venezia

componente idiosincratICA diviso il suo valore medio fra i paesi. Però la media cross section del parametro di transizione e del relativo sentiero di transizione dei vari paesi è pari ad uno per costruzione. Nel caso che il fattore di peso della componente idiosincratICA converga ad una costante, il parametro relativo di transizione converge all'unità e la varianza converge a zero quando il tempo  $t$  converge ad infinito. Per il peso della componente idiosincratICA viene implementato un modello semiparametrico, dalla scrittura e comprensione non agevole, in cui vi è la componente idiosincratICA sommata ad un elemento frazionario in cui compaiono al numeratore dei parametri di scala idiosincratICI ed al denominatore una funzione che varia lentamente data dal logaritmo del tempo  $t$  (di qui forse la dicitura "log t Test"), che moltiplica il tempo  $t$  elevato ad esponente  $\alpha$ . Secondo gli autori se il secondo addendo decade a zero la componente idiosincratICA resta uguale al primo elemento della scrittura semiparametrica. Perché il secondo elemento si avvicini a zero, l'esponente  $\alpha$  del tempo  $t$ , che denota la velocità della convergenza, e cioè il tasso al quale la variazione cross-section decade a zero, deve essere maggiore o uguale a zero. Viene impostato un test in cui l'ipotesi nulla prevede che la componente idiosincratICA sia posta uguale ad una costante, che però non è chiaro come computare o come identificare, e l'esponente  $\alpha$  è posto maggiore o uguale a zero. L'ipotesi alternativa è che la componente idiosincratICA non sia pari ad una costante, che però non è identificabile, e che l'esponente  $\alpha$  del tempo  $t$  al denominatore sia minore di zero. L'ipotesi nulla, se verificata, implica convergenza per tutti i paesi, mentre l'ipotesi alternativa, se verificata, comporta nessuna convergenza per alcuni paesi. Gli autori trovano che la varianza del parametro di transizione, che è posto uguale al peso della componente idiosincratICA diviso la sua media, nell'ipotesi di convergenza, ha un valore limite. Il rapporto della varianza (data dalla divisione del parametro per la sua media) di questo parametro di transizione al tempo iniziale con  $t = 1$  con il valore della varianza (data dalla divisione del parametro per la sua media) in ogni altro periodo di tempo  $t$ , mostra la distanza dei dati panel dal limite comune. A partire dal logaritmo del rapporto di queste varianze (costituite dal rapporto dei parametri



# Università Ca'Foscari Venezia

divisi la loro media) cui viene sottratto due volte il logaritmo di  $t$  viene costruito il test di convergenza, ponendo a destra dell'uguale un'espressione data da una costante intercetta più un coefficiente  $b$  che moltiplica il logaritmo del tempo  $t$  (di qui forse la denominazione "log  $t$  test") più un termine di errore. Si compie la regressione dopo che è rimossa una frazione del campione. Il coefficiente stimato di  $b$  che moltiplica il logaritmo del tempo  $t$  converge alla velocità di convergenza del parametro  $2\alpha$  sotto l'ipotesi nulla di convergenza, dove  $\alpha$  è la stima del valore dell'esponente della variabile tempo, al denominatore nella funzione che esprime l'elemento idiosincratico nella stima dell'ipotesi nulla di convergenza, qualora l'elemento idiosincratico della variabile di riferimento, data dal logaritmo delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub>, risulti uguale ad una costante. Dalla nuova espressione basata sulla "varianza", gli autori traggono un ulteriore test di convergenza sul coefficiente stimato  $b$  del logaritmo del tempo. Applicano il test basato sul convenzionale  $t$ -statistico, utilizzando tecniche particolari per stabilire lo standard error, e affermano che l'ipotesi nulla di convergenza è rigettata se il  $t$ -statistico del coefficiente  $b$  è minore di  $-1,65$ . Se il  $t$ -statistico del coefficiente stimato  $b$  conclude per  $b$  maggiore o uguale a zero, gli autori concludono che i dati panel convergono. Altrimenti, se i dati indicano un coefficiente  $b$  negativo, gli autori concludono per rigettare l'ipotesi nulla di convergenza. La grandezza del coefficiente di convergenza  $b$  è di interesse, in quanto è direttamente correlata con il tasso di convergenza. Specificatamente, più alto è il valore di  $b$ , più veloce è il tasso di convergenza. Secondo gli autori questo tipo di convergenza ha caratteristiche comuni alla sigma-convergenza condizionale. In primo luogo, come la sigma-convergenza, testa la diminuzione nel tempo della dispersione cross section delle emissioni di diossido di carbonio fra i paesi. In secondo luogo, il metodo può essere descritto come convergenza condizionale, poiché testa che le componenti eterogenee idiosincriche che variano nel tempo convergano nel tempo ad una costante, dopo aver controllato una comune componente di crescita fra i paesi. La metodologia è basata su un modello di fattore generale non lineare che varia nel tempo, che incorpora la possibilità di eterogeneità di transizione o anche di divergenza di transizione. In



# Università Ca'Foscari Venezia

caso di eterogeneità i test di radice unitaria sono ritenuti inadatti ad esaminare la convergenza.

Nello specifico il test è stato applicato su dati relativi alle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> di 128 paesi, considerati nel complesso, o suddivisi in sottogruppi con simili caratteristiche economiche o geografiche. L'analisi è stata ripetuta per le emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto al prodotto invece che per emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite. Il log t Test è stato dapprima utilizzato per il campione complessivo di 128 paesi e la stima del coefficiente  $b$  del logaritmo del tempo, che è negativo, unitamente al t-statistico, porta a rigettare l'ipotesi nulla di convergenza. Ricercando se sussista convergenza fra gruppi, gli autori trovano sussistere convergenza in due gruppi diversi, costituiti, per il primo gruppo, da 66 paesi con alti livelli di emissioni pro capite, e per il secondo, da 62 paesi con bassi livelli di emissioni pro capite. La velocità di convergenza del primo gruppo risulta maggiore che nel secondo gruppo. Il test è poi stato ripetuto suddividendo i dati in due periodi, l'uno dal 1960 al 1985 ed il secondo dal 1975 al 2003. Per i due periodi il test è stato applicato a tutto il campione. Come risultato, emerge per il primo periodo una stima del coefficiente  $b$  del logaritmo del tempo non diversa da zero, e questo porta a concludere per una convergenza molto lenta fra tutti i 128 paesi. Nel secondo periodo, si deve concludere per l'assenza di convergenza fra i 128 paesi. Successivamente è stata esaminata la convergenza fra gruppi nel periodo 1975-2003. Vengono identificati quattro gruppi, fra i quali viene rappresentata una convergenza lenta in un gruppo composto da tre sottogruppi di 91 paesi complessivi, ed una convergenza rapida in un gruppo di 37 paesi. I gruppi vengono identificati secondo il valore del parametro di transizione, dato dal rapporto fra la variabile di riferimento costituita dal logaritmo delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> e il suo valore medio, che è uguale al rapporto fra la componente idiosincronica della variabile di riferimento paese per paese ed il suo valore medio. Vengono poi identificati altri gruppi. Nel gruppo di paesi dell'Unione Monetaria Europea, si conclude per la convergenza delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> fra 13 paesi ad un comune stato stazionario. Nel gruppo di 30 paesi membri dell'OECD, si riscontra convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>, anche se più lenta della



convergenza fra i paesi dell'Unione Monetaria Europea. Risultati simili vi sono per un gruppo di 39 paesi ad alto reddito. Risulta convergenza anche fra i paesi a medio reddito, anche se la stima del coefficiente  $b$  del logaritmo del tempo  $t$  non è statisticamente diversa da zero, e porta a considerare che si tratta di una convergenza lenta. L'ipotesi nulla di convergenza è invece rigettata per il gruppo di paesi a basso reddito. Viene rigettata l'ipotesi di convergenza anche per i paesi dell'OPEC e per i paesi raggruppati nelle economie in transizione.

#### **1.4 Alcuni studi sulla convergenza delle emissioni inquinanti fra paesi**

Nel paragrafo precedente sono stati enucleati alcuni metodi, tratti dalla teoria economica basata sul modello neoclassico che studia la convergenza del reddito e del prodotto fra paesi, per indagare la convergenza, con metodi analoghi, delle emissioni inquinanti fra paesi. Qui di seguito, si presentano alcuni studi sull'esistenza o meno di convergenza di emissioni inquinanti fra paesi diversi. Da segnalare che, rispetto all'articolo base dell'indagine, sul quale qui si approfondisce (Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011) "Growth and pollution convergence: Theory and evidence", in "Journal of Environmental Economics and Management" 62 (2011) pp. 199-214), molta parte della trattazione è rivolta non alle emissioni di ossidi di zolfo (SOx) e ossidi di azoto (NOx), oggetto di studio nell'articolo originario, ma alle emissioni di anidride carbonica, o biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), in quanto studi sulla convergenza fra paesi dell'inquinamento dell'aria da SOx e NOx sono piuttosto scarsi numericamente, e l'attenzione negli ultimi anni è stata maggiormente rivolta alla CO<sub>2</sub>, come gas ad effetto serra.



1.4.1 *Strazicich e List (2003) "Are CO2 Emissions Levels Converging Among Industrial Countries?"*

In Strazicich e List (2003)<sup>12</sup> si esaminano i sentieri temporali delle emissioni di diossido di carbonio in 21 paesi industriali dal 1960 al 1997 per testare la convergenza stocastica e condizionale. Vengono utilizzati sia test di radici unitarie su dati panel, sia regressioni su dati cross section. Gli autori trovano prova significativa che sussista convergenza fra le emissioni di CO2 dei diversi paesi. Gli autori uniscono due filoni di ricerca. Da una parte, risalgono al modello dell'economia neoclassica di Solow (1956)<sup>13</sup>, per il quale, controllando (ma di fatto sottraendo) i tassi di risparmio, i tassi di crescita della popolazione, i tassi di progresso tecnologico ed altre caratteristiche dell'economia, i redditi pro capite fra le nazioni dovrebbero convergere. La teoria è supportata da studi empirici, fra cui sono citati Barro (1991)<sup>14</sup> e Barro e Sala-i-Martin (1992)<sup>15</sup>. Dall'altra parte, ritengono che è emerso un fatto stilizzato dalla letteratura economica sull'ambiente, che pone una relazione ad U rovesciata, spesso denominata Curva di Kuznets Ambientale, fra una misura della ricchezza ed il degrado ambientale, come espresso da Grossman e Krueger (1995)<sup>16</sup>. Da questi due filoni di ricerca emerge un gap potenziale nella letteratura, racchiuso nella domanda se le emissioni inquinanti convergano nello spazio fra diversi paesi. Gli autori cercano di colmare questo gap, investigando se le emissioni di CO2 convergano fra i paesi industrializzati. Gli autori usano test di convergenza con regressioni di dati cross section condizionali sul reddito ed altre variabili, per valutare la convergenza delle emissioni fra 21 paesi industriali nel periodo 1960-1997. Viene utilizzato un modello per testare la beta-convergenza, in cui vengono impiegati valori

---

<sup>12</sup> Strazicich M. K. e List J. A., "Are CO2 Emissions Levels Converging Among Industrial Countries?", in "Environmental and Resource Economics", 24, 2003, pp. 263-271

<sup>13</sup> Solow R., "A Contribution to the Theory of Economic Growth", in "Quarterly Journal of Economics", 70, 1956, pp. 65-94.

<sup>14</sup> Barro R.J., "Economic Growth in a Cross Section of Countries", in "Quarterly Journal of Economics", 106, 1991, pp. 407-443.

<sup>15</sup> Barro R. J. e Sala-i-Martin X., "Convergence", in "Journal of Political Economy", 100, 1992, pp. 223-251.

<sup>16</sup> Grossman G. e Krueger A., "Economic Growth and the Environment", in "The Quarterly Journal of Economics", 1995, 110(2), pp. 353-377.



# Università Ca'Foscari Venezia

logaritmici, in cui il tasso di crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub>, che è variabile dipendente, viene regredito su una costante come intercetta, il livello iniziale delle emissioni inquinanti, con coefficiente beta, che è il parametro chiave del test di convergenza, un'altra variabile con coefficiente gamma, per testare se la convergenza è assoluta ed un termine di errore indipendentemente e identicamente distribuito, con media zero e varianza finita. Per quanto riguarda la verifica della convergenza condizionale, al fine di consentire di esprimere persistenti differenze nei paesi nel sentiero temporale delle emissioni, o differenziali compensativi specifici del paese, gli autori includono un vettore di altre variabili, che potrebbero influenzare i tassi di crescita delle emissioni nel lungo periodo. Similmente alla letteratura sulla Curva di Kuznets Ambientale, includono il Pil reale pro capite ed il Pil reale pro capite al quadrato in dollari del 1978, aggiustato per la parità del potere d'acquisto. Vengono anche inclusi una misura del prezzo dell'energia, e specificatamente il prezzo medio della benzina, la densità della popolazione nel 1978, e la stima della temperatura media invernale. La contemporanea stima del coefficiente gamma di queste variabili condizionanti come pari a zero e del coefficiente beta del livello iniziale di inquinamento pro capite come minore di zero, porta a concludere per la presenza di convergenza assoluta. La contemporanea stima del coefficiente gamma diverso da zero e del coefficiente beta minore di zero porta a concludere per la situazione di convergenza condizionale.

Il secondo approccio seguito dagli autori è l'utilizzo del test di radice unitaria su dati time series, il cui modello è tratto da Im, Pesaran e Shin (2002)<sup>17</sup>, per esaminare la convergenza delle emissioni in dati time series. Vengono utilizzati dati in valori logaritmici. La presenza di una radice unitaria in una serie temporale di una data variabile indica non stazionarietà nella serie temporale e che gli shock della variabile di riferimento (il reddito pro capite o le emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite) misurata in termini pro capite hanno un effetto permanente nei valori medi della variabile. La presenza di una radice unitaria nelle serie temporali porta a

---

<sup>17</sup> Im K., Pesaran M. e Shin Y. (2002), "Test for Unit Roots in Heterogeneous Panels", in "Journal of Econometrics".



# Università Ca'Foscari Venezia

concludere per una divergenza dei valori della variabile e non per la convergenza delle emissioni pro capite fra paesi diversi. Una serie stazionaria implica che gli shock nella variabile di riferimento (il reddito pro capite o le emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite) rispetto alla media pro capite in tutti i paesi sono temporanei e che la variabile converge stocasticamente di nuovo verso la media. Nel procedimento dapprima calcolano la media delle emissioni annuali per i 21 paesi del campione, poi ricavano una variabile costituita dal logaritmo delle emissioni pro capite di ciascun paese diviso le emissioni medie in ogni anno. Poi utilizzano il test ideato da Im, Pesaran e Shin (2002). Inizialmente viene compiuto un Augmented Dickey and Fuller test (ADF test) impostato in modo tale che il differenziale della nuova variabile trovata, data dal logaritmo delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> di ogni paese, diviso la media delle emissioni inquinanti di tutti i 21 paesi in ogni tempo  $t$ , è posta uguale a una costante specifica per paese, sommata ad un elemento che costituisce il trend lineare temporale, dato da un coefficiente  $\gamma$  che moltiplica la variabile tempo  $t$ , sommato al coefficiente  $\beta$ , che costituisce il parametro di radice unitaria, che moltiplica la stessa variabile con un ritardo  $t-1$ , sommata ad un parametro  $\theta$  che moltiplica il differenziale della variabile medesima per ogni ritardo alle differenze prime  $t-k$ , più un termine di errore indipendentemente e identicamente distribuito. Dopo aver stimato una simile equazione, viene stimato un t-statistico medio. Nell'ipotesi nulla di questo test di radice unitaria viene stimato se è pari a zero il coefficiente  $\beta$  della variabile logaritmo delle emissioni al tempo  $t-1$ , ottenuta come sopra. L'equazione della variabile dipendente si può anche scrivere come logaritmo delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> di ogni paese meno il logaritmo della media delle emissioni pro capite in tutti i paesi in ogni anno  $t$ . Nell'ipotesi nulla di radice unitaria il coefficiente  $\beta$  è posto a pari a zero, di fronte all'ipotesi alternativa che questo coefficiente  $\beta$  sia minore di zero. Se il test porta ad accettare l'ipotesi nulla, si deve concludere per assenza di stazionarietà delle serie, in cui shock nelle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> hanno effetti permanenti e le emissioni pro capite fra i diversi paesi divergono. Rigettare l'ipotesi nulla di radice unitaria porta a supportare la presenza di stazionarietà nella serie, in cui shock relativi alle



# Università Ca'Foscari Venezia

emissioni pro capite in un paese hanno effetti temporanei e le emissioni pro capite convergono stocasticamente. Di fatto il risultato è controintuitivo: se beta risulta statisticamente uguale a zero, si dovrebbe concludere per l'assenza di shock duraturi che influenzino il valore medio e la crescita della variabile rispetto al tempo  $t-1$ . Invece viene affermato che con l'accettazione dell'ipotesi nulla di beta statisticamente uguale a zero si deve concludere per assenza di stazionarietà della serie, e con rigetto dell'ipotesi nulla di beta uguale a zero si deve concludere per la presenza di convergenza della serie. Di fatto vi è una commistione con la misura della beta-convergenza, in cui si vuole che in presenza di beta negativo, riferito nella beta-convergenza al valore delle emissioni inquinanti pro capite al tempo  $t = 0$  della serie, sussista convergenza; parimenti nel test di radice unitaria al logaritmo del rapporto fra emissioni inquinanti di ogni paese diviso la media delle emissioni inquinanti di tutti i paesi al tempo  $t$  meno uno, dovrebbe corrispondere un coefficiente negativo della variabile logaritmo delle emissioni al tempo  $t-1$  nell'ipotesi di convergenza. Si presuppone che vi sia una relazione negativa e che le emissioni inquinanti in un tempo precedente siano correlate negativamente alle emissioni inquinanti in un tempo successivo, con diminuzione delle differenze fra paesi, quanto maggiore è la differenza dalla media del paese considerato. Nel test di radice unitaria si considerano come variabili gli scostamenti dalla media dei logaritmi dei valori delle emissioni inquinanti per ciascun paese, e si valuta la presenza di radice unitaria nel valore di questa variabile al tempo  $t-1$ . Non si considera di valutare il test di radice unitaria ponendo nell'ipotesi nulla il coefficiente pari ad uno anziché a zero. Gli autori concludono che fra 21 paesi industrializzati considerati nel periodo 1960-1997 vi è convergenza nelle emissioni pro capite dell'inquinante considerato costituito da CO<sub>2</sub>.





1.4.2 *Nguyen Van (2005) "Distribution Dynamics of CO2 Emissions"*

Nguyen Van (2005)<sup>18</sup> esamina la convergenza in un campione di 100 paesi delle emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite, nel periodo 1966-1996. Per fare ciò usa metodi non parametrici e trova modelli di convergenza fra i paesi industriali, mentre c'è poca prova di convergenza per l'intero campione. Secondo l'autore c'è convergenza in un periodo di tempo se i paesi con basse emissioni pro capite aumentano le loro emissioni e paesi con alte emissioni pro capite diminuiscono le loro emissioni. L'ipotesi di convergenza ambientale è vista come strettamente correlata all'ipotesi di convergenza economica e all'esistenza di una Curva di Kuznets Ambientale o relazione ad U rovesciata per la relazione fra emissioni inquinanti e reddito. In base a questa relazione, le emissioni inquinanti aumentano con l'aumentare del reddito nei paesi a basso reddito, ma diminuiscono con l'aumentare del reddito nei paesi a più alto reddito. Oltre a ciò, tutti i paesi avranno lo stesso livello di reddito seguendo l'ipotesi di convergenza economica. In base a ciò, secondo l'autore, se la Curva di Kuznets Ambientale e l'ipotesi di convergenza economica sono valide, ci si aspetterà una convergenza ambientale. L'autore usa tecniche non parametriche. Conclude che solo i paesi con alte emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> relativamente alle medie del campione osservano una diminuzione delle emissioni relative, mentre le emissioni relative di paesi a basse emissioni rimangono inalterate nel periodo di studio. Vengono utilizzate le emissioni pro capite di ogni paese al tempo  $t$  diviso la media del campione al tempo  $t$ . Le densità delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> negli anni 1966, 1976, 1986, 1996, vengono stimate tramite un metodo detto nucleare (kernel method), non ben spiegato, a dire il vero. Il metodo nucleare è non parametrico. Viene stimata con metodo nucleare la densità delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> nel 1966, 1976, 1986, 1996. Le conclusioni affermate nell'articolo, delle quali non è molto comprensibile la dimostrazione a partire dal metodo nucleare adottato "Gaussian kernel method" o "Epanechnikod kernel method", sono che vi è una convergenza nelle emissioni di

---

<sup>18</sup> Nguyen Van P., "Distribution Dynamics of CO<sub>2</sub> Emissions", in "Environmental and Resource Economics", 32, 2005 pp. 495-508



CO2 fra i paesi industriali, mentre c'è poca prova di convergenza per l'intero campione di 100 paesi nel periodo di tempo dal 1966 al 1996.

*1.4.3 Aldy (2006) "Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?"*

Conclusioni analoghe sono in Aldy (2006)<sup>19</sup>, secondo il quale si trova prova di convergenza fra 23 paesi dell'OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development), mentre le emissioni sembrano divergenti per un campione globale di 88 paesi nel periodo 1960-2000. Le previsioni di lungo termine sulle emissioni di diossido di carbonio (CO2) sono fattori critici, sia per valutare il potenziale impatto del cambiamento climatico, sia per valutare il costo di abbattimento delle emissioni. L'autore si focalizza su due questioni: se le emissioni pro capite abbiano presentato convergenza in passato e se dovremmo aspettarci che convergano in futuro. La combinazione di un gruppo di paesi sviluppati convergenti all'interno di un mondo divergente è evidente in previsioni delle future distribuzioni, basate su analisi non parametriche di una matrice di transizione. Le distribuzioni mondiali di stato stazionario di lungo periodo hanno code spesse e sono meno compatte delle distribuzioni correnti ritrovate nello studio. Le previsioni di misure di futura dispersione rivelano poca convergenza relativamente alla distribuzione mondiale corrente, rilevata dallo studio. L'analisi delle emissioni indica che 88 paesi sono responsabili del 98% delle emissioni globali di CO2 da combustibili fossili. Per determinare se le emissioni pro capite di CO2 siano andate convergendo, l'autore ha usato due concetti comuni di convergenza. Per prima cosa, ha valutato i dati delle emissioni per discernere se i paesi che hanno basse emissioni pro capite raggiungano e si allineino a paesi con più alte emissioni pro capite. Questa convergenza potrebbe manifestarsi attraverso una riduzione della dispersione cross-section ed una compressione nella distribuzione delle emissioni. Secondariamente, l'autore ha investigato se le disparità delle emissioni pro capite siano persistenti, e riflettano la permanenza di

---

<sup>19</sup> Aldy J.E., "Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?", in "Environmental and Resource Economics", 2006, 22, pp. 533-555.



# Università Ca'Foscari Venezia

shock sulle emissioni pro capite. Questa convergenza stocastica conduce all'esame tramite serie temporale di test di radice unitaria. L'autore ha intrapreso tre tipi di analisi della valutazione della convergenza cross section. Nella prima analisi, rifacendosi alla letteratura sulla crescita economica sulla sigma-convergenza, ha stimato la standard deviation annuale del logaritmo naturale delle emissioni di CO2 pro capite. Se questa misura di dispersione diminuisce nel tempo, le emissioni pro capite stanno convergendo secondo la sigma-convergenza. Nella seconda analisi ha presentato le distribuzioni di emissioni pro capite nel tempo per illustrare i trend di emissioni. Comprendere il cambiamento nelle distribuzioni complete nel tempo può ulteriormente illuminare sulle dinamiche all'interno della distribuzione che non possono essere catturate da un singolo parametro che caratterizza la varianza dei dati cross section o sigma-convergenza. Per questa illustrazione, le emissioni pro capite di un paese sono espresse al tasso delle sue emissioni pro capite rispetto alla media mondiale per quell'anno, cioè emissioni pro capite relative. Normalizzare le emissioni di un paese rispetto alla media globale consente di discernere movimenti specifici di un paese da una crescita globale o trend nelle emissioni.

Nella terza analisi l'autore stima vari percentili delle distribuzioni delle emissioni nel tempo e testa se la distanza in un dato range interpercentile differisce statisticamente su vari periodi. Come modo di stabilire se una riduzione della dispersione o una compressione della distribuzione siano o meno significative, l'autore stima il venticinquesimo e il settantacinquesimo percentile ed associa 75-25 range interquartili delle emissioni pro capite relative alla media mondiale per l'inizio di ogni decade: 1960, 1970, 1980, 1990, 2000. Usa stimatori di minima deviazione assoluta per costruire questi percentili e range interquartili e le matrici stimate di varianza-covarianza sono basate sull'avvio di 1000 replicazioni. Queste stime consentono di valutare se i cambiamenti delle differenze nelle distribuzioni nel tempo siano significativi statisticamente, attraverso test che comparano le grandezze stimate dei range interquartili. L'autore esamina l'ipotesi nulla per cui i 75-25 range interquartili per gli anni 1970, 1980, 1990, 2000, non siano differenti da quello del 1960. Una diminuzione nei range interquartili dal 1960 ed il rigetto



# Università Ca'Foscari Venezia

dell'ipotesi nulla di radice unitaria suggeriscono che le code della distribuzione delle emissioni si sono spostate più vicine nel tempo, indicando convergenza delle emissioni; un aumento dei range interquartili ed il rigetto dell'ipotesi nulla suggeriscono divergenza delle emissioni.

Per valutare la convergenza stocastica, l'autore ha testato se le serie temporali delle emissioni relative pro capite fossero caratterizzate da una radice unitaria. Se le emissioni pro capite stanno convergendo in senso stocastico, gli shock sulle emissioni sono temporanei ed i dati sono stazionari nel tempo. Se una radice unitaria caratterizza le serie temporali delle emissioni, allora gli shock sono permanenti e le emissioni non stanno convergendo. Seguendo, tra gli altri, Strazicich e List (2003) l'autore ha analizzato il logaritmo del rapporto delle emissioni pro capite per ciascun paese rispetto alla media mondiale.

L'autore ha esaminato la dispersione del logaritmo delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> per il campione mondiale e per il campione di paesi dell'OECD per il periodo 1960-2000. Nel campione mondiale questa dispersione è rimasta pressochè costante nei 40 anni dal 1960 al 2000, ma è leggermente più alta nel 2000 che nel 1960. Questa mancanza di convergenza delle emissioni può riflettere l'assenza di convergenza del reddito per questo campione di paesi. Invece il campione di paesi dell'OECD rivela una sostanziale diminuzione della dispersione nell'intero periodo. L'autore ha stimato le distribuzioni di emissioni pro capite prima costruendo il rapporto delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> per ciascun paese nel campione mondiale rispetto alla media mondiale. Poi ha collocato ciascun paese in una fra cinque categorie: meno di un quarto della media mondiale; da un quarto a metà della media mondiale; da metà alla media mondiale; da una volta a due volte la media mondiale; più di due volte la media mondiale. La stessa categorizzazione è stata applicata al campione di paesi OECD, relativamente alla media dei paesi OECD. Nel campione mondiale secondo l'autore due fenomeni sono molto chiari. In primo luogo, le code sono spesse. Le emissioni pro capite della maggior parte dei paesi del mondo differiscono di un fattore due, cioè meno della metà, e maggiore di due volte la media mondiale. Nel 1960 il 70% di tutti i paesi differiva per un fattore due, fino



al 66% nel 2000. In secondo luogo, i dati sulle emissioni pro capite suggeriscono un fenomeno di doppio picco, che può trovare una corrispondenza con qualche prova di due picchi nel reddito pro capite. Nel campione di paesi OECD si rivela una distribuzione delle emissioni nel tempo più compressa. La massa crescente di distribuzione attorno alla media OECD nel tempo suggerisce che il fenomeno dei due picchi presente nel campione mondiale non si applica alle economie avanzate. Anche le stime del venticinquesimo e settantacinquesimo percentile della distribuzione delle emissioni pro capite relative alla media mondiale mostrano divergenza di emissioni. I risultati del campione dei paesi OECD contrastano con i risultati del campione mondiale. Anche i test per la convergenza stocastica, tramite test di radice unitaria, forniscono poca prova che le emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite stiano convergendo. Nei risultati dell'autore solo 13 paesi su 88 mondiali hanno test in cui si rigetta l'ipotesi nulla di radice unitaria, e di questi solo tre paesi appartengono all'OECD. I risultati suggeriscono che la convergenza stocastica è stata limitata.

*1.4.4 Barassi ed altri (2011) "The Stochastic Convergence Of CO<sub>2</sub> Emissions: A Long Memory Approach"*

Barassi M.R., Cole M.A., Elliott R.J.R. (2011)<sup>20</sup> testano la stazionarietà tramite test di radice unitaria, usando l'Augmented Dickey Fuller test, il Ng-Perron test, il test di Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin, scegliendo la lunghezza dei ritardi e le larghezze di banda. Usano anche lo stimatore del parametro dell'integrazione frazionario Little Whittle e sue variazioni per testare l'ipotesi che le emissioni relative pro capite contengano una radice unitaria, che significa non convergenza, contro l'ipotesi alternativa che siano processi di lunga memoria che, sebbene altamente persistenti ed anche non stazionari in covarianza, possano volgere verso la loro media od il loro trend nel lungo periodo, implicando lenta convergenza. Secondo gli autori i risultati suggeriscono che le emissioni relative di CO<sub>2</sub> nella maggior parte dei paesi OECD nel periodo 1870-2005 sono processi

---

<sup>20</sup> Barassi M.R., Cole M.A., Elliott R.J.R., "The Stochastic Convergence Of CO<sub>2</sub> Emissions: A Long Memory Approach", in "Environmental Resource Economics", 2011, 49, pp. 367-385



# Università Ca'Foscari Venezia

frazionalmente integrati o di lunga memoria. Gli autori, come già Strazicich e List (2003) e Aldy (2006), usano test di stazionarietà di radice unitaria, ma anche test di integrazione frazionaria sulla base della considerazione che, se le emissioni pro capite fra un gruppo di paesi convergono in senso stocastico, allora il logaritmo del rapporto delle emissioni pro capite nel paese  $j$  e la media delle emissioni pro capite del gruppo di tutti i paesi, dovrebbe essere un processo stazionario o almeno un processo che torna verso una media od un trend. Nel modello, il logaritmo naturale delle emissioni pro capite di un paese al tempo  $t$ , è posto uguale alle emissioni pro capite del paese diviso la media delle emissioni pro capite di tutti i paesi del campione, più un termine che esprime la deviazione specifica del paese da tale rapporto. Quest'ultimo termine è uguale alla somma fra la deviazione iniziale dall'equilibrio differenziale e la componente delle innovazioni del paese, con media zero e varianza finita. Il test per l'assenza di convergenza è compiuto testando se le emissioni relative in ciascun paese contengano una radice unitaria, o siano invece stazionarie in trend, o ritornino verso una media ed un trend. Nel modello del test viene anche incluso un trend lineare temporale. Il modello finale per i test è costituito da una equazione che ha a sinistra dell'uguale il valore complessivo delle emissioni pro capite di ogni paese al tempo  $t$  meno il rapporto fra le emissioni pro capite del paese diviso la media delle emissioni pro capite di tutti i paesi. A destra dell'uguale vi è la somma della deviazione iniziale dall'equilibrio differenziale, più un trend lineare temporale, più le innovazioni specifiche del paese. Sul termine a sinistra dell'uguale viene applicato il test di stazionarietà di radice unitaria, contro l'ipotesi alternativa di stazionarietà di trend, ritorno alla media e memoria lunga con radice unitaria. Se è rigettata l'ipotesi di radice unitaria, per una data deviazione iniziale dall'equilibrio, la direzione del trend darà una informazione importante sul comportamento delle emissioni relative del paese  $j$ . Gli autori trovano una condizione sufficiente di stazionarietà, per cui, per il paese  $j$ , la condizione per la non divergenza delle emissioni relative pro capite è che l'elemento della deviazione iniziale dall'equilibrio e la direzione del trend (il segno dell'elemento di trend) devano essere di segno opposto, se statisticamente



# Università Ca'Foscari Venezia

significativi. A patto che la stazionarietà, il ritorno alla media o la memoria lunga delle emissioni relative tenga, questa condizione è presa come prova di convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

L'articolo usa anche modelli integrati frazionari o modelli di lunga memoria, rifacendosi a modelli ARIMA (p,d,q). I parametri p, d, q, sono ignoti e bisogna stimarli. Per questo gli autori ritengono di poter usare il metodo della massima verosimiglianza, che però richiede un numero di operazioni pari a n elevato ad esponente tre. Per evitare il computo, utilizzano l'approssimazione di Whittle alla funzione di massima verosimiglianza. In questa approssimazione vi sono il vettore dei parametri ARMA e d dell'integrazione e la funzione di densità spettrale del processo ARIMA (p,d,q); densità spettrale non definita. Lo stimatore Whittle è ottenuto tramite minimizzazione del vettore dei parametri ARMA (q,p) più d dell'integrazione. Riguardo lo stimatore Whittle vengono citati Fox e Taqqu (1986)<sup>21</sup>, i quali dimostrano che lo stimatore Whittle è asintoticamente equivalente allo stimatore esatto di massima verosimiglianza assumendo che d sia maggiore di zero e p, q siano noti. Poiché p, q sono ignoti, sia lo stimatore di massima verosimiglianza che lo stimatore Whittle possono essere asintoticamente distorti. Lo stesso problema si pone se si assume che il modello sia ARMA (p,q), mentre invece non lo è. Gli autori, per ovviare a questo problema, si rifanno ad un modello sviluppato da Robinson (1995)<sup>22</sup> che ha proposto uno stimatore semiparametrico Gaussiano per d, conosciuto come stimatore Local Whittle. Questo stimatore, tuttavia, non ha un comportamento standard per tutti i valori di d. Gli autori hanno trovato che Shimotsu e Phillips (2006)<sup>23</sup> hanno risolto il problema, individuando uno stimatore Exact Local Whittle, che è più complesso dal punto di vista del computo, ma è consistente e distribuito asintoticamente normalmente per qualsiasi valore di d e perciò è valido per un più ampio range di casi. Da notare che per d, l'elemento di integrazione o differenziazione del

---

<sup>21</sup> Fox R., Taqqu M.S., "Large sample properties of parameter estimates for strongly dependent stationary Gaussian time series", in "Ann Stat", 1986, 14, pp. 517-532.

<sup>22</sup> Robinson P.M., "Gaussian semiparametric estimation of long range dependence", "Ann Stat", 1995, 23, pp. 1630-1661.



# Università Ca'Foscari Venezia

modello ARIMA (p,d,q), vengono intesi valori frazionari, non numeri interi soltanto.

Nell'articolo gli autori hanno considerato i dati delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> di 18 paesi industrializzati nel periodo 1870-2005. Come primo passo hanno eseguito tre test diversi di radice unitaria sulle emissioni pro capite dei paesi, selezionando per alcuni test la lunghezza dei ritardi ed in altri la larghezza di banda. Come secondo passo hanno testato l'integrazione frazionaria delle emissioni pro capite, stimando il valore di d, tramite gli stimatori Local Whittle, Exact Local Whittle, e Feasible Exact Local Whittle.

Come terzo passo, hanno verificato se la condizione individuata inizialmente, per cui nel modello di equazione delle emissioni relative pro capite per il paese j, la condizione per la non divergenza delle emissioni relative pro capite era che la componente della deviazione dall'iniziale equilibrio e la direzione (il segno) della componente di trend, abbiano segno opposto, presenta coefficienti statisticamente significativi.

Riguardo la prima serie di test, per nove paesi i risultati mostrano che i valori dei paesi non stanno convergendo. Per altri nove paesi i test rivelano convergenza o rigetto dell'ipotesi nulla di radice unitaria. In un paese i tre test non danno risultati concordi, in quanto due test suggeriscono convergenza, mentre il terzo test suggerisce non convergenza. Il test sull'integrazione frazionaria, o sul modello di memoria lunga, per gli autori, mostra prova di convergenza potenziale per 10 paesi e qualche prova di convergenza potenziale per altri tre paesi. L'ordine di integrazione stimato è in tutti i casi un numero decimale composto da uno o zero virgola tre cifre decimali. Viene effettuato un ulteriore test statistico con ipotesi nulla con d ordine di integrazione uguale a uno, stimando il valore a seconda dei quantili con ampiezza alpha nell'intervallo [0,5, 0,6]. Mentre utilizzando i test di radice unitaria vi è prova di convergenza per 3 dei 18 paesi dell'OECD studiati, qualche prova di convergenza per altri sei paesi, e per i rimanenti 9 non vi è prova di convergenza, utilizzando lo stimatore Local Whittle per stimare il parametro di

---

<sup>23</sup> Shimotsu K., Phillips P.C.B., "Local Whittle estimation of fractional integration and some of its variants", in "J Econom", 2006, 130, pp. 209-233





integrazione frazionario, per testare l'ipotesi nulla che le emissioni relative pro capite di CO<sub>2</sub> contengano una radice unitaria e quindi non siano convergenti, contro l'ipotesi alternativa che siano frazionalmente integrate e che vi sia una convergenza lenta come nei processi di lunga memoria, per 13 paesi dell'OECD su 18 si suggerisce che siano processi frazionalmente integrati. Per altri 5 paesi non vi è prova di integrazione frazionale.

*1.4.5 Westerlund e Basher "Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data"*

Westerlund e Basher (2008)<sup>24</sup> affermano in modo più chiaro di altri perché verificare se vi sia convergenza fra i paesi nelle emissioni di CO<sub>2</sub>. La convergenza delle emissioni inquinanti è ritenuta una preoccupazione centrale per i policymakers, soprattutto nei paesi sviluppati, che si ritiene lavorino verso l'obiettivo di lungo termine di allocare le emissioni equamente fra tutti i paesi su una base di unità di misura di emissioni pro capite. Per questo motivo l'avverarsi della prova della convergenza è un must, mentre la mancanza di convergenza delle emissioni può protrarre il processo di allocazione delle emissioni. Gli autori esplorano la dinamica delle emissioni di CO<sub>2</sub> per un gruppo di paesi sviluppati ed in via di sviluppo dal 1870 al 2002. Per testare la convergenza nelle emissioni di CO<sub>2</sub> fra paesi utilizzano una serie di test di radici unitarie di recente sviluppo. Secondo gli autori, mentre altre ricerche con test di radice unitaria si sono focalizzati sull'investigare se shocks nelle emissioni di CO<sub>2</sub> abbiano avuto effetti permanenti, così dando prova di assenza di convergenza, il loro studio si focalizza sulla prospettiva del fattore di struttura che può caratterizzare i dati. Lo studio è volto a meglio comprendere le cause dietro la persistenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>, sia nel tempo che attraverso i paesi. Per questo motivo è impiegato un modello di fattore che consente di distinguere fra due differenti componenti stocastiche dei dati: una componente idiosincratICA o di diversità ed una componente comune. Questa decomposizione è ritenuta appropriata perché le emissioni di CO<sub>2</sub> di solito

---

<sup>24</sup> Westerlund J., Basher S.A., "Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data", in "Environmental Resource Economics", 2008, 40 pp. 109-120



# Università Ca'Foscari Venezia

presentano sia alta variabilità in ciascun paese nel tempo, sia forti movimenti comuni attraverso i paesi. L'idea è di rimuovere prima la componente comune, per poi testare la convergenza della componente idiosincronica. L'articolo esamina l'ampiezza della convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Nello studio vengono impiegati nuovi test di radice unitaria che consentono il verificarsi della dipendenza dei dati fra i paesi, e che differiscono nella formulazione dell'ipotesi alternativa. Rispetto alla nozione di convergenza stocastica di altri autori (Strazicich e List (2003), Aldy (2006)), che statuisce che una coppia di paesi converge se il loro differenziale di emissioni di CO<sub>2</sub> è stazionario, evento che gli autori ritengono costituire una forma di convergenza debole, in quanto le emissioni dei due paesi potrebbero divergere deterministicamente, impiegano una definizione alternativa, che trasla il concetto di convergenza diffusa a coppie, in un criterio singolo che dovrebbe applicarsi all'insieme di dati panel come un intero. Estendono la loro analisi alla misura della velocità della convergenza nelle emissioni di CO<sub>2</sub> calcolando il dimezzamento dei tempi di durata di uno shock di CO<sub>2</sub> in ciascun paese. Nel fare questo utilizzano una serie di stimatori di nuova ideazione, ritenuti non distorti, che consentono la dipendenza dei dati attraverso i paesi. Gli autori, usando l'approccio panel per i test di radice unitaria, riescono a rigettare l'ipotesi nulla di radice unitaria nei dati, fatto che conduce alla conclusione che le emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> stiano convergendo verso un comune trend o valore di media. Le stime sulla velocità della convergenza, inoltre, suggeriscono che ci vogliono circa 5 anni per dimezzare gli effetti di uno shock di CO<sub>2</sub>. Questi risultati vengono ritenuti robusti, e non dipendono dal fatto se ci siano o meno paesi in via di sviluppo nel campione. Trovano prova di convergenza non solo per il campione di paesi sviluppati, ma anche per il campione globale.

Nei test di convergenza, gli autori partono da una particolare nozione di convergenza, per cui la differenza nelle emissioni di CO<sub>2</sub> di lungo periodo, fra qualsiasi coppia di paesi, deve essere stazionaria. Il logaritmo delle emissioni di CO<sub>2</sub> di un paese  $i$  al tempo  $t$  è una variabile non stazionaria se presenta una radice unitaria.



# Università Ca'Foscari Venezia

Si dice che vi sia una convergenza diffusa a coppie se, fra qualsiasi coppia di paesi  $i$  e  $j$ , la differenza fra le emissioni pro capite del paese  $i$ , meno quelle del paese  $j$ , è stazionaria. Questa nozione di convergenza diffusa a coppie è considerata equivalente alla condizione che la differenza fra le serie individuali e il loro valore medio in ciascun punto di tempo sia stazionaria. Questa ipotesi può essere testata usando una regressione per cui a sinistra dell'uguale vi è un elemento che rappresenta la differenza fra le emissioni pro capite del paese  $i$  meno la media delle emissioni pro capite di tutti i paesi meno  $i$ . A destra dell'uguale vi è una somma fra vari elementi, costituiti dall'intercetta specifica del paese, un termine di trend temporale, un parametro  $\phi$  che moltiplica la differenza fra le emissioni del paese  $i$  meno la media delle emissioni di tutti i paesi al tempo  $t-1$ , più un termine di disturbo che può essere correlato sia al paese  $i$  che al tempo  $t$ . Il parametro chiave è  $\phi$ , che moltiplica la variabile di interesse (data dalle emissioni pro capite del paese  $i$  al tempo  $t-1$  meno la media delle emissioni pro capite di tutti i paesi al tempo  $t-1$ ) al tempo  $t-1$ .  $\phi$  misura il grado di convergenza. Se è uguale ad uno postula la presenza di radice unitaria e si esclude che si verifichi convergenza. Se  $\phi$  è minore di uno, si suppone che sussista convergenza nel paese  $i$ . L'ipotesi nulla da testare è che  $\phi$  sia uguale a uno, contro l'ipotesi che  $\phi$  sia minore di 1. Il rigetto dell'ipotesi nulla dovrebbe essere considerato prova di convergenza, mentre il non rigetto dovrebbe essere considerato come prova di non convergenza per l'intero insieme di dati panel. Se invece si considera un parametro  $\phi$  per i parametri individuali autoregressivi, si avrà ancora la stessa ipotesi nulla, ma l'ipotesi alternativa sarà che  $\phi$  è minore di uno per tutti i paesi. In questo caso si testerebbe l'ipotesi nulla di non convergenza contro l'ipotesi alternativa di convergenza per l'intero set di dati panel. Per testare l'ipotesi di radice unitaria dell'insieme dei dati panel, gli autori utilizzano tre test di radice unitaria recentemente sviluppati, i quali consentono la dipendenza fra i dati cross section dei diversi paesi, tramite l'assunzione che l'elemento di disturbo dell'equazione di regressione originaria consente la rappresentazione del fattore comune. L'elemento di disturbo è scomposto in un vettore contenente fattori inosservati comuni a tutti i paesi moltiplicato da un vettore con i rispettivi



# Università Ca' Foscari Venezia

pesi/parametri, più un altro termine di disturbo, assunto con media zero e incorrelato con il paese  $i$ , ma potenzialmente correlato con il tempo. Questi due fattori sono introdotti per modellare la dipendenza cross section del termine di disturbo nell'equazione di regressione originaria con i dati delle emissioni dei paesi. La grandezza di questa dipendenza è determinata dal vettore di parametri/pesi che moltiplica il vettore dei fattori comuni e misura il loro effetto. Se il vettore di pesi è zero, non vi è correlazione fra gli elementi di disturbo delle coppie di paesi. Se il vettore di pesi non è zero, vi è correlazione fra gli elementi di disturbo a coppie di paesi. Il test utilizzato prevede come prima cosa di stimare i fattori comuni inosservati ed il vettore di pesi, e poi di procedere con la serie defattorizzata, sottraendo alla variabile emissioni pro capite meno la media delle emissioni dei vari paesi al tempo  $t$ , il vettore dei fattori comuni stimati moltiplicato per il vettore dei rispettivi pesi. La parte rimanente della procedura non è chiara. Sembra che vengano applicati test per valutare se  $\phi$  è uguale ad uno, con statistiche test un po' complesse. Gli autori mostrano che i risultati delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> stanno convergendo verso una media comune. Si chiedono poi quanto velocemente le emissioni tornino verso una media comune a seguito di uno shock nelle emissioni di CO<sub>2</sub>. La velocità della convergenza è misurata in termini del tempo necessario per il dimezzamento del gap fra le emissioni di ciascun paese e la media complessiva dei paesi. Il tempo per giungere al dimezzamento del gap è dato dal numero di periodi di tempo per ridurre un impulso unitario della metà, cioè il numero di anni necessari per ridurre della metà il gap del livello di emissioni fra le media di tutti i paesi ed il paese  $i$ . Secondo gli autori il modo convenzionale per stimare il dimezzamento del gap è stimare l'equazione originaria con il metodo dei minimi quadrati, e poi dividere il logaritmo di 0,5 per il logaritmo di  $\phi$  stimato. Poiché questo metodo induce stime distorte del dimezzamento, gli autori utilizzano un metodo descritto da Phillips e Sul (2003)<sup>25</sup> come uno stimatore non distorto nella mediana apparentemente incorrelato. Esso può essere utilizzato per calcolare il

---

<sup>25</sup> Phillips P.C.B., Sul D., "Dynamic panel estimation and homogeneity testing under cross section dependence", in "Econometr J", 2003, 6, pp. 217-254



dimezzamento del gap di ciascun paese, come anche dell'intero campione. Secondo gli autori il vantaggio di questo particolare stimatore è che permette dipendenza cross section fra i paesi e simultaneamente la correzione delle distorsioni dei minimi quadrati. Questo stimatore soddisfa la proprietà per cui la probabilità di sovrastimare il parametro da stimare è uguale alla probabilità di sottostimare il parametro da stimare ed è uguale a 0,5. Uno stimatore che abbia questa proprietà è detto essere non distorto nella mediana. Nel caso di specie, il parametro da stimare è sempre  $\phi$ . Gli autori hanno compiuto test e stime su un campione di 16 paesi dal 1870 al 2002 e su un campione più esteso di 28 paesi sviluppati ed in via di sviluppo dal 1900 al 2002. Il primo campione mostra una convergenza più lenta, che viene spiegata con la maggiore estensione temporale, con inizio dei dati nel 1870, trenta anni prima del secondo campione. La convergenza appare più debole muovendosi all'indietro nel tempo. La conclusione è che la convergenza è stata più veloce negli ultimi anni. Gli autori concludono per la presenza di convergenza nelle emissioni di CO<sub>2</sub> fra gli stati a livello internazionale, con una velocità di convergenza del dimezzamento del gap stimata di 5 anni, indipendentemente dal campione usato.

*1.4.6 Jalil (2016) "Per Capita Carbon Dioxide Emission in the Developing Economies: Convergence or Divergence?"*

Anche Jalil (2016)<sup>26</sup> utilizza la tecnica proposta da Phillips e Sul (2007) e conosciuta come "log-t test", per analizzare la convergenza delle emissioni pro capite di diossido di carbonio per 126 paesi in via di sviluppo situati in Africa, America Latina e Caraibi, Africa Centro Orientale e Nord Africa, Asia e regioni del Pacifico, nel periodo dal 1971 al 2009. Il metodo del log-t test di Phillips e Sul (2007)<sup>27</sup> è ritenuto cruciale per la sua capacità di determinare convergenza a gruppi, che può sorgere se i risultati mostrano un modello divergente. La prova

---

<sup>26</sup> Jalil S.A., "Per Capita Carbon Dioxide Emission in the Developing Economies: Convergence or Divergence?", in "Journal of International Business, Economics and Entrepreneurship", 2016 Dec, Vol I, (1), pp. 1-8.

<sup>27</sup> Phillips P.C.B, Sul D., "Transition modeling and econometric convergence tests", in "Econometrica", 2007, 75(6), pp. 1771-1855.



# Università Ca'Foscari Venezia

empirica mostra che i paesi in via di sviluppo ritraggono un modello convergente delle emissioni pro capite di diossido di carbonio. L'esistenza di studi attraverso i paesi sulla convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub> è considerata interesse recente per preparare proposte di politica sul cambiamento climatico. All'autore sorge la domanda se la convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub> potrebbe verificarsi in modo simile alla convergenza sul reddito e se potrebbe essere pensata come parte della crescita economica. Si ritiene che la convergenza delle emissioni relative di CO<sub>2</sub> implica che i paesi non stanno seguendo sentieri indipendenti nel controllo dell'inquinamento, ma si stanno muovendo collettivamente verso un comune standard di performance ambientale. Il focus sull'esaminare l'esistenza di convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub> fra i paesi in via di sviluppo è ritenuto essenziale per chiarire se sia ragionevole applicare a questi paesi una comune politica energetica ed ambientale. L'importanza di comprendere e considerare la distribuzione delle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> è fondamentale per disegnare proposte internazionali sul cambiamento climatico ed incentivi per la partecipazione. Si ritiene che, se vi è mancanza di convergenza sulle emissioni fra i paesi in via di sviluppo, questo potrebbe causare che essi concordino meno sugli obblighi di abbattimento delle emissioni. Nello studio è stato utilizzato il log-t test per analizzare la convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub> di 126 paesi in via di sviluppo, in quanto questo metodo è stato ritenuto flessibile nel tracciare un grande numero di sentieri di transizione alla convergenza. Si ritiene che il metodo possa chiarificare, oltre a stabilire modelli di convergenza o divergenza fra i paesi, se l'economia di questi paesi converga in modo incondizionato od assoluto od in modo condizionale. Il fattore significativo è che la tecnica cattura il comportamento eterogeneo dell'agente nella teoria economica e lo modella nello studio. Il nuovo modello ha un fattore comune che varia col tempo, che rappresenta un set di serie osservabili, in cui la variabile di interesse è uguale ad una componente comune moltiplicata per un elemento idiosincratico che varia col tempo e cattura la deviazione del paese i dal comune sentiero definito dalla componente comune. Tutte le N economie convergono allo stato stazionario se il limite di questo elemento idiosincratico nel tempo  $t+k$  è uguale a qualche valore



dell'elemento idiosincratico di divergenza comune. Come determinare questo valore unico per l'elemento idiosincratico fra i vari paesi non è chiaro, tuttavia, nel modello. La misura relativa delle emissioni del paese  $i$  diviso la media delle emissioni di tutti i paesi al tempo  $t$ , che ha valore uguale al corrispondente rapporto dell'elemento idiosincratico del paese  $i$  diviso la media degli elementi idiosincratici di tutti i paesi, cattura il sentiero di transizione rispetto alla media del campione. L'elemento idiosincratico assume un modello in forma semiparametrica, costituita da una costante più una forma non parametrica, con al denominatore una funzione del tempo che varia lentamente ed è considerata equivalente al logaritmo dell'indice temporale del tempo  $t$ . Nell'ipotesi nulla di convergenza, l'elemento idiosincratico del paese  $i$  è uguale ad un valore idiosincratico senza indici, ma non chiarificato nell'origine e nel valore effettivo, se si dovesse eseguire il test, ed è maggiore o uguale a zero. Nell'ipotesi alternativa di non convergenza questo elemento idiosincratico è minore di zero o diverso dal valore senza indici testato. L'ipotesi nulla di convergenza può anche essere testata tramite una regressione la cui equazione contiene il logaritmo del tempo  $t$ , ma non è ben chiara o dimostrata, né del tutto congruente con le precedenti espressioni e simbologie nell'articolo. Nel complesso il testo non è chiarissimo anche nella scrittura. Di fatto nei risultati del test viene affermata convergenza per l'intero campione e per la regione dell'America Latina ed i Caraibi, mentre si riscontra divergenza in Africa, Africa Centro-Orientale e Nord Africa, Asia e area del Pacifico. Sul presupposto che il coefficiente del logaritmo del tempo  $t$  del test è minore di due (ma maggiore di 0), si potrebbe concludere per la presenza di convergenza relativa e non assoluta, secondo l'autore.

*1.4.7 Nourry (2009), "Re-Examining the Empirical Evidence for Stochastic Convergence of Two Air Pollutants with a Pair-Wise Approach"*

Nourry (2009)<sup>28</sup> esamina l'ipotesi di convergenza stocastica per le emissioni di

---

<sup>28</sup> Nourry M., "Re-Examining the Empirical Evidence for Stochastic Convergence of Two Air Pollutants with a Pair-Wise Approach", in "Environmental Resource Economics", 2009, 44, pp. 555-570.



# Università Ca'Foscari Venezia

due inquinanti dell'aria: il diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) ed il diossido di zolfo (SO<sub>2</sub>). Nell'articolo viene utilizzato un recente metodo econometrico alternativo, basato su un approccio a coppie, che considera tutte le possibili coppie di gaps di logaritmi di emissioni inquinanti pro capite in tutti i paesi del campione. Con questo metodo tutte le differenze di emissioni devono essere stazionarie attorno ad una media costante. I risultati empirici portano differenti conclusioni sulla convergenza stocastica di emissioni di CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> a seconda della scelta sul test di radice unitaria. L'uso di specifici valori critici per i test congiunti di radice unitaria supera questi risultati iniziali confliggenti e conduce a piccole percentuali di coppie stazionarie intorno ad una media costante. Questo invalida l'ipotesi di convergenza stocastica per le emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> anche nel sottocampione di paesi OECD. I motivi per cui l'autrice indaga sulla convergenza delle emissioni inquinanti, risiedono nella considerazione che la convergenza delle emissioni è anche un assunto di molti modelli di cambiamento climatico. L'articolo tratta delle emissioni di due inquinanti dell'aria transfrontalieri, le emissioni di CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, scelti perché potrebbero condurre a differenti risultati in termini di convergenza o divergenza: le emissioni di SO<sub>2</sub> danneggiano la salute umana e sono responsabili delle piogge acide; le emissioni di CO<sub>2</sub> sono ritenute responsabili del 40% del riscaldamento globale. Oltre a ciò, protocolli internazionali ambientali hanno avuto successo nel diminuire le emissioni di SO<sub>2</sub>, mentre le politiche contro il cambiamento climatico non hanno ancora avuto come risultato la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. L'articolo si interroga sulla convergenza stocastica, esaminando il comportamento di lungo termine delle differenze nelle emissioni inquinanti pro capite fra paesi. Si intende che due paesi convergono in senso stocastico se il limite del loro gap atteso di emissioni pro capite tende a zero quando l'orizzonte delle previsioni aumenta, e questo implica che le deviazioni sono sempre transitorie. In questo approccio, la differenza nelle emissioni pro capite fra due nazioni non può contenere una radice unitaria od un trend temporale. L'autrice usa una recente metodologia alternativa per il test di convergenza stocastica di due inquinanti dell'aria. Per ovviare al problema per cui se la serie di un paese contiene una radice unitaria, anche tutto il campione





# Università Ca' Foscari Venezia

contiene una radice unitaria, l'autrice accoglie il suggerimento di esaminare la deviazione di ciascun paese da tutti gli altri. Utilizza un metodo proposto da Pesaran (2007)<sup>29</sup> per testare la convergenza della crescita del prodotto, e considera tutte le  $N(N-1)/2$  possibili coppie delle differenze dei logaritmi delle emissioni pro capite delle  $N$  economie. Nell'articolo l'autrice utilizza per le emissioni di SO<sub>2</sub> un campione composto da 81 paesi sviluppati ed in via di sviluppo nel periodo 1950-1990, utilizzando l'approccio a coppie di Pesaran, per esaminare le proprietà di radice unitaria di ciascuna coppia di emissioni. Per le emissioni di CO<sub>2</sub> utilizza un campione di 127 paesi dal 1950 al 2003. Pesaran fornisce una definizione di convergenza a coppie per cui i paesi  $i$  e  $j$  convergono se la probabilità che la differenza delle emissioni pro capite del paese  $i$  al tempo  $t+s$  meno le emissioni pro capite del paese  $j$  al tempo  $t+s$  sia inferiore a una costante  $c$ , dato il set di informazioni, è maggiore di  $p$ , che è maggiore o uguale a zero. Sembra una definizione piuttosto generica e ampia. Per confermare la presenza di convergenza a coppie, prima si deve eseguire un test di radice unitaria sulla differenza fra le emissioni pro capite del paese  $i$  meno le emissioni inquinanti del paese  $j$ ; in seconda istanza si deve eseguire un test sul trend comune per testare la differenza (gap) stazionaria. Di fatto, rappresentando la funzione del logaritmo delle emissioni pro capite di un dato paese  $i$ , e ponendola uguale a una serie di addendi sommati fra loro, sussiste convergenza fra due paesi se il limite del valore atteso della differenza fra le emissioni pro capite fra due paesi è uguale a zero, e quindi se almeno tre di questi addendi sono uguali nei paesi  $i$  e  $j$ . In particolare si deve porre l'uguaglianza della componente deterministica delle emissioni pro capite, costituita da costante e trend, e di un vettore multifattoriale di elementi comuni moltiplicato per il vettore dei pesi relativi. Questo secondo l'autrice corrisponde a porre la condizione di cointegrazione fra le serie di emissioni dei paesi  $i$  e  $j$ , con vettore di cointegrazione  $(1,-1)$ . Nel modello di Pesaran, invece, radice unitaria e proprietà di trend sono esaminate per tutte le possibili coppie di  $N$  paesi, che numericamente sono pari a  $N(N-1)/2$  coppie. L'equazione da testare vede a

---

<sup>29</sup> Pesaran M.H., "A pair-wise approach to testing for output and growth convergence", in "J Econom", 2007, 138, pp. 312-355.



# Università Ca'Foscari Venezia

sinistra dell'uguale la differenza fra le emissioni pro capite di una coppia di paesi al tempo  $t$ ; a destra dell'uguale vi sono varie componenti sommate. Fra queste, vi è la differenza della variabile di trend dei due paesi al tempo  $t$ , moltiplicata dal parametro  $\beta$ , e la differenza delle emissioni pro capite della coppia di paesi al tempo  $t-1$ , moltiplicata per il parametro  $\beta$ . Il test vede come ipotesi nulla che  $\beta$  sia uguale a zero, il che implica che sia presente una radice unitaria e che le emissioni siano divergenti. L'ipotesi alternativa è che  $\beta$  sia minore di zero; in questo caso la presenza di radice unitaria è rigettata e le emissioni della coppia di paesi sono convergenti. Trovo un po' singolare porre il test di radice unitaria con l'ipotesi nulla che  $\beta$  sia uguale a zero e che in questo caso si sia in presenza di radice unitaria. La presenza di radice unitaria dovrebbe verificarsi se  $\beta$  è maggiore o uguale a uno in modulo, mentre per valori del parametro minori in modulo a uno si dovrebbe essere portati ad escludere la presenza di radice unitaria. Se il parametro  $\beta$  è statisticamente uguale a zero, si dovrebbe invece concludere per la non significatività delle variabili corrispondenti (differenza dell'elemento di trend e differenza delle emissioni pro capite al tempo  $t-1$  della coppia di paesi) nell'equazione di regressione: essendo le variabili differenze nei valori del trend e delle emissioni al tempo  $t-1$ , non statisticamente diverse da zero, e quindi irrilevanti, si potrebbe concludere per l'assenza di radice unitaria, poiché per premessa la convergenza si verifica se i singoli addendi che compongono l'equazione delle emissioni pro capite dei paesi  $i$  e  $j$  sono uguali e quindi la loro differenza è zero. Trovo in questi elementi una contraddizione nella metodologia proposta dall'autrice dell'articolo.

I campioni presi in esame sono costituiti per il CO<sub>2</sub> da 127 paesi (8001 coppie) dal 1950 al 2003, e per il SO<sub>2</sub> da 81 paesi (3240 coppie) nel periodo 1950-1990. Sono stati anche esaminati i dati per il gruppo di paesi OECD. Con il test di radice unitaria ADF, per il CO<sub>2</sub> la proporzione di convergenza a coppie spazia dal 3,46% al 8,50%. Poiché la percentuale di differenze a coppie nelle emissioni che presentano stazionarietà attorno ad una media è molto piccola, la prova empirica di una convergenza stocastica nelle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> appare molto limitata. Nel caso del test di radice unitaria KPSS, ci si aspetta che la proporzione



di coppie di paesi divergenti sia vicino al livello di significatività del test (5% o 10%) nell'ipotesi di convergenza. L'uso dell'approccio a coppie fornisce prova empirica contraddittoria sulla convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Nel campione di paesi OECD, la proporzione di coppie convergenti, o coppie stazionarie attorno ad una media costante va dal 1,72% al 3,45% nel periodo 1950-2003 con il test ADF di radice unitaria. Anche con il test KPSS i risultati empirici sono contro l'ipotesi di convergenza stocastica nelle emissioni di CO<sub>2</sub>. La percentuale di coppie non stazionarie in media è superiore al 90% e di quelle non stazionarie in trend è superiore all'85%. Per le emissioni di SO<sub>2</sub>, le regressioni con il test ADF sia per l'intero campione, sia per il gruppo di paesi OECD, forniscono qualche debole prova di convergenza, mentre il test KPSS supporta l'ipotesi di divergenza. L'uso dell'approccio a coppie non fornisce una visione netta di convergenza stocastica per CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

*1.4.8 List (1999) "Have Air Pollutant Emissions Converged Among U.S. Regions? Evidence from Unit Root Test"*

List (1999)<sup>30</sup> è forse il primo autore in tempi relativamente recenti, a pubblicare uno studio sulla convergenza delle emissioni di inquinanti dell'aria come ossidi di azoto ed ossidi di zolfo, limitatamente però agli stati degli Stati Uniti d'America, nel periodo 1929-1994. L'autore parte dalla premessa che studi a lui precedenti avevano trovato prova che i redditi delle regioni degli Stati Uniti convergevano, supportando così le previsioni del "modello neoclassico" di crescita. In questi studi è stata utilizzata una sola misura di benessere, una misura cioè di ricchezza connessa al reddito od al prodotto. Nell'articolo l'autore esamina se la convergenza del reddito negli Stati Uniti è stata accompagnata dalla convergenza nelle emissioni di alcuni inquinanti dell'aria, considerando le emissioni di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>). I risultati di test di radice unitaria forniscono prova che indicatori di qualità ambientale erano convergenti nel periodo 1929-1994 nelle regioni degli Stati Uniti. L'autore ravvisa in studi degli

---

<sup>30</sup> List J.A., "Have Air Pollutant Emissions Converged Among U.S. Regions? Evidence from Unit Root Test", in "Southern Economic Journal", 1999, 66(1), pp. 144-155



# Università Ca'Foscari Venezia

anni Novanta del Novecento prova di convergenza stocastica del reddito, in grado di fornire supporto alla teoria neoclassica della convergenza del reddito. Sulla possibile origine di questa convergenza, nota che è inerente a modelli teorici che le regioni possano convergere riguardo ai redditi se si verifica una specializzazione, con le regioni più povere che si specializzano nella produzione di beni a grande intensità di inquinamento e sperimentano grandi aumenti del reddito pro capite, laddove le regioni più ricche si specializzano nella produzione di beni puliti e di conseguenza hanno un più basso tasso di crescita del reddito pro capite. In questo scenario, è possibile che le regioni convergano quanto a ricchezza monetaria, ma divergano quanto a redditi verdi, o livelli di reddito aggiustati per la qualità ambientale. Nell'articolo l'autore utilizza i dati di due indicatori di qualità ambientale – le emissioni di ossidi di azoto e biossidi di zolfo – per esaminare se la qualità ambientale converge fra gli Stati Uniti nel periodo dal 1929 al 1994. I principali risultati empirici forniscono prova iniziale che le emissioni regionali pro capite convergono. Questi risultati suggeriscono secondo l'autore che le regioni più povere non hanno dovuto rinunciare alla qualità ambientale per i loro guadagni relativi nei livelli di reddito. Per stimare la convergenza l'autore utilizza il metodo della beta-convergenza, in cui il tasso di crescita delle emissioni inquinanti è posto uguale ad una costante più il livello iniziale delle emissioni inquinanti moltiplicato il parametro beta, cui viene sommato un errore casuale. La costante ed il parametro beta sono gli elementi da stimare, e si ritiene provata la convergenza fra le regioni se il parametro beta ha segno negativo. Il parametro beta, che moltiplica il livello iniziale delle emissioni inquinanti, con segno negativo implica che le regioni con più alti livelli iniziali di emissioni pro capite hanno più bassi tassi di crescita delle emissioni delle regioni a bassa intensità di emissioni. Dalle stime del parametro beta, le emissioni di NOx sembrano convergere con un livello di significatività di 0,01, con il parametro beta, pari a -0,21. Per le emissioni di SO<sub>2</sub> il parametro beta stimato è pari a -0,04, ha segno negativo, ma non è statisticamente diverso da zero. Riguardo il significato da dare alla regressione ed al valore di beta, l'autore afferma che, per ogni regione le cui emissioni nel 1929 fossero sopra la media nazionale, ogni



# Università Ca'Foscari Venezia

1000 tonnellate di emissioni, il tasso di crescita delle emissioni di NO<sub>x</sub> pro capite della regione era diminuito del 0,21% all'anno nel periodo dal 1924 al 1994, in quanto beta è risultato pari a -0,21; il tasso di crescita delle emissioni di SO<sub>2</sub> è diminuito dello 0,04% all'anno nello stesso periodo dal 1929 al 1994, in quanto beta è risultato stimato pari a -0,04. Eventuali trend negli anni intermedi con il metodo della beta-convergenza vengono persi. In realtà il valore del parametro beta indica che per ogni aumento unitario della variabile indipendente, la variabile dipendente diminuisce o aumenta del valore del parametro beta moltiplicato uno. Il quantitativo ottenuto non potrebbe intendersi come quantità all'anno.

La convergenza stocastica fra le regioni degli Stati Uniti implica anche che eventuali shocks nelle emissioni intervenuti si dissipano nel tempo, non sono permanenti, o, detto in altro modo secondo l'autore, che non vi è una radice unitaria. Se gli shocks sono permanenti e si trova una radice unitaria, le regioni non sono convergenti. Nell'analisi l'autore considera il logaritmo delle emissioni pro capite in una regione in rapporto a quello dell'economia nel complesso. Il logaritmo delle emissioni pro capite della regione  $i$  è costituito dalla somma di due elementi: l'equilibrio differenziale invariante nel tempo e la deviazione da questo equilibrio. La deviazione dall'equilibrio è sua volta scomposta in una deviazione iniziale dall'equilibrio più un termine di errore o deviazione. La variabile del logaritmo delle emissioni relative della regione  $i$  è posta uguale ad un valore medio, ottenuto sommando l'equilibrio differenziale invariante nel tempo alla deviazione iniziale dall'equilibrio, più un termine di errore o deviazione. Si considera che le emissioni pro capite di una specifica regione convergano se il termine di errore o deviazione è temporaneo. L'autore esegue l'Augmented Dickey Fuller (ADF) test aggiungendo un operatore di ritardo ad entrambi i lati dell'equazione su cui eseguire il test di radice unitaria. Il differenziale delle emissioni relative pro capite della regione  $i$  è uguale ad un valore di media, più la variabile emissioni relative pro capite al tempo  $t-1$  moltiplicata per un parametro, più la sommatoria, moltiplicata per un parametro, del logaritmo dei differenziali o cambiamenti nelle emissioni relative pro capite nei periodi  $t-j$ , con  $j$  che va da 1 a  $k$ , più un termine di errore. Questa equazione è considerata l'equazione standard



per il test ADF di radice unitaria. Come riportato in altri articoli da me citati, la tesi intorno all'ipotesi nulla è che se il parametro che moltiplica il logaritmo delle emissioni relative al tempo  $t-1$  risulta uguale a zero, si intende che gli shock nelle emissioni sono permanenti e le emissioni hanno radice unitaria. L'interpretazione di un risultato di questo tipo è che le emissioni pro capite regionali non convergono. Se il parametro risulta diverso da zero, l'autore afferma si deve intendere che gli shock sulle emissioni regionali pro capite sono temporanei, si rigetta l'ipotesi nulla di radice unitaria, ed è evidente la convergenza stocastica. Restano perplessità per me su un simile modo di interpretare il test di radice unitaria e l'ipotesi nulla con il parametro della variabile ritardata al tempo  $t-1$  posto uguale a zero a presupporre presenza di radice unitaria, anziché posto uguale ad uno.

Secondo l'autore i test forniscono qualche prova che un indicatore di qualità ambientale, come le emissioni inquinanti dell'aria di NOx e SO2, converge in modo condizionale nelle regioni degli Stati Uniti. Questi risultati sono considerati rafforzare studi precedenti sulla convergenza dei redditi.

*1.4.9 Acar e Lindmark (2016) "Periods of converging carbon dioxide emissions from oil combustion in a pre-Kyoto context"*

Acar e Lindmark (2016)<sup>31</sup> esaminano la convergenza delle emissioni di diossido di carbonio (CO2) derivanti dalla combustione del petrolio per un gruppo di 86 paesi dal 1973 al 2004, considerando sotto-periodi separatamente. Gli autori ritengono importante studiare l'importanza del contesto storico degli eventi nell'esaminare la convergenza delle emissioni di anidride carbonica. L'analisi econometrica dovrebbe essere guidata da un'analisi storica di periodi strutturali omogenei. In secondo luogo ritengono che sia necessaria una attenta selezione dei paesi da includere in uno studio econometrico. In terzo luogo ritengono che le fonti di energia primaria che danno luogo ad emissioni di CO2, come petrolio, carbone o altri combustibili fossili, sono correlate a tecnologie parzialmente

---

<sup>31</sup> Acar S., Lindmark M., "Periods of converging carbon dioxide emissions from oil combustion in a pre-Kyoto context", in "Environmental Development", 2016, 19, pp. 1-9.



# Università Ca'Foscari Venezia

differenti: al giorno d'oggi il petrolio è maggiormente usato nel settore del trasporto, mentre il carbone è usato principalmente per la produzione di energia elettrica e nelle fabbriche di acciaio. Per questo motivo nell'articolo analizzano separatamente le emissioni relative al petrolio. Lo studio esamina il periodo anteriore all'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, nel Febbraio 2005. Si ritiene che il Protocollo di Kyoto, come accordo internazionale connesso con la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), possa aver influenzato le politiche degli stati ad esso successive, od essersi accompagnato ad altre politiche sul contenimento delle emissioni di gas serra, o sul cambiamento climatico, che possono aver modificato l'andamento delle emissioni di gas serra e di CO<sub>2</sub>. Gli autori hanno diviso il periodo complessivo 1973-2004 in sotto-periodi, i primi due dei quali coincidono con le crisi petrolifere: i sotto-periodi considerati sono 1973-1979, per la crisi del 1973; 1979-1991 per la crisi del 1979; 1991-2004, considerato periodo pre-Kyoto. Mentre per i periodi 1973-1979 e 1979-1991 si trova prova di convergenza non condizionata, nell'ultimo periodo 1991-2004, non si trova prova di convergenza nelle emissioni di CO<sub>2</sub>. L'analisi di convergenza è effettuata con il metodo della beta-convergenza, in accordo con un modello di crescita neoclassico, con variabili addizionali di controllo, come le emissioni da combustione di combustibili solidi.

Per il concetto di convergenza, gli autori si rifanno al testo già citato di Solow (1956)<sup>32</sup> per l'ipotesi di convergenza del reddito, in cui i paesi a più basso livello di reddito godono di più alti tassi di crescita del reddito di quelli che sono a più alti livelli di reddito, a causa dell'assunzione dei rendimenti marginali decrescenti del capitale. E' ritenuto basilare il testo di Barro e Sala-i-Martin (1992)<sup>33</sup> che testa la convergenza in un modello di crescita neoclassico in 48 stati degli Stati Uniti tramite regressione del tasso di crescita medio dell'intero campione in vari periodi dal 1840 al 1988, sull'iniziale livello di reddito, mostrando che l'intero campione

---

<sup>32</sup> Solow R.M., "Technical change and the aggregate production function", in "Rev. Econ. Stat.", 1956, 39, pp. 312-320.

<sup>33</sup> Barro R.J., Sala-i-Martin X., "Convergence", in "Journal of Political Economics", 1992, 100, pp. 223-251



# Università Ca'Foscari Venezia

convergeva in termini di crescita economica. Il fatto che la ricerca sulla convergenza ambientale sia ispirata dalla precedente letteratura sulla convergenza economica e usi metodologie simili per ispezionare la convergenza delle emissioni fra i paesi, viene fatto derivare dall'idea che reddito e inquinamento siano entrambi determinati contemporaneamente. Questo è ritenuto il risultato di un modello macroeconomico in cui l'inquinamento è dannoso dal punto di vista ambientale ed i redditi sono il risultato di una funzione di produzione congiunta, in cui la società cerca di trovare il mix ottimale fra inquinamento e reddito, massimizzando il welfare. Questa, a sua volta, è ritenuta una ragionevole assunzione, poiché la maggior parte, se non tutte, delle attività economiche richiede uso di energia e l'energia è di solito generata tramite l'estrazione di risorse naturali ed alle spese di vari effetti ambientali negativi.

Nell'articolo l'analisi di convergenza delle emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dalla combustione del petrolio è condotta su un campione globale di 86 paesi e su un campione più ristretto di economie consumanti petrolio di 69 paesi. Per la composizione del campione più ristretto gli autori hanno compiuto esclusioni motivate di vari paesi o gruppi di paesi. I due campioni sono presi in considerazione in tre periodi distinti: dal 1973 al 1979, in occasione della prima crisi petrolifera; dal 1979 al 1991 in occasione della seconda crisi petrolifera e fino all'inizio delle politiche sul clima; dal 1992 al 2004, considerato il periodo delle politiche sul clima ed il periodo precedente l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto nel 2005. Gli autori osservano che la quota media di emissioni di CO<sub>2</sub> da combustione di petrolio sul Pil è diminuita dal 1973 al 1991, mentre è aumentata nel periodo fino al 2004. Il massimo livello di intensità di uso del petrolio fra i paesi è anche diminuito nel tempo dal 1973 al 1991. La varianza fra i paesi rispetto all'intensità dell'uso del petrolio è diminuita dal 1973 al 1991, come mostrato dalla standard deviation, mentre è aumentata nel periodo fino al 2004. Gli autori indagano sulla presenza di convergenza, fra i paesi dei campioni, nei vari periodi con un metodo di beta-convergenza siffatto: il tasso di crescita delle emissioni, posto a sinistra dell'uguale, è trovato tramite il logaritmo del livello di emissioni alla fine del periodo diviso il livello di emissioni all'inizio del periodo.





# Università Ca'Foscari Venezia

Il rapporto, di cui si considera il logaritmo, fra livello finale delle emissioni al numeratore e livello iniziale delle emissioni al denominatore, ad indicare il tasso di crescita, in realtà esprime il rapporto fra due valori nel tempo della variabile, ma percentualmente il risultato è il totale del periodo finale sul periodo iniziale, conteggiando più o meno la differenza rispetto al periodo iniziale con scala di valori parametrata ad uno, ed è un po' diverso dal calcolo di solito utilizzato, in cui al numeratore vi è la differenza fra livello finale e livello iniziale della variabile di interesse, ed al denominatore vi è il livello iniziale della variabile di interesse. Il logaritmo di questo rapporto, a sinistra dell'uguale, viene regredito su alcuni componenti sommati posti a destra dell'uguale, composti da una costante più il parametro beta che moltiplica il logaritmo delle emissioni nell'anno iniziale del periodo, più un termine di errore. La regressione è effettuata per ciascun paese  $i$ . L'ipotesi nulla di divergenza è testata ponendo beta pari a zero per tutti i paesi, mentre l'ipotesi alternativa di convergenza vede beta minore di zero. Sulla costruzione del test per l'ipotesi nulla, non è chiaro perché escludere che beta possa anche essere positivo. L'idea di fondo come in altri test di beta-convergenza, è che il parametro di regressione beta che moltiplica il livello iniziale della variabile di interesse, in questo caso il livello di emissioni iniziali del paese  $i$ , deva essere negativo in caso di convergenza. In realtà, in un modello siffatto, beta è negativo se vi è stata una diminuzione nel tempo dall'anno iniziale all'anno finale, delle emissioni, e non sembra in grado di indicare necessariamente convergenza fra i paesi. In effetti gli autori riscontrano convergenza nei primi due periodi 1973-1979 e 1979-1991, in cui concomitanza, di fatto, i livelli di emissioni sono diminuiti nel tempo; riscontrano divergenza nell'ultimo periodo 1991-2004, in cui invece il fenomeno verificatosi è che i livelli di emissioni sono aumentati, come dagli autori sottolineato.

Viene effettuata una regressione su un modello esteso in cui la variabile dipendente è il tasso di crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub> relative al petrolio in percentuale sul Pil (GDP), posta a sinistra dell'uguale. A destra dell'uguale, vi sono sommati oltre ad una costante e ad un termine di errore cinque variabili, costituite da: quota di emissioni legate al petrolio sul Pil nell'anno iniziale del



# Università Ca'Foscari Venezia

periodo; quota di emissioni relative al carbone sul Pil nell'anno iniziale del periodo; tasso di crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub> relative al carbone in percentuale sul Pil; logaritmo del Pil pro capite nell'anno iniziale del periodo; tasso di crescita percentuale del Pil. Il Pil o GDP è misurato in dollari internazionali del 1990. Il tasso di crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub> relative al petrolio sul Pil, è chiamato intensità delle emissioni di CO<sub>2</sub> relative al petrolio. L'ipotesi nulla di divergenza è testata sulla principale variabile indipendente costituita dall'intensità di emissioni di CO<sub>2</sub> relative al petrolio nell'anno iniziale del periodo e dal corrispondente coefficiente parametro beta, che nell'ipotesi nulla è posto uguale a zero. In aggiunta, vengono inserite le altre variabili di controllo. In particolare il logaritmo del Pil pro capite nell'anno iniziale del periodo è introdotto per misurare gli effetti del reddito. Ci possono essere effetti secondo gli autori se il reddito è correlato alla capacità di introdurre risposte flessibili ad uno shock del prezzo del petrolio. In generale, inoltre, ci si aspetta che redditi più alti siano positivamente correlati a più alta capacità sociale, o capacità tecnica, di acquisire nuova tecnologia o di guidare lo sviluppo di nuova tecnologia. La variabile dell'intensità del carbone, cioè la quota di emissioni di CO<sub>2</sub> relative al carbone sul Pil, controlla gli effetti della quota del carbone sul sistema dell'energia, in quanto il carbone potrebbe fornire un sostituto relativamente diretto del petrolio. Nella regressione, se il coefficiente beta relativo all'intensità del petrolio sul Pil o quota delle emissioni di CO<sub>2</sub> relative al petrolio sul Pil, viene stimato minore di zero, mentre i coefficienti delle altre variabili vengono stimati non significativamente diversi da zero, si è in presenza di convergenza assoluta. Si è invece in presenza di convergenza condizionale se il coefficiente beta dell'intensità di emissioni relative al petrolio è minore di zero, mentre uno o più dei coefficienti delle altre variabili sono stimati significativamente diversi da zero. Il modello è stimato seguendo l'approccio dei minimi quadrati ordinari.

Nel primo periodo 1973-1979, si riscontra convergenza nel campione globale e convergenza assoluta nel campione ristretto. Nel secondo periodo 1979-1991 il campione globale mostra più forte convergenza rispetto al primo periodo, ma si tratta sempre di convergenza condizionata; variabili come il livello del reddito



nell'anno iniziale del periodo ed il tasso di crescita del reddito pro capite sono significativamente diverse da zero, con coefficiente negativo. Anche in questo periodo nel campione ristretto si è in presenza di convergenza assoluta. Nel terzo periodo 1991-2004 non si trova prova di convergenza dell'intensità del petrolio, o della quota delle emissioni di CO<sub>2</sub> sul Pil, nell'anno iniziale del periodo, sia nel campione globale, sia nel campione ristretto.

*1.4.10 De Oliveira e Bourscheidt (2017) "Multi-sectorial convergence in greenhouse gas emissions"*

De Oliveira e Bourscheidt (2017)<sup>34</sup> hanno testato l'ipotesi di convergenza nelle emissioni di gas serra per un insieme di dati panel multisettoriali di vari paesi. Come strategia empirica hanno applicato stimatori "convenzionali" degli effetti fissi e casuali ai principali inquinanti responsabili dell'effetto serra, ed il Metodo Generalizzato dei Momenti di Arellano e Bond (1991)<sup>35</sup>. Gli autori hanno concluso che il modello ha rivelato prova di convergenza nelle emissioni pro capite di metano (CH<sub>4</sub>) nei settori dell'agricoltura, dell'alimentare e dei servizi. La prova della convergenza nelle emissioni di anidride carbonica o biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) è stata moderata nei seguenti settori: agricoltura, alimentare, manifattura di beni non durevoli e servizi. Hanno trovato anche un termine temporale per la convergenza, che in tutti i casi è stimato inferiore a 15 anni. Riguardo le emissioni per uso energetico, ritenute la maggiore fonte di riscaldamento globale, c'è stata solo moderata prova di convergenza nel settore dell'industria estrattiva; tutti gli altri inquinanti hanno presentato poca o nessuna prova di convergenza. Gli autori rilevano che in letteratura la relazione fra crescita economica e ambiente sia stata investigata seguendo due filoni principali: da una parte indagando sulla presenza di una Curva di Kuznets Ambientale, che suppone una relazione ad U rovesciata fra emissioni pro capite e reddito; dall'altra analizzando l'ipotesi di convergenza delle emissioni di gas serra, con lo scopo di

---

<sup>34</sup> De Oliveira G., Bourscheidt D.M., "Multi-sectorial convergence in greenhouse gas emissions", in "Journal of Environmental Management", 2017, 196, pp. 402-410.

<sup>35</sup> Arellano M., Bond S., "Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations", in "Rev. Econ. Stud.", 1991, 58 (2), pp. 277



# Università Ca'Foscari Venezia

verificare se i paesi convergono verso uno stato stazionario di emissioni. L'articolo qui citato si propone di analizzare la convergenza delle emissioni di gas serra fra diversi paesi. Negli studi sembra verificarsi una divergenza di risultati, fra alcuni sostenitori della convergenza ed altri che non supportano questa ipotesi. Una ragione della divergenza dei risultati viene ritrovata nella grandezza del campione: se il campione aumenta, la prova di convergenza diminuisce. Un'altra ragione viene ritrovata nel metodo econometrico usato: il metodo dei minimi quadrati ordinari ed i test di radice unitaria confermerebbero la convergenza, mentre altre tecniche più elaborate e analisi dinamiche non confermerebbero l'ipotesi di convergenza. Gli autori utilizzano dati provenienti da un nuovo database, il World International Input-Output Database, che fornisce stime di dati ambientali settoriali, per condurre quello che viene definito il primo test multi-settoriale sull'ipotesi di convergenza, relativo ai gas serra. E' ritenuto particolarmente rilevante un test sulla convergenza multi-settoriale delle emissioni di gas serra, perché le considerazioni sui diritti di emissioni pro capite possono influenzare la politica di negoziato di accordi multi-settoriali all'interno e fra paesi. Il più recente tavolo citato per queste discussioni è stato la Conferenza sul Clima di Parigi del 2015, in cui si sono riuniti oltre 190 paesi sviluppati ed in via di sviluppo. Nell'articolo viene stimato un modello usando dati panel di 33 settori, disponibili per un gruppo di 39 paesi nel periodo 1996-2007.

La strategia di identificazione o metodo utilizzato per la stima, parte da una funzione di produzione in forma Cobb-Douglas, in cui il lavoro è moltiplicato per un fattore che rappresenta il livello tecnologico. La produzione descritta da questa funzione ha due prodotti: un prodotto positivo, la crescita economica, ed un prodotto negativo, le emissioni inquinanti di gas serra. Il prodotto è uguale al capitale, con esponente  $\alpha$ , che moltiplica il fattore lavoro moltiplicato al livello tecnologico, con esponente uno meno  $\alpha$ . Si assume che la popolazione e la tecnologia siano date in modo esogeno, con una scrittura in cui il tasso di crescita è espresso da un esponente per la crescita della popolazione ed un altro esponente per la crescita della tecnologia, moltiplicati per l'indice temporale  $t$ . Questi esponenti sono sulla base del logaritmo naturale e, che moltiplica,



# Università Ca'Foscari Venezia

rispettivamente, il livello di forza lavoro al tempo  $t=0$  e la tecnologia al tempo  $t=0$ . Vengono definite emissioni per unità di lavoro effettivo, costituite dalle emissioni totali diviso il numero di lavoratori e diviso il livello di tecnologia. Viene definita la variabile capitale per unità di lavoro effettivo, dividendo il capitale per le unità di lavoratori e dividendo per il livello della tecnologia. Posto che una frazione del reddito settoriale viene risparmiata, viene definito il differenziale del capitale diviso il differenziale del tempo, uguale alla frazione di risparmio che moltiplica il capitale meno il tasso di crescita della forza lavoro, il tasso di crescita della tecnologia, il deprezzamento del capitale, sommati e moltiplicati per il capitale per lavoratore. Risolvendo questa equazione per il capitale per lavoratore effettivo, si ottiene il valore di capitale per lavoratore di stato stazionario, uguale ad un elemento frazionario con quota di risparmio al numeratore e tasso di crescita della forza lavoro, sommato al tasso di crescita della tecnologia, sommato al tasso di deprezzamento del capitale al denominatore, tutto elevato ad esponente frazionario con uno al numeratore ed uno meno  $\alpha$  al denominatore dell'esponente. Scritture e formulazioni di questo tipo sono ricorrenti, anche se non sempre perfettamente identiche, negli articoli visti riguardo la convergenza, con modi analoghi di indicare la funzione di produzione, ridotta a funzione del capitale per lavoratore, di cui si trova il differenziale per indicare il tasso di crescita del capitale e del prodotto. Queste espressioni si rifanno ad un modello così detto "neoclassico" della crescita economica e dell'economia, in cui le variabili ed alcune equazioni sono ricorrenti, anche se non si ritrovano sempre nella medesima posizione nelle formule. In stato stazionario, la crescita dello stock di capitale è influenzata dal tasso di crescita della popolazione, dal tasso di risparmio, dal progresso tecnico e da un parametro esogeno di deprezzamento del capitale. Sostituendo lo stock di capitale bilanciato nell'espressione delle emissioni inquinanti per lavoratore, si ottengono le emissioni pro capite di stato stazionario, espresse in termini logaritmici. Il logaritmo delle emissioni per lavoratore è posto uguale ad una costante più il logaritmo del risparmio moltiplicato per un parametro composto da  $\alpha$  al numeratore e uno meno  $\alpha$  al denominatore, cui è sottratto il logaritmo della



# Università Ca'Foscari Venezia

crescita della popolazione sommata alla crescita della tecnologia sommata al tasso di deprezzamento del capitale, moltiplicati per un parametro con segno negativo composto ugualmente da  $\alpha$  al numeratore ed uno meno  $\alpha$  al denominatore, sommato ad un termine che esprime perturbazione stocastica. Dopo una serie di passaggi non del tutto chiari, che includono la posizione della differenza fra emissioni di stato stazionario ed emissioni settoriali del paese  $i$ , si ottiene una scrittura piuttosto complessa, che dovrebbe costituire l'equazione da stimare nell'articolo. A sinistra dell'uguale, come variabile dipendente, vi è il logaritmo delle emissioni per lavoratore al tempo  $t_2$ ; a destra dell'uguale, vi è la somma di alcune variabili, ciascuna moltiplicata da varie componenti algebriche frazionarie, con presenza di esponenti. Le variabili sono: il logaritmo del tasso di risparmio; il logaritmo della somma dei tassi di crescita della popolazione, della tecnologia e del deprezzamento del capitale; il logaritmo delle emissioni per lavoratore al tempo  $t_1$ ; il logaritmo della tecnologia della funzione di produzione; ed un elemento indicante il progresso tecnico. Vi è un passaggio singolare di un parametro indicato con  $\phi$ , rappresentante la somma della crescita della popolazione, della tecnologia, del deprezzamento del capitale, che moltiplica i termini uno meno  $\alpha$ , utilizzato prima come parametro di equazione, e poi come esponente di un termine "e" che sembra la base del logaritmo naturale, sottratto ad uno e moltiplicato per altri termini frazionari alle variabili di riferimento (la combinazione viene applicata a tutte le variabili indipendenti a destra dell'uguale), il quale indica il moltiplicatore della differenza fra le emissioni pro capite di stato stazionario e le emissioni pro capite del paese  $i$ . Modellando il logaritmo della tecnologia come effetto fisso nel tempo, ed il progresso tecnico, espresso da una formula piuttosto complessa, peraltro, come una serie di variabili dummy del tempo, si definisce una serie dinamica, in cui il logaritmo delle emissioni di gas serra per il settore di riferimento nel paese  $i$  al tempo  $t_2$  è uguale al logaritmo delle emissioni di gas serra per lavoratore nei settori di riferimento nel paese  $i$  al tempo iniziale, moltiplicato per un parametro usato per stimare il tasso di convergenza, il quale misura l'impatto che il livello iniziale delle emissioni ha sul livello corrente multi-settoriale, sommato ad una



# Università Ca'Foscari Venezia

sommatoria i cui vettori sono il logaritmo del tasso di risparmio pesato per un parametro che esprime l'elasticità del risparmio sulle emissioni, ed i tassi sommati della crescita della popolazione, della tecnologia, del deprezzamento del capitale, pesati per l'elasticità di queste ultime sulle emissioni, sommato all'effetto del progresso tecnologico al tempo  $t$ , modellato con una serie di variabili dummy, sommato ad un termine che esprime il logaritmo della tecnologia e costituisce l'effetto fisso settoriale, sommato ad un termine di perturbazione idiosincratico che varia fra i settori, i paesi ed il tempo. Tutti questi addendi racchiudono elementi complessi, somme e sottrazione di altri componenti elevati ad esponente, calcoli di vari periodi temporali del tempo  $t$ . Il tutto risulta difficile da seguire e da comprendere, e forse difficilmente computabile. Gli autori concludono affermando che una stima dinamica dei dati panel consente ai ricercatori di controllare i risultati della convergenza condizionale nelle emissioni di gas serra attraverso effetti osservabili e inosservabili specifici di ciascun settore in ciascun paese dei 39 paesi del campione dal 1996 al 2007.

Il problema principale, nell'ultima equazione considerata, è considerato come modellare gli effetti specifici di ciascun settore in ciascun paese. Sono state usate tre tecniche per rispondere a questo problema: la prima considera gli effetti specifici del settore come casuali e si suppone che lo stimatore sia incorrelato con le altre variabili esplicative nell'ultima equazione descritta; la seconda considera questi effetti come fissi, tramite variabili dummy; nella terza, data la possibile endogeneità di una variabile dipendente ritardata, è usato il metodo generalizzato dei momenti, in cui lo stimatore usa la variabile dipendente ritardata per controllare un possibile effetto endogeno.

Nei dati originari del campione sono rappresentate 27 economie dell'Unione Europea e 13 fra le maggiori economie del mondo, per un totale di 40 paesi e per ciascun paese per 39 settori nel periodo 1996-2007. Tutti i dati sono in prezzi del 1995. Riguardo i gas serra, sono utilizzati i dati in tonnellate per settore delle seguenti emissioni: metano ( $CH_4$ ), monossido di carbonio ( $CO$ ), anidride carbonica o biossido di carbonio ( $CO_2$ ) e le emissioni rilevanti per uso energetico. Oltre al campione complessivo, i settori sono aggregati in 5 sottogruppi, che



# Università Ca'Foscari Venezia

comprendono: il campione A con agricoltura, pesca, alimentazione, bevande, tabacco; il campione B con miniere ed estrazione, legno e sughero, carbone coke, petrolio raffinato, combustibile nucleare, chimica, gomma e plastica, altri minerali non metallici; il campione C con tessile, cuoio e calzature, pasta di legno, carta, stampa ed editoria; il campione D con metalli di base e fabbricati, macchinari, dotazione elettrica ed ottica, dotazione per trasporto, manifattura e riciclo, offerta di elettricità, gas, acqua, costruzioni; il campione E con vendita, assistenza e riparazione di veicoli a motore, commercio, riparazione di beni domestici, alberghi e ristoranti, trasporto terrestre, per acqua, aereo ed attività ausiliarie del commercio, agenzie di viaggi, poste e telecomunicazioni, intermediazione finanziaria, attività immobiliari, locazione ed altre attività d'impresa, pubblica amministrazione, istruzione, sanità e servizi sociali, altri servizi personali, servizi domiciliari. Sono state eseguite 144 regressioni per questi gruppi, con tre metodologie, stimando gli effetti casuali, gli effetti fissi e l'endogeneità tramite il metodo generalizzato dei momenti per l'intero campione. La stima è stata compiuta con un ritardo temporale di 1 e poi ripetuta con ritardo temporale di 4 periodi. Utilizzando lo stimatore degli effetti casuali, la convergenza risulta molto lenta per tutti gli inquinanti considerati. Con gli stimatori degli effetti fissi e del metodo generalizzato dei momenti per l'intero campione la convergenza è più veloce in termini di anni, ed il tempo di convergenza è stimato in 4-6 anni per le emissioni di CO<sub>2</sub>, in 5-3 anni per il metano (CH<sub>4</sub>), in 2-3 anni per il monossido di carbonio (CO). Riguardo le emissioni rilevanti per uso energetico, il tasso di convergenza è significativo solo per le stime degli effetti fissi e degli effetti casuali, mentre non vi è prova di convergenza per la stima dell'intero campione con il metodo generalizzato dei momenti. La prova della convergenza con un ritardo di 4 anni non è forte. Risultati simili si rinvergono nel campione A, comprendenti i settori dell'agricoltura e dell'alimentazione. Riguardo il campione B, comprendente l'industria mineraria, vi è prova di convergenza in casi minori, ed in particolare vi sarebbe convergenza con lo stimatore degli effetti fissi con ritardo di un anno e soltanto per CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> con ritardo di 4 anni. La convergenza nelle emissioni per uso energetico è stimata con un periodo temporale da 2 a 7





anni. Le stime seguono un differente modello nel campione C, con i settori della manifattura e produzione di beni non durevoli. Con la stima degli effetti casuali, il tempo di convergenza è più breve con un ritardo temporale di 4 anni, e molto lungo con un ritardo di 1 anno. Vi è qualche prova di convergenza per alcuni gas con lo stimatore degli effetti fissi. Metano ed anidride carbonica hanno una convergenza stimata che va da 6 a 12 anni con un ritardo di 1 anno e di 4-7 anni con un ritardo di 4 anni. Non vi è prova di convergenza per gli altri gas. Con il metodo generalizzato dei momenti il tempo stimato per la convergenza è di meno di tre anni nelle stime con un ritardo temporale di 1 anno. Nei campioni C e D dell'industria manifatturiera di beni durevoli e non durevoli, gli autori trovano che aumentano i casi in cui i parametri delle variabili emissioni al tempo  $t-k$ , risparmio e tasso di crescita della popolazione, della tecnologia e del deprezzamento del capitale, hanno segno diverso da quello atteso secondo il modello originario di Solow (1956). Gli autori ritengono che per il campione E, il settore dei servizi, i parametri siano stimati con il segno corretto, anche se non tutte le stime della stessa variabile hanno lo stesso segno. Non sarebbe facile, tuttavia, individuare il segno corretto dei parametri secondo gli autori. In questo campione con la stima degli effetti fissi ed il metodo generalizzato dei momenti è stimata una velocità di convergenza per tutte le emissioni che va da 2 a 7 anni, mentre la convergenza è molto lenta con il metodo degli effetti casuali. Gli autori affermano che questo studio citato offre prova di convergenza per le emissioni considerate per grandi campioni di dati.

#### *1.4.11 Panopoulou e Pantelidis (2009) "Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions"*

Panopoulou e Pantelidis (2009)<sup>36</sup> esaminano la convergenza delle emissioni di diossido di carbonio fra 128 paesi nel periodo 1960-2003 per mezzo di una nuova metodologia introdotta da Phillips e Sul (2007)<sup>37</sup>. Questo approccio permette di

---

<sup>36</sup> Panopoulou E., Pantelidis T., "Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions" in "Environmental and Resource Economics", 2009, 44, pp. 47-70.

<sup>37</sup> Phillips P.C.B., Sul D., "Transition modeling and econometric convergence tests", in "Econometrica", 2007, 75(6), pp. 1771-1855.



# Università Ca'Foscari Venezia

esaminare la prova di convergenza per gruppi di paesi, identificando gruppi di paesi che convergono a differenti equilibri. I risultati suggeriscono la presenza di convergenza nelle emissioni pro capite di CO<sub>2</sub> in tutti i paesi in esame nei primi anni del campione. Sembrano esserci due gruppi separati di convergenza in epoca più recente che convergono a differenti stati stazionari. Viene trovata anche prova di transizione fra i due gruppi di convergenza, che suggerisce o una convergenza lenta fra i due gruppi o la tendenza per alcuni paesi a spostarsi da un gruppo di convergenza ad un altro.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> sono considerate la principale causa del riscaldamento da gas serra a livello globale. L'esame e la comprensione delle dinamiche stocastiche delle emissioni di CO<sub>2</sub> è ritenuto importante a livello politico per valutare l'impatto delle emissioni di anidride carbonica sull'ambiente ed ideare efficienti proposte sul cambiamento climatico. In generale si ritiene che i ricercatori nella letteratura sulla convergenza della crescita e a livello ambientale considerino tre tipi di convergenza: la beta-convergenza, la sigma-convergenza e la convergenza stocastica. Gli autori utilizzano una nuova metodologia introdotta da Phillips e Sul (2007), basata su un modello con un fattore non lineare che varia col tempo, che incorpora la possibilità di eterogeneità di transizione o anche di divergenza di transizione. La metodologia resiste alle proprietà di stazionarietà delle serie in esame, nel senso che non si basa su particolari assunzioni concernenti stazionarietà del trend o non stazionarietà stocastica. In secondo luogo con questa metodologia è possibile raggruppare i paesi in modelli di convergenza per mezzo di un semplice algoritmo empirico. E' possibile cioè identificare gruppi di paesi che convergono a differenti equilibri ed in aggiunta il modello consente che paesi singoli divergano dal gruppo. E' ritenuto possibile esaminare la relazione fra modelli di convergenza e varie caratteristiche economiche, ed identificare le ragioni della divergenza per i paesi che non appartengono a qualche gruppo di convergenza. Da ultimo, è esaminata la convergenza fra paesi che condividono comuni caratteristiche economiche o geografiche. Riguardo la convergenza fra gruppi viene trovata convergenza fra i paesi dell'Unione Monetaria Europea e fra il gruppo di paesi dell'OECD, ad una velocità più lenta rispetto ai paesi membri



dell'Unione Monetaria Europea. Paesi ad alto reddito sembrano convergere e c'è convergenza lenta anche fra i paesi a medio reddito. I risultati mostrano che invece i paesi a basso reddito divergono. In modo simile, non vi è prova di convergenza fra i paesi dell'OPEC o fra i paesi dalle economie in transizione. Rispetto ai gruppi regionali, i risultati supportano l'esistenza di convergenza per Asia Orientale e Pacifico, America Latina e Caraibi, Africa Centro Orientale e Nord Africa. Ma non è supportata la prova di convergenza per Europa ed Asia Centrale, Asia Meridionale e Africa Sub-Sahariana.

Le nozioni di convergenza considerate nell'articolo e la metodologia econometrica utilizzata sono esaminati nel paragrafo 1.3.1.

### **1.5 La relazione fra crescita economica e ambiente.**

Un altro modo per indagare l'andamento delle emissioni inquinanti, è di cogliere le relazioni fra crescita economica ed inquinamento, fra crescita economica e qualità ambientale. L'argomento è accennato nell'articolo Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011) "Growth and pollution convergence: Theory and evidence", da cui prende le mosse questo studio.

#### *1.5.1 Brock e Taylor (2005) "Economic growth and the environment: A review of theory and empirics"*

In Brock e Taylor (2005)<sup>38</sup> viene esaminato il problema controverso delle relazioni fra crescita economica e ambiente. Gli autori considerano che la letteratura sulle relazioni fra crescita ed ambiente copre molta parte della teoria dell'estrazione delle risorse naturali e sull'esaurimento delle risorse e la crescita; la teoria della crescita endogena, in cui il progresso tecnico non è più considerato esogeno nella funzione di produzione; l'esame della relazione fra inquinamento e

---

<sup>38</sup> Brock W.A., Taylor M.S., "Economic growth and the environment: A review of theory and empirics", in "Handbook of Economic Growth", 2005, Volume 1B, Edited by Aghion P., Durlauf S.N., Elsevier B.V.



# Università Ca'Foscari Venezia

livelli di reddito nazionale, con la formazione della letteratura sulla Curva di Kuznets Ambientale (Environmental Kuznets Curve). Secondo la teoria della Curva di Kuznets Ambientale, c'è una tendenza per l'ambiente a dapprima peggiorare a bassi livelli di reddito e poi a migliorare a più alti livelli di reddito. Gli autori hanno sviluppato quattro modelli che evidenziano modi differenti di rapportarsi ai limiti ambientali di fronte alla crescita del reddito pro capite.

Nel primo modello, denominato Modello di Solow Verde (Green Solow model), la riduzione delle emissioni sorge dal progresso tecnologico esogeno nel processo di abbattimento. Le dinamiche di questo modello sono compatibili con quelle di una Curva di Kuznets Ambientale. La transizione verso un qualche sentiero di crescita sostenibile ha una qualità ambientale, che dapprima peggiora con la crescita economica e che poi migliora quando approccia il sentiero di crescita bilanciata. Il modello di Solow Verde mostra che una politica più stringente sull'inquinamento non ha effetti di lungo periodo sulla crescita. Questo risultato fornisce parziale giustificazione alla pratica di misurare i costi di controllo dell'inquinamento per un'economia come la somma delle spese correnti private e pubbliche, senza correzione per la riduzione della crescita creata. Il Modello di Solow Verde mostra come il progresso tecnologico abbia un impatto ambientale molto diverso rispetto a quello che ha il progresso tecnologico nell'abbattimento. Il progresso tecnologico nella produzione di beni crea un effetto di scala che aumenta il tasso di crescita delle emissioni, mentre il progresso tecnico nell'abbattimento crea un puro effetto tecnico che conduce le emissioni verso il basso.

Il secondo modello, denominato l'Alternativa di Stokey, sottolinea il ruolo che l'abbattimento può giocare nel migliorare l'ambiente nel tempo, e si focalizza su sentieri bilanciati di crescita. I due risultati degni di nota in questo modello, secondo gli autori, sono: per il primo, una volta che si modella l'abbattimento come attività economica che usa risorse scarse, aumenti nell'intensità dell'abbattimento necessari per mantenere l'inquinamento sotto controllo avranno un freno sull'attività economica; per il secondo risultato, l'aumentare l'abbattimento crea un effetto tecnico tramite la diminuzione delle emissioni per



# Università Ca'Foscari Venezia

unità di output, ma anche diminuisce l'inquinamento tramite una diminuzione del tasso di crescita del prodotto. Nell'analisi del modello di Stokey la quota di prodotto allocata per l'abbattimento al limite si avvicina ad uno. Poiché questa quota rappresenta il costo per l'abbattimento dell'inquinamento relativamente al valore dell'attività economica aggregata, i modelli che si basano sul solo abbattimento tendono a generare previsioni controfattuali di costi di abbattimento sempre crescenti.

Il terzo modello unisce i ruoli della natura come fonte di risorse e scarico di emissioni, assumendo che l'uso dell'energia, sia diminuisce gli stock di risorse esauribili, sia crea emissioni di inquinamento che abbassano la qualità ambientale. In questo modello, l'intensità dell'abbattimento è presa come costante e non c'è nessun progresso tecnologico nell'abbattimento. L'economia diminuisce le sue emissioni ad un rapporto di prodotto nel tempo, adottando un mix sempre più pulito di metodi di produzione. L'economia è capace di crescere, riducendo l'inquinamento in contemporanea, a causa di continui cambiamenti nella composizione dei suoi input, ma questa forma di abbattimento ha dei costi. La crescita è rallentata e possono essere usate sempre meno risorse naturali nella produzione. Gli autori mostrano che la finitezza delle risorse naturali implica un limite sulla crescita del reddito pro capite, che peggiora con più alti tassi di crescita della popolazione.

Il quarto modello, più propriamente teorizzato dagli autori, e detto modello di Kidergarten, si distingue da altri modelli in letteratura perché questi hanno evitato l'ottimizzazione formale. Ottimizzare il comportamento è ritenuto importante nelle discussioni sulla grandezza del freno creato da una politica sull'inquinamento, ed anche nelle discussioni riguardanti la temporizzazione od il manifestarsi della regolazione attiva. Il modello in primo luogo mostra come il progresso tecnologico nell'abbattimento possa tenere i costi di adempimento bassi, rispetto alla crescita continua. In contrasto rispetto al modello di Solow Verde, ci sono costi di freno, provenienti dalla regolazione, per la crescita continua, ma finché l'abbattimento è produttivo è possibile generare crescita sostenibile senza far salire i costi di adempimento. In secondo luogo, il modello



# Università Ca'Foscari Venezia

genera un ambiente che prima peggiora e poi migliora, ma il sentiero per il reddito e l'inquinamento differisce sistematicamente fra i paesi. Questa differenza sistematica conduce all'ipotesi del raggiungimento dei livelli ambientali, relativamente a sentieri di reddito ed inquinamento per i livelli di reddito iniziali nei paesi. I paesi poveri sperimentano il più grande degrado ambientale al loro picco, ma una volta che la regolazione inizia, la qualità ambientale fra paesi ricchi e poveri converge. Nonostante questo, a qualsiasi livello dato di reddito, un paese inizialmente povero ha peggiore qualità ambientale di un paese inizialmente ricco. Poiché sia le economie ricche che quelle povere cominciano con ambienti originari, la qualità dei loro ambienti inizialmente diverge e poi converge nel tempo. In questo quarto modello, vi sono alcuni elementi comuni all'articolo di base Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011) "Growth and pollution convergence: Theory and evidence". Innanzi tutto vengono introdotte nel modello le preferenze, tramite una funzione di utilità che ha come variabili il consumo e lo stock di inquinamento, moltiplicate per la base del logaritmo naturale elevata ad esponente negativo che contiene il tasso di sconto  $\rho$  moltiplicato per il tempo  $t$ . L'inquinamento è trattato come un flusso. Quando si consente che l'inquinamento si accumuli nella biosfera, si assume che il flusso di servizio di danno sia proporzionale al livello dello stock di inquinamento, con un fattore di proporzionalità di uno. Si ritrova la formulazione dell'elasticità, con misura dell'impatto dell'inquinamento su un individuo rappresentativo tramite esponente apposto alla variabile, che viene anche divisa per la scrittura in forma algebrica dell'esponente al denominatore. Ad esempio, il consumo ha esponente uno meno  $\epsilon$  ed al denominatore viene diviso per la quantità uno meno  $\epsilon$ . Ugualmente l'inquinamento viene moltiplicato per una misura dell'impatto sull'utilità dell'individuo, ha esponente  $\gamma$  che indica l'elasticità di questo impatto e viene diviso per la costante di pari valore  $\gamma$ , sempre ad indicare l'effetto sull'individuo dell'inquinamento. La funzione di produzione è quella "del modello neoclassico" e la funzione di produzione aggregata viene espressa come funzione del capitale per lavoratore. La funzione di utilità viene massimizzata sotto alcuni vincoli, che prevedono che il capitale per lavoratore e l'inquinamento



abbiano un livello iniziale; che il differenziale o il livello di crescita del capitale per lavoratore sia funzione della produzione rappresentata dal capitale, diminuito dello sforzo di abbattimento dell'inquinamento, meno il consumo, meno il deprezzamento del capitale; il differenziale dell'inquinamento o crescita dell'inquinamento inteso come funzione del capitale, che rappresenta la funzione di produzione, viene diminuito dello sforzo di abbattimento dell'inquinamento, meno la capacità rigenerativa rispetto all'inquinamento. Passi simili si rinvengono nell'articolo di partenza Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011). Per la massimizzazione viene utilizzato il metodo Hamiltoniano. Una combinazione (S) con somma con segno negativo dei coefficienti che inseriscono i vincoli nella funzione di utilità da massimizzare con metodo Hamiltoniano viene identificata come determinante il livello ottimo di abbattimento. Se questa combinazione S ha valore maggiore di zero, il costo ombra dell'inquinamento è alto relativamente a quello del capitale. In questo caso l'abbattimento è relativamente economico e sarà intrapreso l'abbattimento massimo. Se questa combinazione S è minore di zero il valore ombra del capitale è alto relativamente a quello dell'inquinamento. In questo caso l'abbattimento è relativamente costoso e ci sarà un abbattimento zero. Se la combinazione S è uguale a zero, i valori ombra si eguagliano, ma non sono necessariamente al massimo e l'abbattimento avrà luogo. Nella massimizzazione viene anche individuato un livello ottimale di consumo.

### 1.5.2 Xepapadeas (2005) "Economic Growth and the Environment"

Riguardo i rapporti fra crescita e ambiente, se e in che limiti siano compatibili, Xepapadeas A. (2005)<sup>39</sup> afferma che esistono differenti nessi possibili fra crescita e ambiente. Se la disutilità dell'inquinamento non è presa in considerazione, l'inquinamento potrebbe crescere con il reddito. D'altro lato, se l'inquinamento influenza il benessere sociale in modo negativo, preoccupazioni ambientali potrebbero decelerare la crescita se la produttività del capitale nella produzione e l'abbattimento dell'inquinamento diminuiscono verso zero quando il capitale si

---

<sup>39</sup> Xepapadeas A., "Economic Growth and the Environment", in "Handbook of Environmental Economics" Edited by Maler K.-G., Vincent J.R., 2005, Elsevier B.V.



# Università Ca'Foscari Venezia

accumula. Tuttavia una crescita sostenuta potrebbe essere compatibile con un inquinamento stabile nei casi di rendimenti non decrescenti nella produzione dell'output o di processi di abbattimento. Altra conclusione dell'autore è che la politica ambientale influenza sia la crescita che l'inquinamento. Un primo approccio per valutare la relazione fra ambiente e crescita è quello relativo alla relazione fra inquinamento dell'ambiente e Pil pro capite, la così detta Curva di Kuznets Ambientale. Un secondo approccio per l'autore è stimare l'impatto della regolazione ambientale sulla crescita del Pil. Un terzo approccio è relativo al modo in cui le considerazioni ambientali potrebbero influenzare la rendicontazione della crescita.

Riguardo il primo approccio, l'idea dietro la Curva di Kuznets Ambientale è che esiste una relazione ad U rovesciata fra livelli ambientali di inquinamento e Pil pro capite. Le fondazioni teoretiche<sup>40</sup> sono basate su modelli di ottimizzazione dinamica o statica, con considerazioni ambientali. Viene massimizzato l'integrale costituito dalla somma dell'utilità del consumo meno la disutilità delle emissioni inquinanti, entrambi attualizzati nel valore, moltiplicandoli per la base del logaritmo naturale con esponente con segno negativo costituito dal tasso di sconto  $\rho$  moltiplicato per l'indice temporale  $t$ . Questa funzione, che si vuole massimizzare rispetto alle variabili consumo ed abbattimento delle emissioni è sottoposta al vincolo del differenziale o variazione del capitale, uguale alla funzione di produzione definita "standard neoclassica", che è funzione del solo capitale per lavoratore, cui viene sottratto il consumo, l'abbattimento delle emissioni inquinanti ed il deprezzamento del capitale. La massimizzazione è operata con metodo Hamiltoniano. Viene trovato il differenziale del consumo diviso il consumo, che dovrebbe dare il tasso di crescita del consumo e viene ridefinita la funzione del differenziale del capitale. Vengono trovati due valori ottimali, subordinati al limite imposto, per consumo e capitale. Viene anche individuata una relazione inquinamento-reddito corrispondente ad un'economia sul sentiero socialmente ottimale. In tale relazione le emissioni inquinanti sono

---

<sup>40</sup> Xepapadeas A., "Economic Growth and the Environment", in "Handbook of Environmental Economics" Edited by Maler K.-G., Vincent J.R., 2005, Elsevier B.V, pag. 1254





# Università Ca'Foscari Venezia

esprese come funzione del capitale e dell'abbattimento, mentre l'abbattimento è a sua volta funzione del consumo, espresso in funzione del capitale, e del capitale. Il prodotto è funzione del capitale pro capite. Questa relazione inquinamento-reddito, in quanto corrispondente ad un'economia su un sentiero socialmente ottimale, non è utilizzata per le economie dalle quali si traggono i dati per le stime, in quanto probabilmente non sono su un sentiero ottimale. La relazione inquinamento-reddito è generata da un differente modello. Nelle equazioni rappresentanti il differenziale del consumo, il differenziale del capitale e nella relazione inquinamento reddito, ipotizzando che non vi sia regolazione ambientale, non compare la variabile dell'abbattimento delle emissioni. Introducendo una tassa sulle emissioni, viene massimizzata la funzione del capitale diminuita del deprezzamento del capitale, dell'abbattimento delle emissioni e della tassa che è funzione del capitale e dell'abbattimento. Le variabili da massimizzare sono l'abbattimento delle emissioni ed il capitale. Vengono trovate altre funzioni del differenziale del consumo o della crescita del consumo e del differenziale del capitale. Viene anche ridefinita la relazione inquinamento-reddito. Le emissioni inquinanti sono funzione del capitale e dell'abbattimento, il quale a sua volta è funzione del capitale e della tassa sulle emissioni. Il prodotto o reddito è funzione del capitale pro capite.

Risultati simili sono ottenuti considerando il consumo come origine dell'inquinamento. La funzione di utilità è definita dal consumo meno l'inquinamento. L'inquinamento è definito dal consumo meno l'abbattimento dell'inquinamento. Viene massimizzata la funzione di utilità definita da consumo meno inquinamento, sotto il vincolo che consumo più abbattimento siano uguali al prodotto. La relazione inquinamento-reddito è definita dall'inquinamento come funzione del prodotto, che è uguale al consumo come funzione del prodotto meno l'abbattimento come funzione del prodotto.

### *1.5.3 Grossman e Krueger "Economic Growth and the Environment"*

Negli studi sulla Curva di Kuznets Ambientale, come in Grossman e Krueger



# Università Ca'Foscari Venezia

(1995)<sup>41</sup>, il punto di svolta della curva ad U rovesciata, è in corrispondenza di un certo valore del reddito pro capite, a partire dal quale l'inquinamento inizia a diminuire, all'aumentare del reddito. Per Grossman e Krueger (1995) il punto di massimo della curva dell'inquinamento rispetto al reddito è raggiunto in corrispondenza di un reddito di 8.000,00 dollari, con misura base il dollaro del 1985. A seconda della funzione, la relazione inquinamento-reddito è una linea con inclinazione positiva o ha la forma ad U rovesciata.

Le relazioni stimate nei vari studi sono in una specificazione in forma ridotta che assume forme soprattutto cubiche o quadratiche. I metodi di stima includono una grande varietà di metodologie, come stime OLS dei minimi quadrati ordinari, stime di dati panel con effetti fissi o casuali, o stime semiparametriche.

In Grossman e Krueger (1995)<sup>42</sup> viene esaminata la relazione fra reddito pro capite e vari indicatori ambientali. Nello studio vengono utilizzati quattro tipi di indicatori: l'inquinamento urbano dell'aria da diossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e materia di particolato sospeso; lo stato del regime di ossigeno nei bacini dei fiumi; la contaminazione fecale dei bacini dei fiumi; la contaminazione dei bacini dei fiumi da metalli pesanti. Qui si esaminerà la trattazione per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria da biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e materia di particolato sospeso. Gli autori non trovano prova che la qualità ambientale si deteriori in modo diretto con la crescita economica. Per la maggior parte degli indicatori trovano che la crescita economica porta una fase iniziale di deterioramento, seguita da una successiva fase di miglioramento. Il punto di svolta, in cui la qualità dell'ambiente comincia a migliorare al crescere del reddito, dopo la fase di peggioramento, varia per i diversi inquinanti, ma nella maggior parte dei casi si verifica prima che il paese abbia raggiunto un reddito pro capite di 8.000,00 dollari (anno base 1985). La domanda iniziale degli autori, nell'accingersi allo studio qui citato, è se la crescita economica continuata porterà maggiore danno all'ambiente della terra, o se i miglioramenti nel reddito e nella ricchezza gettino i

---

<sup>41</sup> Grossman G.M., Krueger A.B., "Economic Growth and the Environment", in "The Quarterly Journal of Economics", 1995, 110 (2), pp. 353-377.

<sup>42</sup> Grossman G.M., Krueger A.B., "Economic Growth and the Environment", in "The Quarterly Journal of Economics", 1995, May, 110 n. 2, pp. 353-377



# Università Ca'Foscari Venezia

semi per il miglioramento dei problemi ecologici. Le risposte a queste domande sono ritenute critiche per il disegno di appropriate strategie di sviluppo. L'articolo si inserisce nel filone di studi che tendono a trovare che degradazione ambientale e reddito hanno una relazione a forma di U rovesciata, con l'inquinamento che aumenta a bassi livelli di reddito, e diminuisce con alti livelli di reddito. Sono stati tratti dati dal Global Environmental Monitoring System, che traccia la qualità dell'aria urbana in differenti città del mondo sviluppato ed in via di sviluppo. Per l'inquinamento dell'aria, si utilizzano dati sul biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e sul particolato sospeso, i cui dati vengono divisi in due sotto-campioni, comprendenti le particelle pesanti e quello che è considerato fumo. Per il SO<sub>2</sub> il campione comprende 47 città in 28 paesi nel 1977, 52 città in 32 paesi nel 1982, e 27 città in 14 paesi nel 1988. Nel campione sono rappresentati un totale di 42 paesi. Le particelle pesanti sono state monitorate in 21 città in 11 paesi nel 1977, 36 città in 17 paesi nel 1982, e 26 città in 16 paesi nel 1988, con 29 paesi rappresentati nel complesso. Il campione per il fumo comprende 18 città in 13 paesi nel 1977, 13 città in 9 paesi nel 1982, e 7 città in 4 paesi nel 1988, con un totale di 19 paesi complessivi. Gli autori considerano l'importanza di studiare questi inquinanti per gli effetti che inducono. Sia il biossido di zolfo che la materia di particolato sospeso, soprattutto le particelle più fini, sono stati connessi ai danni al polmone e ad altre malattie respiratorie. Le maggiori fonti antropogeniche comprendono il bruciare combustibili fossili, nella produzione di elettricità e nel riscaldamento domestico, e la fusione di minerali non ferrosi. Lo scarico delle automobili e certe manifatture chimiche sono anche fonti di SO<sub>2</sub> in alcuni paesi. Attività economiche responsabili di inquinamento da particolato sono certi processi industriali e la combustione domestica del combustibile.

Per studiare la relazione fra inquinamento e crescita, gli autori stimano diverse equazioni in forma ridotta, che mettono in relazione il livello di inquinamento in un luogo con una funzione flessibile del reddito pro capite corrente e ritardato nel paese e con altre covariate. Specificatamente, l'equazione stimata è data dalla misura dell'inquinamento dell'aria nella stazione  $i$  al tempo  $t$ , posta uguale ad una lunga serie di addendi, composti da: il Pil pro capite nella stazione  $i$  al tempo  $t$



# Università Ca'Foscari Venezia

moltiplicato da un coefficiente o parametro, sommato al Pil pro capite al quadrato nella stazione  $i$  al tempo  $t$  moltiplicato da un coefficiente, sommato al Pil pro capite al cubo nella stazione  $i$  al tempo  $t$  moltiplicato da un coefficiente, sommato alla media del Pil pro capite nei precedenti tre anni nella stazione  $i$  moltiplicata da un coefficiente, sommata alla media al quadrato del Pil pro capite nella stazione  $i$  nei precedenti tre anni moltiplicata da un coefficiente, sommata alla media al cubo del Pil pro capite della stazione  $i$  nei precedenti tre anni moltiplicata per un coefficiente, sommata ad un vettore di altre covariate moltiplicato ad un vettore di coefficienti o parametri, sommato ad un termine di errore relativo al paese  $i$  al tempo  $t$ . Per l'inquinamento dell'aria la variabile dipendente è definita come la concentrazione giornaliera mediana dell'inquinante in ciascun sito nel corso dell'anno. Non sono stati riportati i valori medi. Sono stati riportati altri percentili per gli inquinanti dell'aria e l'analisi delle concentrazioni del novantacinquesimo percentile indica risultati simili. Sono state aggiunte covariate, oltre al reddito ed al tempo, per descrivere le caratteristiche del sito dove erano collocate le stazioni di monitoraggio e per descrivere lo specifico metodo di monitoraggio. Poiché è improbabile che queste variabili specifiche del luogo siano correlate con il reddito nazionale, la loro inclusione non è ritenuta necessaria per una stima non distorta dei coefficienti di interesse. Tuttavia, includendo queste variabili addizionali, è possibile ridurre la varianza residua nella relazione fra inquinamento e reddito e così generare stime più precise. Nelle stime, per utilizzare varie misure dell'inquinamento urbano dell'aria, sono state impiegate variabili dummy per indicare il luogo della stazione di monitoraggio all'interno della città, se in centro città o area suburbana, e la natura dell'uso della terra nelle vicinanze della stazione, se industriale, commerciale, residenziale o non conosciuta. E' stata anche inclusa la densità di popolazione della città, una dummy indicante se la città è collocata lungo una linea di costa, riflettendo le proprietà di dispersione della linea nell'atmosfera e, per i due tipi di particolato sospeso, una dummy indicante se la città è collocata entro 100 miglia da un deserto. Per gli inquinanti che sono stati rilevati con differenti dispositivi di misurazione in stazioni differenti, sono state incluse dummy indicanti il tipo di strumento di misurazione, per dare conto



# Università Ca'Foscari Venezia

del fatto che alcuni strumenti di monitoraggio sono più sensibili di altri. Gli autori, considerando che, se vi sono caratteristiche dei siti di monitoraggio che influenzano l'inquinamento, ma non sono incluse nella lista delle variabili indipendenti, queste inducono una correlazione temporale nel termine di errore, per dar conto di ciò, stimano l'equazione del modello con il metodo dei minimi quadrati generalizzati (generalized least square). Assumono che il termine di errore sia composto dalla somma di due termini: una componente casuale specifica del sito ed una componente idiosincratICA o di contrasto o di errore. Assumono che queste due componenti abbiano ciascuna covarianza pari a zero con gli altri componenti dello stesso tipo del campione, ma per stazioni diverse e per tempi diversi. Impiegano uno stimatore degli effetti casuali che tenga conto della natura non bilanciata dei dati panel. E' stata effettuata una stima del modello utilizzato per ciascuno degli inquinanti individuati, con stime dei minimi quadrati generalizzati. Gli autori affermano che nella maggior parte dei casi la serie dei termini del Pil corrente e ritardato è altamente significativa, e che emerge che il reddito nazionale è una determinante importante del locale inquinamento dell'aria. Hanno costruito tre grafici per i tre inquinanti dell'aria (SO<sub>2</sub>, particolato pesante, fumo), il cui andamento però solo in un caso è a forma concava. I grafici sono stati costruiti moltiplicando il Pil, il Pil al quadrato, il Pil al cubo per la somma dei coefficienti stimati per il Pil corrente ed il Pil ritardato. Hanno "normalizzato" aggiungendo a questo il valore medio delle altre variabili moltiplicato per i loro coefficienti corrispondenti. Nei grafici vi sono il Pil pro capite sull'asse orizzontale e la concentrazione di inquinante sull'asse verticale. Sul lato destro è mostrata una scala alternativa ottenuta dividendo i livelli di inquinamento per la standard deviation dell'inquinante in tutte le stazioni di monitoraggio del campione.

Gli autori concludono per l'esistenza di una relazione ad U rovesciata fra inquinamento e reddito pro capite, il cui picco sarebbe posto un po' prima degli 8.000,00 dollari, in dollari del 1985.



1.5.4 *Selden e Song (1994) "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?"*

Selden e Song (1994)<sup>43</sup> hanno investigato l'esistenza di una relazione ad U rovesciata fra inquinamento e sviluppo economico usando dati panel internazionali sulle emissioni di quattro importanti inquinanti dell'aria: materia di particolato sospeso, diossidi di zolfo, ossidi di azoto, monossido di carbonio. Hanno trovato che le emissioni pro capite di tutti e quattro gli inquinanti esaminati presentano una relazione ad U rovesciata con il Pil pro capite. Questo secondo gli autori poteva suggerire che le emissioni sarebbero diminuite in un periodo molto lungo, ma si poteva prevedere una rapida crescita delle emissioni globali nei decenni successivi. Secondo gli autori vi è un crescente consenso circa l'esistenza di una relazione ad U rovesciata fra inquinamento e sviluppo economico, almeno per alcuni inquinanti. Questa affermazione si basa su alcune considerazioni. Mentre l'industrializzazione e la modernizzazione dell'agricoltura possono condurre inizialmente all'aumento dell'inquinamento, altri fattori possono causare un calo finale. Fra questi fattori vi sono: elasticità positiva del reddito rispetto alla qualità ambientale; cambiamenti nella composizione della produzione e del consumo; crescenti livelli di istruzione e consapevolezza ambientale; sistemi politici più aperti. E' probabile che la traiettoria di sviluppo dell'inquinamento rifletta sia le forze di mercato sia i cambiamenti nella regolazione pubblica. Come risultato, gli autori ritengono ragionevole aspettarsi che le economie passino attraverso diversi stadi di sviluppo, in cui almeno alcuni aspetti di qualità ambientale prima si deteriorano e poi migliorano. Per valutare le implicazioni di qualsiasi relazione inquinamento-Pil per il futuro sentiero di inquinamento globale, è importante considerare gli impatti interrelati di tre fattori chiave: la distribuzione del reddito globale; il modello dei tassi di crescita del reddito fra le nazioni; il modello di tassi di crescita della popolazione fra le nazioni. Nell'articolo gli autori esaminano le implicazioni delle loro stime simulando o

---

<sup>43</sup> Selden T.M., Song D., "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?", in "Journal of Environmental Economics and Management", 1994, 27, pp. 147-162



# Università Ca'Foscari Venezia

prevedendo le emissioni globali in una gamma di scenari per la crescita del reddito e della popolazione. L'equazione di base vede le emissioni pro capite del paese  $i$  al tempo  $t$  uguali ad una somma di termini: una costante sommata al Pil pro capite moltiplicato per un coefficiente, sommato al Pil pro capite al quadrato moltiplicato per un coefficiente, sommato alla densità della popolazione moltiplicata per un coefficiente, sommato a un termine di disturbo con media zero e varianza finita. Gli autori ritengono che ci si trovi di fronte ad una Curva di Kuznets Ambientale se il coefficiente del Pil pro capite è maggiore di zero ed il coefficiente del Pil pro capite al quadrato è minore di zero e se il punto di svolta della curva o apice, costituito da meno il primo coefficiente diviso 2 volte il secondo coefficiente, è un numero ragionevolmente piccolo. Ci si aspetta che la densità della popolazione entri nell'equazione con segno negativo, in quanto è probabile che paesi scarsamente popolati siano meno preoccupati della riduzione delle emissioni pro capite, ad ogni livello di reddito, di paesi più densamente popolati. Gli autori valutano che possono esserci dei fattori esogeni che influenzano le emissioni, come ad esempio la geografia ed il clima, che variano ampiamente fra i paesi e possono essere correlati con le emissioni. Nella misura in cui questi fattori causano che il termine di errore dell'equazione di base sia correlato in tutti i periodi per un particolare paese, o fra paesi per un dato periodo, le stime raggruppate che ignorano questa correlazione saranno inefficienti. Inoltre, se queste variabili omesse sono correlate con il Pil pro capite, la stima sia dei dati raggruppati cross-section, sia degli effetti casuali dell'equazione di base possono essere distorti e inconsistenti. Per affrontare questi problemi, viene specificato un modello delle componenti di errore, in cui la componente di disturbo o di errore dell'equazione principale viene posta uguale a tre addendi diversi, costituiti da un effetto specifico del paese, sommato ad un effetto relativo all'anno, sommato a un termine rimanente di errore. Sono incluse variabili dummy per catturare gli effetti dell'anno. Per controllare gli effetti del paese, vengono stimate versioni sia per gli effetti fissi sia per gli effetti casuali del modello.

Per quanto riguarda gli inquinanti scelti nello studio, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e particolato sospeso, sono stati al centro dell'attenzione pubblica. In particolare SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>



# Università Ca'Foscari Venezia

sono individuati contribuire al problema delle piogge acide e NO<sub>x</sub> contribuisce anche al problema dell'ozono al livello del suolo. Tutti questi inquinanti possono avere importanti conseguenze avverse sulla salute. I dati sulle emissioni aggregate sono costruiti dalle stime sull'uso di combustibile, per tipo, combinate con le stime di emissioni per unità di combustibile bruciata. I paesi meno sviluppati sono sottorappresentati nel campione. La media del reddito del campione è vicina al punto di svolta della curva stimata, e c'è considerevole variazione all'interno del campione, così che vi sono numerosi paesi che sono sulla porzione di curva crescente ed altri sulla porzione di curva decrescente nella stima. Nonostante gli autori affermino che le attese su coefficienti e segni delle variabili indipendenti sono rispettate, cioè il coefficiente del reddito pro capite deve essere maggiore di zero ed il coefficiente del reddito pro capite al quadrato deve essere minore di zero, mentre il coefficiente della densità della popolazione deve essere negativo, questo non si verifica nelle stime dei dati cross section, ma solo nelle stime degli effetti fissi e degli effetti casuali, che non è chiaro come siano calcolati. Secondo gli autori il punto di svolta della curva si ha in corrispondenza di un reddito superiore agli 8.000,00 \$ in dollari del 1985. Riguardo la composizione del campione dei paesi ed il tempo, gli anni in cui sono state effettuate le rilevazioni, non si trovano informazioni chiare. Gli autori concludono con un'affermazione netta della sussistenza di una relazione ad U rovesciata per tutti i quattro inquinanti esaminati rispetto al Pil pro capite. Non è chiara, comunque, l'ampiezza del campione ed il periodo di riferimento dei dati analizzati. Per previsioni future sulle emissioni utilizzano un campione di 130 paesi nel periodo 1952-1985, stimando un modello di convergenza nelle emissioni. Ipotizzano emissioni crescenti fino all'inizio del XXI secolo o la fine del XXI secolo, a meno che non siano adottate misure per rimuovere la relazione storica inquinamento-Pil. La previsione di emissioni crescenti è motivata dal fatto che molti paesi non hanno ancora raggiunto il punto di svolta nella Curva di Kuznets Ambientale, in cui le emissioni inizierebbero a diminuire al crescere del Pil.





*1.5.5 Carson ed altri (1997) "The relationship between air pollution emissions and income: US data"*

Carson, Jeon e McCubbin (1997)<sup>44</sup> analizzano la relazione fra inquinamento dell'aria e reddito relativamente a 50 stati degli Stati Uniti nel periodo 1988-1994. L'indagine è svolta su 7 inquinanti dell'aria e si trova che tutti e 7 gli inquinanti diminuiscono al crescere del reddito, come accade nella così detta Curva di Kuznets Ambientale. Gli autori trovano anche prova di eteroschedasticità rispetto alla relazione reddito-emissioni: stati con reddito più basso mostrano maggiore variabilità nei livelli di emissioni pro capite degli stati con più alto reddito. Gli autori trovano supporto alla tesi che ad un aumento del reddito è associata una riduzione delle emissioni pro capite, tuttavia il cambiamento nelle emissioni sembra incorrelato alla grandezza del cambiamento nel reddito. Per gli autori la Curva di Kuznets Ambientale sfida l'argomentazione per cui aumenti nel reddito conducano inevitabilmente a più inquinamento perché più reddito implica più consumo, che a sua volta implica più inquinamento. Concettualmente una Curva di Kuznets Ambientale ammette la possibilità che ci possano essere fattori che hanno l'effetto opposto di diminuire, invece di aumentare, l'inquinamento. L'insieme di fattori che porta l'inquinamento a diminuire con il reddito può, per gli autori, essere classificato in due gruppi. Nel primo gruppo vi è il fatto che i paesi più ricchi tendono ad usare differente tecnologia per produrre beni, la quale è meno inquinante per unità di prodotto. La tecnologia può essere meno inquinante perché è esplicitamente ideata per tale scopo o semplicemente perché i paesi più ricchi tendono ad usare tecnologia di epoca più recente, che è spesso più efficiente, in particolare per il consumo di energia. Nel secondo gruppo di fattori vi è il fatto che i consumatori domandano migliore qualità ambientale quando diventano più ricchi. Questo fattore può essere manifestato in una varietà di modi differenti, come cambiamenti nel consumo del prodotto verso prodotti meno inquinanti, lo spostamento ad aree più pulite, o con la domanda che le agenzie pubbliche regolamentino in modo più stretto il prodotto di vari tipi di

---

<sup>44</sup> Carson R.T., Jeon Y., McCubbin D.R., "The relationship between air pollution emissions and income: US data", in "Environment and Development Economics", 1997, 20, pp. 433-450.



# Università Ca'Foscari Venezia

inquinamento. Oltre a questi, vi sono probabilmente altri fattori che giocano un ruolo importante nel determinare il prodotto dell'inquinamento, come la densità della popolazione, la localizzazione di depositi di risorse naturali quali il carbone, la composizione industriale e l'efficienza della struttura di regolamentazione di un paese.

Nell'analisi sono usati i dati delle emissioni di sette inquinanti dell'aria per 50 stati degli Stati Uniti: gas serra, sostanze tossiche nell'aria, monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NOx), diossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), composti organici volatili (VOC) e materia di particolato con diametro minore di 10 micron (PM<sub>10</sub>).

Nel modello utilizzato, viene operata una regressione dei minimi quadrati ordinari di ciascuna classe di emissioni sul reddito pro capite. Poiché è probabile che i termini di errore siano eteroschedastici, viene utilizzato l'approccio di White (1980)<sup>45</sup> per ottenere stime consistenti degli standard errors. Sono presenti anche dati anomali e solitari od outliers, e vengono apportate alcune correzioni per questo motivo. Nella regressione di ciascun inquinante dell'aria sul reddito, il coefficiente del reddito risulta negativo, suggerendo che ad un aumentare del reddito, le emissioni inquinanti diminuiscono. La regressione mette poco peso su un piccolo numero di stati a basso reddito ma con alte emissioni inquinanti pro capite, e suggerisce una minore ma significativa relazione con il reddito. E' stata controllata la presenza di una Curva di Kuznets Ambientale con regressioni di controllo, in cui compaiono altre variabili che possono influenzare l'inquinamento dell'aria, come la situazione industriale, con la quota di occupazione per settore, la densità della popolazione e la percentuale urbana. Sono stati aggiunti nove regressori. Il coefficiente del reddito pro capite rimane significativo al livello del 5% per ossidi di azoto (NOx), biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e materia di particolato (PM<sub>10</sub>) ed è significativo al 10% per i composti organici volatili (VOC). Includendo le variabili densità della popolazione e percentuale urbana, i coefficienti di queste due variabili non sono significativi, anche se la significatività della variabile reddito viene ridotta. Si presenta in ogni caso una

---

<sup>45</sup> White H., "A heteroscedastic-consistent covariance matrix and a direct test for heteroscedasticity", in "Econometrica", 1980, 50, pp. 1-25.



relazione negativa fra il reddito pro capite e le emissioni inquinanti. L'aspetto dominante è la maggiore variabilità dei livelli di emissioni a bassi livelli di reddito. La varianza per tutti gli inquinanti diminuisce quando il reddito aumenta. Per le sostanze tossiche inquinanti dell'aria nel periodo 1988-1994 viene svolto un test per verificare l'ipotesi nulla che le emissioni siano positivamente correlate o incorrelate al reddito. Il test standard è non parametrico e si basa sul test del segno. Per 46 stati su 50, pari al 92%, l'ipotesi nulla non può essere accettata, e si deve rigettare l'ipotesi che reddito e sostanze tossiche si muovano nella stessa maniera lungo la Curva di Kuznets Ambientale. Una regressione OLS del cambiamento nelle emissioni pro capite di sostanze tossiche dal 1988 al 1994 sul cambiamento del reddito nello stesso periodo mostra che non c'è nessuna relazione fra il cambiamento nel reddito ed il cambiamento del livello di emissioni in aria pro capite di sostanze tossiche. Questa conclusione non corrisponde ad una stretta interpretazione della Curva di Kuznets Ambientale, che predice una relazione negativa.

*1.5.6 Bengochea-Morancho ed altri (2001) "Economic Growth and CO2 Emissions in the European Union"*

Un'analisi della relazione fra crescita economica ed emissioni di CO2 nell'Unione Europea è stata esperita da Bengochea-Morancho A., Higòn-Tamarit F., Martínez-Zarzoso I. (2001)<sup>46</sup>. L'analisi è stata condotta su dati panel di 10 paesi europei nel periodo dal 1981 al 1995 per stimare la relazione esistente fra crescita del Pil ed emissioni di CO2 e la relazione inquinamento-reddito. Sono stati selezionati 10 stati appartenenti all'Unione Europea, dei quali 5 paesi del Nord Europa (Belgio, Danimarca, Irlanda, Paesi Bassi, Regno Unito) e 5 paesi del Sud Europa (Francia, Grecia, Italia, Portogallo, Spagna). La scelta è stata basata sulla lunghezza dell'appartenenza all'Unione Europea e sulla omogeneità dei dati statistici disponibili. Il modello specificato per testare se l'evoluzione del livello di reddito

---

<sup>46</sup> Bengochea-Morancho A., Higòn-Tamarit F., Martínez-Zarzoso I., "Economic Growth and CO2 Emissions in the European Union", in "Environmental and Resource Economics", 2001, 19, pp. 165-172.



# Università Ca'Foscari Venezia

nel tempo e attraverso i paesi influenza il livello di emissioni di CO<sub>2</sub> è così composto: il logaritmo delle emissioni di CO<sub>2</sub> (in tonnellate) per ciascun paese  $i$  al tempo  $t$  è uguale a una costante sommata al logaritmo del Pil a valori correnti con parità di potere d'acquisto moltiplicato per un coefficiente, sommato ad una variabile che denota inosservati effetti individuali, sommato ad un termine di errore. L'equazione è stata stimata con dati in formato panel, tramite regressioni eseguite con cinque metodi. Il primo metodo impone la stessa intercetta e lo stesso parametro di inclinazione per tutti i paesi ed è perciò ritenuto equivalente alla stima con i minimi quadrati ordinari (OLS). Il secondo metodo, riferito al metodo degli effetti fissi, consente che ciascun singolo paese abbia una intercetta differente. È stato anche utilizzato il metodo degli effetti casuali, in cui gli effetti individuali sono trattati come casuali. È stato utilizzato il metodo dei minimi quadrati a due stadi (TSLS) per controllare gli effetti specifici inosservabili. Poiché si ritiene che le stime ottenute con questi quattro metodi siano consistenti solo quando i regressori sono strettamente esogeni, gli autori hanno controllato la possibile endogeneità della variabile reddito stimando il modello usando la variabile reddito ritardata per due periodi come variabile strumentale. Per l'applicazione dello studio, la variabile strumentale secondo gli autori potrebbe non essere un buon strumento poiché il quantitativo di emissioni dipende dai livelli correnti di reddito piuttosto che da quelli passati.

In una prima regressione sono stati considerati tutti i 10 paesi in esame e gli autori trovano che l'ipotesi di inclinazioni uguali per tutti e dieci i paesi non potrebbe essere accettata. Poiché la relazione inquinamento-reddito differisce fra i paesi, questi sono stati divisi in due gruppi, a seconda della collocazione geografica: paesi settentrionali e paesi meridionali. Gli autori non concordano tuttavia che in questi sottogruppi i paesi del Nord condividano la stessa inclinazione ed i paesi del Sud una stessa inclinazione fra loro. Utilizzando differenti criteri, hanno raggruppato i paesi secondo il loro livello di reddito. Nel nuovo raggruppamento vi sono due gruppi, dei quali uno composto da paesi con un reddito più alto del reddito medio del campione complessivo (Belgio, Danimarca, Francia, Italia, Paesi Bassi, Regno Unito) ed un gruppo composto da paesi con un reddito più



basso del reddito medio (Grecia, Irlanda, Portogallo, Spagna). In questo caso si trova che è possibile accettare l'ipotesi di uguale inclinazione della curva fra paesi appartenenti ai due gruppi. L'assunzione di intercetta costante nei due gruppi per i diversi paesi non è confermata dal test di significatività degli effetti fissi, il cui modello ammette intercette diverse fra i vari paesi. La considerazione tratta è che, sebbene i paesi con un reddito sopra la media presentino identici modelli nella relazione fra aumento del Pil e aumento di emissioni di CO<sub>2</sub>, riscontrata nella medesima inclinazione della curva, ci sono differenze nei livelli, poiché partono da differenti livelli di emissioni di CO<sub>2</sub>. Argomentazione simile si applica per il gruppo di paesi con reddito sotto la media. Con il metodo degli effetti fissi, in cui i paesi hanno diverse intercette, ma un'unica inclinazione della retta, per il gruppo di paesi con reddito sopra la media si stima che con una crescita del Pil dell'1% le emissioni di CO<sub>2</sub> aumentino di un fattore 0,18%. Nel gruppo di paesi con reddito sotto la media ad un aumento del Pil dell'1% corrisponderebbe un aumento dello 0,98% delle emissioni di CO<sub>2</sub>. In entrambi i due gruppi, costituiti in base al reddito, gli autori stimano che il metodo degli effetti fissi dia risultati significativi. Viene spiegato questo fenomeno con il fatto che ci sono differenze nelle emissioni del singolo paese che non possono essere descritte dal solo livello di reddito. Per il gruppo di paesi con redditi più alti della media l'intercetta è positiva e maggiore di tre, mentre per il gruppo di paesi con reddito più basso della media i valori sono più bassi e negativi in due casi.

*1.5.7 Markandya e altri (2006) "Empirical Analysis of National Income and SO<sub>2</sub> Emissions in Selected European Countries"*

In Markandya, Golub e Pedroso-Galinato (2006)<sup>47</sup> viene analizzato il nesso fra Pil pro capite ed emissioni di biossido di zolfo in 12 paesi dell'Europa Occidentale nel periodo dal 1870 al 2001. L'obiettivo dello studio è di verificare se sussista una Curva di Kuznets Ambientale nei 12 paesi europei selezionati; se

---

<sup>47</sup> Markandya A., Golub A., Pedroso-Galinato S., "Empirical Analysis of National Income and SO<sub>2</sub> Emissions in Selected European Countries", in "Environmental and Resource Economics", 2006, 35, pp. 221-257



# Università Ca'Foscari Venezia

L'implementazione di regolazioni sull'inquinamento dell'aria ha qualche impatto sulla forma della curva; di calcolare, se esiste, una Curva di Kuznets Ambientale, il punto di svolta della curva, che è il livello di reddito oltre il quale l'inquinamento inizia a diminuire. Lo studio trova che i dati delle emissioni pro capite di SO<sub>2</sub> rispetto al Pil pro capite mostrano un trend a forma di U rovesciata, sia a livello di paese che a livello aggregato. Vengono utilizzati i dati sulle emissioni pro capite di SO<sub>2</sub> e sul Pil pro capite di 12 paesi europei (Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Italia, Paesi Bassi, Norvegia, Svezia, Svizzera e Regno Unito) per i quali i dati del Pil sono disponibili dal 1870 al 2001, mentre quelli per le emissioni di SO<sub>2</sub> sono disponibili dal 1850 al 2001. Il Pil è misurato in dollari del 1990 a parità di potere d'acquisto. Nell'arco di tempo considerato, il Pil è aumentato in media di 11,4 volte, con un tasso annuale medio di crescita per i 12 paesi dell'1,8%. Le emissioni non mostrano un generale trend verso l'alto, bensì un aumento fino ad un certo anno e poi una diminuzione. L'anno di emissioni massime varia a seconda dei paesi dal 1912 al 1980, ed è posto nel 1912 per l'Austria, nel 1967 per la Svizzera, nel 1973 per la Francia, nel 1980 per l'Italia. Gli autori hanno esaminato i tassi di crescita del reddito e delle emissioni nel periodo considerato, suddividendolo in 5 fasi. Nella prima fase dal 1870 al 1913 i tassi di crescita medi per Pil pro capite ed emissioni di biossido di zolfo sono positivi. Nella seconda fase dal 1913 al 1950 il periodo è stato influenzato dalla guerra e dalla depressione, che ha causato una significativa caduta del Pil pro capite in alcuni paesi dell'Europa Occidentale. In particolare nei periodi delle due guerre mondiali i tassi di crescita delle emissioni pro capite sono negativi o più bassi se comparati agli anni precedenti. D'altro canto, il tasso di crescita del reddito pro capite durante il periodo di guerra è negativo o più basso dei periodi precedenti per la maggioranza dei paesi del campione. Nella terza fase dal 1950 al 1973 lo sviluppo è diventato molto più veloce in Europa e la produttività del lavoro nei paesi dell'Europa Occidentale è accelerata. Il tasso di crescita medio del reddito in questo periodo è più alto rispetto agli altri periodi nei paesi del campione, eccetto il Regno Unito. Quasi tutti i paesi del campione hanno tassi di crescita delle emissioni pro capite più bassi che nel periodo 1913-1950.



# Università Ca'Foscari Venezia

Nel 1972 fu implementata la prima direttiva sull'inquinamento dell'aria nella Comunità Europea. Nella quarta fase dal 1973 al 1994, il Pil, il Pil pro capite e la produttività del lavoro hanno rallentato nei 12 paesi del campione. I tassi di crescita delle emissioni pro capite in questo periodo sono negativi e più bassi che negli anni precedenti in tutti i paesi studiati. Sono state varate diverse direttive della Comunità Europea per limitare le emissioni, compreso lo zolfo, dei veicoli a motore, degli impianti di energia, degli incineratori di rifiuti e dei grandi impianti di combustione. Nella quinta fase dal 1994 al 2001 lo sviluppo economico è stato maggiore che negli anni precedenti, tranne il periodo dal 1950 al 1973, per la maggior parte dei paesi. I tassi di crescita delle emissioni pro capite sono rimasti negativi. In questo periodo sono stati implementati due regolamenti internazionali sull'inquinamento dell'aria: il Protocollo di Oslo del 1994, nel quale i paesi dell'Europa Occidentale dovrebbero ridurre le emissioni di zolfo del 70-80% rispetto ai livelli del 1980; il Protocollo di Gothemburg del 1999, nel quale le emissioni di zolfo dovrebbero essere tagliate almeno del 63% rispetto ai livelli del 1990. Il Pil pro capite cominciò a crescere fortemente dopo la Seconda Guerra Mondiale, mentre le emissioni di zolfo, che fino ad allora erano cresciute più velocemente del Pil in un certo numero di paesi, hanno cominciato a crescere più lentamente ed alla fine a diminuire. Nel grafico con i livelli di emissioni di SO<sub>2</sub> sull'asse verticale ed il Pil pro capite sull'asse orizzontale, la relazione mostra una curva a forma di U rovesciata. Le emissioni aumentano rispetto al Pil fino ad un certo punto, dopo il quale, mentre il Pil cresce, le emissioni diminuiscono. Questa è la relazione chiamata Curva di Kuznets Ambientale.

Prima di trattare le regressioni econometriche ed i modelli utilizzati, osservando i dati, gli autori trovano che, sia le serie di dati del Pil pro capite, sia del diossido di zolfo pro capite non sono stazionarie, hanno cioè una radice unitaria e sono integrate di ordine due. Ogni serie di dati deve cioè essere differenziata due volte per diventare stazionaria. Sono stati compiuti test per appurare, invece, se una combinazione lineare delle variabili Pil pro capite ed emissioni di diossido di zolfo pro capite, è stazionaria, ed è stato risposto positivamente al quesito. Dal punto di vista econometrico sono state eseguite due stime: la stima degli effetti



# Università Ca'Foscari Venezia

fissi e la stima degli effetti casuali. Lo stimatore degli effetti fissi consente che l'intercetta differisca fra i vari paesi, stimando differenti costanti per ogni serie di dati cross-section. L'equazione di base ha come variabile dipendente il logaritmo delle emissioni pro capite di biossido di zolfo a sinistra dell'uguale; a destra dell'uguale vi sono, sommati, una costante o intercetta, sommata a effetti specifici del paese moltiplicati da un coefficiente, sommati al logaritmo del Pil pro capite moltiplicato per un coefficiente, sommato al logaritmo del Pil pro capite al quadrato moltiplicato per un coefficiente, sommato ad una variabile di trend moltiplicata per un coefficiente che esprime i movimenti delle emissioni di diossido di zolfo nel tempo, sommata ad una variabile dummy per una serie di direttive della Comunità Europea o regolazioni per la riduzione dell'inquinamento dell'aria in dati periodi temporali, sommata ad una variabile dummy per la Prima Guerra Mondiale, sommata ad una variabile dummy per la Seconda Guerra Mondiale, sommata ad un termine di errore casuale.

Nel modello che stima gli effetti casuali, si assume ugualmente una diversa intercetta per ciascuna serie dei dati cross-section, in questo caso per ciascuna serie di dati delle variabili relativa a ciascun paese, ma le intercette possono essere considerate come casuali e trattate come se fossero parte del termine di errore. Come risultato, la specificazione ha un'intercetta complessiva, un set di variabili esplicative con i loro rispettivi coefficienti, ed un termine di errore composito. L'errore composito ha due parti: un termine di intercetta casuale ed il tradizionale errore casuale. L'equazione del modello degli effetti casuali è così composta: il logaritmo delle emissioni pro capite di biossido di zolfo, a sinistra dell'uguale, è posto uguale, a destra dell'uguale, ad una costante od intercetta, sommata al logaritmo del Pil pro capite moltiplicato per un coefficiente, sommato al logaritmo del Pil pro capite al quadrato moltiplicato per un coefficiente, sommato ad una variabile di trend moltiplicata per un coefficiente, sommata a varie variabili dummy rappresentanti ciascuna i periodi temporali di regolazione sulla riduzione delle emissioni inquinanti moltiplicate da un coefficiente, sommate ad una variabile dummy rappresentante la Prima Guerra Mondiale moltiplicata per un coefficiente, sommata ad una variabile dummy per la Seconda Guerra Mondiale





# Università Ca'Foscari Venezia

moltiplicata per un coefficiente, sommata ad un composito termine di errore o un errore casuale caratterizzante l'osservazione e costante nel tempo, sommato a un tradizionale termine di errore casuale.

Gli autori testano quale metodo sia utilizzabile per eseguire le stime. Poiché viene rigettata l'ipotesi nulla di omogeneità per i vari paesi, ritengono che non sia utilizzabile il metodo dei minimi quadrati ordinari, ma che deva essere utilizzato il metodo degli effetti fissi o quello degli effetti casuali. Sono stati compiuti test per omoschedasticità o costanza della varianza ed autocorrelazione, che rivelano che le variabili indipendenti della regressione mostrano eteroschedasticità e che l'errore di regressione al tempo  $t$  presenta correlazione con l'errore dell'immediato passato al tempo  $t-1$  sia nei dati aggregati che nella stima dei dati panel. Questo viene posto a dimostrazione che i residui siano serialmente correlati ed autoregressivi del primo ordine (AR(1)). Per derivare gli effetti del reddito, della regolazione e delle guerre sulle emissioni di SO<sub>2</sub> per paese, è impiegato il metodo degli effetti fissi in quanto si ritiene che l'uso di variabili dummy faciliti il calcolo del parametro per un dato paese. I dati a livello di paese mostrano che in ciascun paese le regolazioni sull'inquinamento dell'aria che sono statisticamente significative hanno impatti negativi sulle emissioni pro capite. Tutti i singoli paesi, eccetto l'Italia, mostrano una relazione ad U rovesciata fra reddito pro capite ed emissioni pro capite di SO<sub>2</sub>. Tuttavia si trova una relazione statisticamente significativa, al livello del 5%, reddito-emissioni solo per otto paesi (Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Paesi Bassi, Norvegia, Svezia e Regno Unito). Le regolazioni considerate iniziano dal 1972 e, tenendo conto del reddito medio dal 1970 al 2001, il punto di svolta nella curva appare plausibile, tranne eccezioni. Non si è trovato impatto statisticamente significativo per la variabile dummy Prima Guerra Mondiale, mentre l'impatto della Seconda Guerra Mondiale sembra aver causato un impatto negativo sulle emissioni per Belgio e Francia.

E' stata anche stimata una equazione della Curva di Kuznets Ambientale per l'aggregato dei 12 paesi con il metodo dei minimi quadrati ordinari. L'equazione del modello è così composta: il logaritmo delle emissioni pro capite di SO<sub>2</sub> è



# Università Ca'Foscari Venezia

posto uguale ad una costante o intercetta, sommata al logaritmo del Pil pro capite moltiplicato da un coefficiente, sommato al logaritmo del Pil pro capite al quadrato moltiplicato per un coefficiente, sommato ad una variabile di trend moltiplicata per un coefficiente, sommata a variabili dummy per le regolamentazioni per la riduzione delle emissioni in vari periodi temporali moltiplicate per i rispettivi coefficienti, sommate ad un termine di errore. Le variabili esplicative sono ritrovate significative al livello del 5% e diverse direttive della Comunità Europea e regolazioni ambientali risultano significative al livello del 5%, evidenziando un impatto negativo di lungo termine sulle emissioni di SO<sub>2</sub>. Viene evidenziata una curva ad U rovesciata con le emissioni pro capite come variabile dipendente sull'asse verticale ed il reddito pro capite sull'asse orizzontale. Il punto di svolta della curva, in cui le emissioni di SO<sub>2</sub> iniziano ad essere decrescenti viene individuato in corrispondenza di un reddito di 11.900,00 dollari. E' ritenuto questo un valore attendibile in quanto il reddito medio del gruppo di paesi dal 1970 al 2001 è di 15.400,00 dollari. Il trend temporale è ritenuto non significativo a livello del 10%.

In questo studio, come in altri, si rileva, tuttavia, una difficoltà nell'interpretare la significatività delle variabili e dei relativi parametri, in quanto, a partire dalla considerazione che, facendo riferimento alla probabilità dei risultati di un test, per una significatività del 5% bisognerebbe avere una probabilità del 95%, o 0,95, mentre, facendo riferimento alla probabilità dell'errore del primo tipo, per una significatività del 5% bisognerebbe avere un errore minore uguale al 5%, o 0,05, non si comprendono le affermazioni fatte dagli autori riguardo la significatività delle variabili ed il significato dei risultati dei test leggendo i dati riportati della probabilità del test medesimo. I risultati affermati non collimano con i dati sulla probabilità riportati nei test. In particolare nell'ultima regressione intercetta, Pil pro capite e Pil pro capite al quadrato risultano avere probabilità zero, rispetto ad una asserita significatività al 5% delle variabili esplicative. Se la probabilità è invece intesa come probabilità dell'errore, solo alcune variabili relative alla regolamentazione hanno una probabilità inferiore a 0,05.



*1.5.8 Bassetti ed altri (2013) "CO2 Emissions and Income Dynamics: What Does the Global Evidence Tell Us?"*

In Bassetti, Benos e Karagiannis (2013)<sup>48</sup> viene analizzata l'evoluzione congiunta di quelle che vengono ritenute due delle maggiori determinanti del welfare sociale: il reddito e le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Usando un approccio delle dinamiche distributive basato sulle catene di Markov, gli autori investigano sulla forma e sul comportamento della distribuzione congiunta del reddito e delle emissioni di diossido di carbonio pro capite. Fra i risultati, le prove non supportano modelli teorici che predicono l'esistenza di una trappola della povertà e dell'ambiente. Nel lungo periodo emergono due gruppi: paesi poveri versus paesi inquinanti. Secondariamente, il tipico sentiero di sviluppo conduce inizialmente ad alte emissioni e successivamente ad alto reddito. In terzo luogo, il processo di convergenza verso la distribuzione stazionaria è molto lento. Per le emissioni di anidride carbonica, infine, la Curva di Kuznets Ambientale sembra essere solo un fenomeno transitorio. E' stato considerato un campione di 126 paesi nel periodo 1970-2006. Osservando i grafici delle distribuzioni congiunte del Pil pro capite e delle emissioni di diossido di carbonio pro capite nel 1970 e nel 2006, con i dati normalizzati rispetto alla media del campione, comparando la distribuzione iniziale e quella finale, si individua l'emergenza di un secondo picco di paesi, caratterizzato da più alto reddito ed alti livelli di emissioni pro capite. Questo suggerisce che potrebbe emergere una distribuzione multi-modale di lungo periodo, che rivela l'esistenza di convergenza a gruppi fra i paesi. Nello studio il motivo di prestare attenzione alle emissioni di CO<sub>2</sub> risiede nel considerarle responsabili del riscaldamento globale, in quanto costituiscono più del 75% delle emissioni di gas serra. Questa è considerata la ragione per cui esse sono il principale obiettivo delle negoziazioni internazionali sul cambiamento climatico, come il Protocollo di Kyoto. In secondo luogo, le emissioni di CO<sub>2</sub> sono correlate alla qualità ambientale e sono viste come positivamente connesse all'indice "Ecological Footprint index", che mostra di quanta terra biologicamente

---

<sup>48</sup> Bassetti T., Benos N., Karagiannis S., "CO<sub>2</sub> Emissions and Income Dynamics: What Does the Global Evidence Tell Us?", in "Environmental and Resource Economics", 2013, 54, pp.101-125



# Università Ca'Foscari Venezia

produttiva e di quanta acqua una popolazione necessita per sopportare i correnti livelli di consumo e di produzione di rifiuti, usando la tecnologia prevalente. Le emissioni di CO<sub>2</sub> sono anche l'indicatore di qualità ambientale più frequentemente usato nella letteratura sul nesso reddito-ambiente. Gli autori analizzano la forma ed il comportamento della distribuzione delle emissioni di anidride carbonica e del reddito e la mobilità dei paesi all'interno di questa distribuzione. Per fare questo impiegano tecniche non parametriche, come metodi stocastici nucleari e catene di Markov, perché altre tecniche econometriche con dati cross-section o dati panel, non sono ritenute adatte. Si ritiene che la cornice teorica adottata renda possibile rivelare trends di convergenza o divergenza usando un campione mondiale. L'analisi con il metodo della catena di Markov, che verrà illustrato qui di seguito, può informare se i paesi convergono verso un equilibrio unico di lungo periodo o se stanno convergendo verso equilibri multipli. Viene anche introdotta una nuova definizione di stato-spazio, che include il reddito e l'inquinamento dell'aria. Gli autori arrivano a diverse conclusioni. In primo luogo, i risultati mostrano una forte relazione positiva di lungo periodo fra reddito ed emissioni di CO<sub>2</sub>. Predicono che, al termine del processo dinamico, il mondo sarà diviso in due gruppi principali: paesi a basso reddito e basso inquinamento e paesi ad alto reddito ed alto inquinamento. Le previsioni di stato stazionario rivelano che circa il 63% dei paesi sarà caratterizzato da alto inquinamento, se il nostro comportamento di consumo e produzione rimane inalterato. I risultati non avvallano modelli in cui i paesi possono essere presi in una trappola di povertà-ambiente, in cui i paesi rimangano in modo persistente intrappolati in uno stato con basso reddito e/o bassa qualità ambientale. L'evidenza empirica mostra l'esistenza di stati stazionari multipli. Specificatamente emerge l'ipotesi di due separate trappole: una trappola della povertà, con basso reddito e basso inquinamento; una trappola ambientale, con alto reddito ed alto inquinamento. In secondo luogo, il sentiero più probabile di sviluppo di un paese a basso reddito e basso inquinamento, se riesce a sfuggire alla trappola della povertà, è di dapprima aumentare il suo livello di inquinamento, ed in seguito godere di un più alto reddito. Riguardo alle dinamiche



# Università Ca'Foscari Venezia

transizionali, le stime mostrano che i paesi tendono ad essere fortemente persistenti rispetto al loro stato di reddito-inquinamento, cioè è probabile che rimangano nello stato corrente in futuro. Inoltre il processo di convergenza verso lo stato stazionario è molto lento. Da ultimo gli autori nell'articolo non trovano supporto per l'ipotesi di esistenza di una Curva di Kuznets Ambientale per le emissioni di CO<sub>2</sub>. Lo studio nel complesso vuole essere un contributo alla letteratura sulla convergenza di reddito ed emissioni di CO<sub>2</sub>. Specificando la metodologia econometrica usata dagli autori, essi applicano due test di radice unitaria per esaminare la stazionarietà della serie, al fine di verificare l'esistenza di dinamiche tipiche della catena di Markov. Assumono due processi alternativi di radice unitaria: uno comune ed uno individuale. Entrambe le variabili, il reddito pro capite e le emissioni pro capite di CO<sub>2</sub>, sono trovate come processi integrati di ordine 1: l'ipotesi nulla di radice unitaria non può essere rigettata, mentre è rigettata l'ipotesi nulla di radice unitaria nella serie con le differenze prime. Inoltre viene testata l'esistenza di una relazione strutturale di lungo periodo, cioè di cointegrazione fra le variabili. La cointegrazione ha luogo quando la combinazione lineare di una variabile integrata di ordine 1 è stazionaria, con la conseguenza che le deviazioni di una variabile dal sentiero sono transitorie, come prescritto dalla relazione di cointegrazione. Applicando il test di Pedroni (1999)<sup>49</sup> basato sui residui, i risultati rivelano che l'ipotesi nulla di nessuna cointegrazione è rigettata in tutti i casi e si trae la conclusione che l'approccio della catena di Markov è giustificato dai dati. Nel modello della catena di Markov gli autori applicano la normalizzazione rispetto alla media (o divisione dei valori dei paesi per la media) relativa alla media del campione sia per il Pil pro capite che per le emissioni pro capite di CO<sub>2</sub>. Il campione principale comprende 126 paesi nel periodo 1970-2006. Un secondo campione, usato come controllo di validità e solidità dei risultati, è composto da 95 paesi nel periodo 1960-2006. Vengono osservate grandi disparità rispetto a reddito e inquinamento, sia fra i paesi che nel tempo. I livelli di reddito fra i paesi più ricchi ed i paesi più poveri differiscono di

---

<sup>49</sup> Pedroni P., "Critical values for cointegration tests in heterogeneous panel with multiple regressors", in "Oxf. Bull. Econ. Stat.", 1999, 61, pp. 653-670.



# Università Ca'Foscari Venezia

un fattore 220. La varianza aumenta del 50% nell'anno finale rispetto all'anno iniziale. Esaminando l'evoluzione del reddito, il quartile più povero dei paesi aumenta il reddito circa del 50%, mentre i paesi dell'ultimo quartile raddoppiano il loro reddito. Riguardo le emissioni di CO<sub>2</sub>, la standard deviation è abbastanza alta, ma diminuisce considerevolmente nel tempo, circa del 40%. Osservando la dinamica delle emissioni, si riscontra che i paesi meno inquinanti hanno aumentato le emissioni del 60%, mentre i paesi più inquinanti aumentano le emissioni del 20%. Test non parametrici confermano che le distribuzioni sia del reddito che delle emissioni di CO<sub>2</sub> non sono Normali.

Per meglio descrivere la metodologia della catena di Markov, gli autori definiscono lo stato-spazio dei paesi del campione, cioè gli stati del mondo determinati da livelli congiunti di reddito e inquinamento da CO<sub>2</sub>. I dati vengono divisi in tre classi di Pil e tre classi di emissioni di CO<sub>2</sub>. Le soglie che definiscono le classi dei paesi del campione sono, per il Pil pro capite, al 40% e al 100% della media del campione e, per le emissioni pro capite di CO<sub>2</sub>, al 20% e al 50% della media del campione. Secondo questa classificazione, il 40% dei paesi si trova nella classe a basso Pil pro capite, il 30% nella classe a medio Pil, ed il 30% dei paesi si trova nella classe ad alto Pil. Riguardo le emissioni di CO<sub>2</sub>, il 47% dei paesi sono nella classe a basso inquinamento, il 34% hanno alto inquinamento, dei quali il 26% sono paesi ad alto reddito ed il 7% paesi a medio reddito, ed il 19% dei paesi si trova nella classe a medio livello di inquinamento, costituita soprattutto da paesi a medio reddito. Per gli autori la soglia che divide i paesi a medio inquinamento da quelli ad alto inquinamento, corrisponde alla soglia della sostenibilità dell'inquinamento, cioè alto inquinamento significa anche inquinamento insostenibile. Nella definizione di stato spazio, si creano 9 stati del mondo, caratterizzati ciascuno dall'incrocio fra un livello di Pil ed un livello di emissioni inquinanti. Ogni stato-spazio presenta una correlazione positiva fra Pil pro capite ed emissioni di CO<sub>2</sub>. L'esistenza di questa forte correlazione positiva comporta che la maggior parte delle tecniche di ripartizione del campione ha come esito che non si trova nessuna delle osservazioni del campione in alcuni stati del mondo, come ad esempio nello stato basso reddito/alto inquinamento e nello



# Università Ca'Foscari Venezia

stato alto reddito/basso inquinamento. Viene testata la validità dello stato-spazio del mondo in diversi modi. In primo luogo viene usato un approccio nucleare stocastico per controllare le probabilità di transizione da uno stato all'altro. In secondo luogo, viene usato un secondo campione con minor numero di paesi ed un più lungo periodo di tempo per verificare la solidità dei risultati (95 paesi nel periodo 1960-2006 nel campione ridotto contro 126 paesi nel periodo 1970-2006 nel campione complessivo principale). Vengono identificati anche valori soglia in corrispondenza di ogni classe di paesi per il Pil normalizzato per la media e per le emissioni di CO2 normalizzate per la media. Le dinamiche reddito-inquinamento vengono modellate come un processo stocastico nel tempo discreto, in cui l'evoluzione di ciascun paese segue un processo stocastico di catena di Markov con uno stato-spazio bivariato, cioè caratterizzato dal contemporaneo stato differenziato delle due variabili reddito e inquinamento. Se la probabilità di spostarsi da uno stato ad un altro dipende solo dallo stato corrente  $i$ , il processo stocastico è definito catena di Markov. Si assume che la probabilità di spostarsi da uno stato ad un altro non cambi nel tempo, cioè si assume una catena di Markov invariante nel tempo. E' usato un metodo di massima verosimiglianza per stimare la probabilità di transizione da uno stato ad un altro stato. La stima della probabilità di passare da uno stato ad un altro è data dal rapporto fra il numero di paesi che si spostano da uno stato all'altro dei due stati stabiliti, diviso il numero di paesi che erano nello stato  $i$  all'inizio del periodo di transizione. Il processo raggiungerà una distribuzione di stato stazionario se la probabilità al tempo  $t+k$  è uguale alla probabilità nel periodo iniziale. La distribuzione è detta stazionaria e non dipende dalla forma della distribuzione iniziale. Per controllare la validità dell'ipotesi di stazionarietà della matrice di transizione (matrice costituita dalle classi di paesi con differente stato-spazio riguardo le due variabili Pil pro capite ed emissioni pro capite di CO2), gli autori usano il test del tasso di verosimiglianza di Anderson e Goodman (1957)<sup>50</sup>, i quali presentano un test per verificare l'ipotesi nulla che la matrice di transizione sia stazionaria nel tempo contro l'ipotesi

---

<sup>50</sup> Anderson T.W., Goodman L.A., "Statistical inference about Markov chains", in "Ann. Math. Stat.", 1957, 28(1), pp. 89-110.



# Università Ca'Foscari Venezia

alternativa che le probabilità di transizione varino nel tempo. Dividono il campione in due periodi, dal 1970 al 1987 e dal 1988 al 2006. Poi calcolano una statistica  $Q$  che si distribuisce come una variabile chi quadrato, che è uguale a meno 2 che moltiplica il logaritmo di un elemento complesso, costituito dalla produttoria per ciascuno dei due periodi di tempo che moltiplica la produttoria dei 9 stati del mondo stato-spazio, della probabilità stimata (con il metodo precedentemente visto per la catena di Markov) che i paesi passino da uno stato all'altro diviso la probabilità che i paesi passino da uno stato all'altro nel tempo  $t$ , ed il rapporto di queste due probabilità è elevato ad esponente pari al numero di paesi che passano da uno stato all'altro nel tempo  $t$ . Questa statistica è distribuita come una variabile chi quadrato con  $S(S-1)$  gradi di libertà, con  $S$  ad indicare il numero di stati del mondo di stato-spazio.

E' stata misurata la velocità della convergenza con il metodo half-life asintotico, cioè il metodo che calcola il tempo necessario per colmare metà della distanza dalla distribuzione stazionaria. Il modello del calcolo dello half-life asintotico  $h$  è costituito da una espressione in cui lo half-life  $h$  è uguale a meno il logaritmo di due al numeratore diviso il logaritmo del secondo maggior valore delle matrici di transizione. Sono stati anche calcolati degli indici di mobilità per stabilire quanto frequente è il passaggio da uno stato ad un altro. Gli indici misurano in uno spettro di valori  $[0,1]$  la velocità della convergenza verso lo stato stazionario.

La matrice di transizione è una matrice  $9 \times 9$  che riporta sia in colonna che in riga le 9 classi di paesi classificate secondo il rispettivo stato-spazio riguardo le due variabili Pil pro capite ed emissioni di CO2 pro capite. Nella diagonale della matrice vi sono le probabilità che i paesi restino nello stesso stato-spazio in cui si trovano. Nelle altre caselle all'incrocio fra uno stato in riga ed il corrispondente stato in colonna, è riportata la probabilità di spostarsi dal rispettivo stato all'altro. La matrice risulta stazionaria a livello di significatività del 5%.

Come risultato, riguardo le dinamiche di transizione, è improbabile che i paesi cambino il loro stato di reddito-inquinamento. Questo implica una velocità molto lenta di convergenza verso lo stato stazionario e che le emissioni di anidride carbonica potrebbero rallentare il processo di convergenza. E' più probabile che





Università  
Ca'Foscari  
Venezia

un paese che lascia lo stato di basso reddito/basso inquinamento diventi più inquinato prima di diventare più ricco. Nello spazio reddito-emissioni di CO<sub>2</sub>, la Curva di Kuznets Ambientale potrebbe essere solo un fenomeno transitorio.

### **1.6 L'articolo "Growth and pollution convergence: Theory and evidence" di Criado, Valente, Stengos (2011)**

L'articolo da cui ha preso le mosse il presente studio è "Growth and pollution convergence: Theory and evidence" di Criado C.O., Valente S., Stengos T. (2011) pubblicato sul "Journal of Environmental Economics and Management", 62, pp. 199-214. Ripercorrerò le tematiche affrontate nell'articolo, la metodologia econometrica ed il modello economico utilizzati nello studio.

Il problema delle moderne società è ravvisato nel rendere la crescita economica compatibile con la preservazione ambientale nel lungo periodo. La questione diventa quella di analizzare le condizioni alle quali un'economia può raggiungere una crescita sostenibile, cioè sentieri bilanciati di crescita caratterizzati da crescenti redditi pro capite e qualità ambientale non in diminuzione. Si ritiene che la sostenibilità richieda di soddisfare una condizione generale di convergenza dell'inquinamento, in cui l'inquinamento deve essere contenuto nel lungo periodo e raggiungere un livello finito di stato stazionario nonostante la crescita positiva del Pil pro capite. Un'ulteriore domanda, poste queste considerazioni preliminari, è come le dinamiche dell'inquinamento interagiscano con le dinamiche del prodotto lungo sostenibili sentieri di crescita. Nell'articolo gli autori si propongono di considerare un modello di crescita con abbattimento endogeno dell'inquinamento e vogliono mostrare che il sentiero ottimale è caratterizzato da una precisa relazione dinamica fra tassi di crescita dell'inquinamento, livelli di emissioni, e tassi di crescita del prodotto, che induce la convergenza dell'inquinamento nel lungo periodo. Questa, che viene definita come legge dinamica, viene testata per due inquinanti dell'aria, gli ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), usando dati panel di 25 paesi Europei dell'Europa



# Università Ca'Foscari Venezia

Occidentale ed Orientale nel periodo 1980-2005. L'analisi è basata su un modello di crescita "neoclassico", in cui l'inquinamento generato dal processo di produzione riduce il welfare privato. La crescita sostenibile richiede l'uso di tecnologie più efficienti, come di spese difensive per contenere le emissioni. Vengono utilizzate e messe in relazione più funzioni diverse, con le rispettive equazioni. In primo luogo vi è la funzione di produzione del prodotto come variabile dipendente, che è uguale ad una funzione del capitale e del lavoro moltiplicato per il fattore di efficienza del lavoro. Il fattore di efficienza del lavoro è pari ad un valore iniziale di efficienza moltiplicato per la base del logaritmo naturale con esponente un componente che indica il tasso di crescita del progresso tecnico moltiplicato per il tempo  $t$ . Il lavoro è dato dal numero di lavoratori al momento iniziale che moltiplica la base del logaritmo naturale con esponente il tasso esogeno di crescita della popolazione che moltiplica il tempo  $t$ . La scrittura è un po' singolare, ma diffusa in molti articoli consultati. La singolarità è data, all'interno dell'elemento del progresso tecnico, che costituisce l'efficienza del lavoro, moltiplicato per il lavoro nella funzione di produzione, ed all'interno dell'elemento lavoro o numerosità del lavoro, nell'indicare i tassi di crescita della popolazione e del progresso tecnico con esponenti, moltiplicati per l'indice temporale, applicati alla base naturale del logaritmo moltiplicata per i valori della variabile al tempo iniziale del processo. Il metodo può non essere condivisibile e può non portare ad ottenere la crescita percentuale effettiva delle variabili in questione, od il valore effettivo delle variabili in un dato periodo  $t$ . In secondo luogo viene utilizzato un modello di equazione del differenziale del capitale nel tempo, che dovrebbe riportare la crescita del capitale, ottenuta per derivazione dalla funzione macroeconomica in cui il prodotto è uguale alla somma di consumo e risparmio e si suppone che il risparmio venga tutto investito e che l'investimento del periodo sia uguale alla crescita del capitale o differenziale del capitale. Il differenziale del capitale è posto uguale al prodotto meno il consumo meno le spese difensive a protezione dall'inquinamento, meno il deprezzamento del capitale, costituito quest'ultimo dal coefficiente di deprezzamento del capitale che moltiplica il capitale medesimo, quindi come quota di capitale che viene



# Università Ca'Foscari Venezia

deprezzata nel tempo. In terzo luogo vi è la funzione di produzione dell'inquinamento, in cui l'inquinamento è uguale all'intensità delle emissioni inquinanti che moltiplica il prodotto totale diminuito delle spese difensive dall'inquinamento. In quarta istanza, viene posta alla base del modello sviluppato la funzione del benessere individuale, costituita dalla funzione di utilità, che ha come variabili il consumo che aumenta l'utilità e l'inquinamento che riduce l'utilità. Queste quattro funzioni diverse vengono fatte interagire fra di loro, utilizzando per sostituzione le variabili prodotto, capitale, consumo, spese difensive, inquinamento, che hanno ciascuna un proprio simbolo, e vengono ricavate nella loro funzione algebrica, a seconda dell'equazione in cui sono collocate, e poi inserite indifferentemente in un'altra funzione qualsiasi, senza preclusione, in cui ricorre la medesima variabile. Il metodo di ricavare una variabile o un insieme di variabili da un'equazione e sostituire l'espressione equivalente in altre funzioni o processi è utilizzato di frequente in tutto lo svolgimento del processo metodologico presentato nell'articolo, in cui peraltro le espressioni si complicano e si appesantiscono di costanti, simboli ed esponenti in varia forma, rappresentanti a loro volta altre espressioni complesse, concentrate in sintesi. Il procedimento utilizzato non è sempre agevole da seguire.

Viene analizzato ed individuato il sentiero ottimale di un'economia in cui l'investimento finalizzato in tecnologie pulite genera positivi effetti di ritorno sulla qualità ambientale. La crescita del prodotto è guidata dall'accumulazione del capitale e dal progresso tecnologico che aumenta la produttività del lavoro, mentre la crescita dell'inquinamento è contrastata dal cambiamento tecnico che riduce le emissioni. Si assume che, sia la propensione al consumo, sia la propensione ad investire in tecnologie pulite, siano determinate in modo endogeno dalla massimizzazione dell'utilità. Gli autori individuano una precisa legge cui è associata la stabilizzazione dell'inquinamento nel lungo periodo, in base alla quale, durante l'intera transizione, il tasso di crescita delle emissioni pro capite è correlato negativamente al livello iniziale delle emissioni pro capite ed è positivamente correlato al tasso di crescita del prodotto pro capite. La correlazione negativa del tasso di crescita dell'inquinamento con il livello iniziale di



# Università Ca'Foscari Venezia

inquinamento, è chiamato effetto difensivo e riflette l'efficacia delle spese di abbattimento nel limitare la crescita dell'inquinamento. La correlazione positiva, invece, fra tasso di crescita dell'inquinamento e tasso di crescita del prodotto, è un effetto di scala, indotto dalla correlazione positiva fra prodotto e livelli di emissioni. Per mezzo dell'effetto difensivo i tassi di crescita dell'inquinamento diminuiscono a zero e le emissioni pro capite sono limitate nel lungo periodo. La legge dinamica derivata in questo modello può essere considerata un'equazione di beta-convergenza, secondo la quale una relazione intertemporale predice una relazione inversa (con segno negativo) fra il tasso di crescita della variabile di interesse – l'inquinamento in questo caso – ed il suo livello passato. La nozione di beta-convergenza è mutuata dalla letteratura sulla crescita, in cui la variabile di interesse è il reddito pro capite. Le previsioni del modello “neoclassico” della crescita sono di una relazione inversa fra livelli di prodotto e tassi di crescita durante la transizione all'equilibrio di lungo periodo. I primi studi si focalizzavano sulla beta-convergenza assoluta, che si basa sull'ipotesi che la relazione negativa fra crescita e livello di reddito sia caratterizzata dagli stessi parametri per le differenti economie considerate nel campione. Studi più recenti consentono qualche forma di eterogeneità strutturale fra i paesi e testano la beta-convergenza condizionale, in cui si verifica l'esistenza di una relazione negativa fra tasso di crescita e livello di reddito dopo aver controllato gli effetti di altre determinanti della dinamica della crescita, inserendo nell'equazione di regressione altre variabili esplicative. Il modello dello studio qui citato, oltre a predire una relazione negativa fra tasso di crescita della variabile di interesse, che qui è l'inquinamento, ed il suo livello iniziale, predice anche una interazione positiva fra crescita dell'inquinamento e crescita del reddito. L'analisi empirica può essere considerata, nello studio dell'articolo riportato, un test di convergenza in cui la beta-convergenza nell'inquinamento è condizionale a dinamiche del prodotto specifiche del paese. Nell'articolo si descrive l'analisi empirica per testare l'esistenza sia dell'effetto di scala (correlazione positiva fra crescita dell'inquinamento e crescita del reddito e del prodotto) sia dell'effetto difensivo (correlazione negativa fra crescita dell'inquinamento e livello iniziale



# Università Ca'Foscari Venezia

dell'inquinamento) per gli ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) per 25 paesi dell'Europa dell'Est e dell'Ovest nel periodo 1980-2005. L'approccio parametrico standard conferma l'esistenza di questi effetti (segno positivo della variabile di regressione crescita del reddito e segno negativo della variabile di regressione livello iniziale dell'inquinamento), ma gli autori ritengono che modelli lineari parametrici siano rigettati dai dati. Vengono cercati approcci ritenuti più flessibili, cioè regressioni con modelli semiparametrici e non parametrici, che si ritiene meglio catturino non linearità ed eterogeneità fra i paesi. Gli autori ritengono che i risultati dei test con questi diversi modelli confermino le previsioni di effetto di scala, con segno positivo della stima del coefficiente della variabile crescita del prodotto rispetto alla variabile dipendente crescita dell'inquinamento, e segno negativo per la variabile livello iniziale del reddito rispetto alla variabile dipendente crescita dell'inquinamento. Gli effetti si verificano nel medesimo test, in quanto le due variabili sono presenti nella medesima equazione di regressione, ma non ne è data traccia negli esiti delle regressioni con metodi semiparametrici e non parametrici, in cui peraltro non sono presenti parametri o coefficienti delle variabili né stime usuali dei livelli di significatività di tali coefficienti.

Gli autori, inoltre, stimano l'equazione del modello derivata dalle condizioni di ottimalità di un modello dinamico. Viene massimizzata la funzione di utilità rappresentata da un integrale che racchiude tutta l'utilità data dalla funzione di utilità con variabili il consumo medio e l'inquinamento medio, il cui valore è attualizzato moltiplicando le variabili per la base del logaritmo naturale che ha come esponente negativo meno il tasso di sconto moltiplicato per il tempo  $t$ . Questa funzione viene massimizzata con i vincoli della funzione del differenziale del capitale o funzione dell'accumulazione del capitale e della funzione di produzione dell'inquinamento e con il limite di non negatività del capitale, considerato maggiore o uguale a zero. L'ottimizzazione, dopo vari passaggi complessi e non sempre consequenziali, in cui viene utilizzato il metodo Hamiltoniano per la massimizzazione delle variabili consumo, inquinamento, spese di abbattimento dell'inquinamento, capitale, porta a due così dette



# Università Ca'Foscari Venezia

condizioni necessarie per l'ottimalità. Tutte le equazioni sono impostate in termini di quantità per lavoratore o quantità pro capite, in quanto viene eliminato il lavoro dalla funzione di produzione del prodotto dividendo tutte le variabili per il numero di lavoratori. La prima condizione di ottimo esprime il differenziale del consumo diviso il consumo, che dovrebbe costituire la variazione percentuale del consumo, e dovrebbe essere uguale al prodotto marginale del capitale diminuito della quota di spese di abbattimento dell'inquinamento sul prodotto, diminuito di un fattore di elasticità che quantifica la distorsione nel beneficio marginale dell'accumulazione indotta dalle emissioni che riducono il benessere, cui vengono sottratti vari tassi espressi algebricamente: il tasso di sconto, il tasso di deprezzamento del capitale, il tasso di crescita della popolazione ed il tasso di progresso tecnico. Tre di questi tassi (il tasso di sconto, il tasso di crescita della popolazione ed il tasso di crescita del progresso tecnico) precedentemente nelle funzioni erano presenti a livello di esponente della base del logaritmo naturale, moltiplicati all'indice temporale  $t$ , per esprimere il tasso di variazione della variabile di riferimento ed ora sono presenti come sottraendi nelle funzioni ricavate all'interno del procedimento. La seconda condizione di ottimo esprime la quota di prodotto che residua dopo aver provveduto alle spese di abbattimento dell'inquinamento e determina, dopo la massimizzazione della funzione di utilità, la propensione ottimale a spendere per l'abbattimento dell'inquinamento. Questa quantità è funzione delle variabili capitale per lavoratore e consumo per lavoratore, moltiplicate per una costante complessa ed elevati ad esponenti frazionari.

Dopo aver proceduto alla massimizzazione della funzione di utilità sottoposta ai vincoli di accumulazione del capitale e di produzione dell'inquinamento, viene determinato un equilibrio di stato stazionario per le variabili consumo per lavoratore e capitale per lavoratore. Questo punto di equilibrio viene tuttavia definito punto di sella stabile (saddle-point stable), anziché punto stazionario stabile. Il sentiero ottimale è ritenuto unico ed implica convergenza verso punti di stato stazionario per consumo per lavoratore e capitale per lavoratore. L'equilibrio di stato stazionario in modo singolare deriva da punti e valori di massimo delle funzioni considerate, e sembra che l'equilibrio di lungo periodo venga identificato



# Università Ca'Foscari Venezia

con il raggiungimento di valori massimi per le variabili di interesse, che potrebbero non coincidere con un benessere maggiore e migliore ed una migliore qualità ambientale. Inoltre non è detto che, di fatto, l'equilibrio di convergenza di lungo periodo, se esistente, corrisponda ai punti di ottimo trovati per le varie variabili di interesse. Dalle considerazioni sui punti stazionari stabili di consumo e capitale per lavoratore, con valori corrispondenti di ottimo che caratterizzano il sentiero ottimale di stato stazionario e di lungo periodo, si conclude che la propensione a spendere in tecnologie pulite ed il prodotto marginale del capitale siano costanti nel lungo periodo. Vengono ricavate anche equazioni di stato stazionario di lungo periodo per le spese in tecnologie pulite ed il prodotto marginale del capitale. Quest'ultimo è posto uguale alla somma dei tassi di sconto, di deprezzamento del capitale, di crescita della popolazione e di crescita del progresso tecnico al numeratore, che una volta sommati vengono divisi al denominatore per la quota di prodotto diminuita della quota di spese in abbattimento dell'inquinamento, diminuita del fattore di elasticità che quantifica la distorsione nel beneficio marginale da accumulazione del capitale indotta dalle emissioni che riducono il welfare. Questa scrittura è piuttosto insolita e un po' illogica rispetto ai contenuti dell'articolo, in quanto di solito nello studio, in conformità all'asserito modello neoclassico seguito, il differenziale del capitale viene diminuito di tutti i tassi sommati al numeratore della funzione del prodotto marginale del capitale.

Il punto successivo nel procedimento prevede di porre il limite della crescita del prodotto uguale al limite della crescita del capitale uguale al limite della crescita del consumo uguale al limite della crescita delle spese di abbattimento dell'inquinamento e uguale al tasso di crescita della popolazione più il tasso di crescita del progresso tecnico, in ossequio a certa produzione letteraria di teoria "neoclassica", che vede il tasso di crescita del prodotto di lungo periodo di stato stazionario nell'economia uguale al tasso di crescita della popolazione più il tasso di progresso tecnico.

Viene anche trovato, per l'inquinamento pro capite, il livello cui esso converge in stato stazionario e si tratta di una formula complessa in cui il livello di



# Università Ca' Foscari Venezia

inquinamento di stato stazionario è funzione del capitale pro capite e del consumo pro capite, come variabili a destra dell'uguale. Da un sistema di due equazioni in cui vengono descritti il differenziale del consumo pro capite ed il differenziale del capitale pro capite, ottenuto dopo la massimizzazione della funzione di utilità, che consente di individuare equazioni con i valori ottimali della variabili di riferimento, si passa ad un altro sistema di due equazioni, con il tasso di crescita dell'inquinamento pro capite ed il tasso di crescita del capitale pro capite. La derivazione esatta di queste equazioni, qualificate come sistema non lineare, e la loro formulazione precisa non è chiara. Lo stato stazionario viene individuato ponendo uguali a zero le equazioni che definiscono il tasso di crescita dell'inquinamento pro capite ed il tasso di crescita del capitale pro capite. Da questo sistema si ricavano valori validi per entrambe le equazioni di stato stazionario per capitale ed inquinamento pro capite. L'incrocio dei due punti di stato stazionario per capitale e inquinamento pro capite definisce per gli autori un punto di sella stabile (saddle point stable), anche se a rigore di logica dovrebbe trattarsi di un punto stazionario stabile. Questo punto è posto all'intersezione della curva del differenziale dell'inquinamento pro capite posto uguale a zero con la curva del differenziale del capitale pro capite posto uguale a zero. Nel grafico di queste due curve intersecantesi, il livello iniziale al tempo  $t = 0$  dei valori di inquinamento pro capite e capitale pro capite, è un punto in cui l'inquinamento è ad un livello più alto del livello di stato stazionario ed il capitale pro capite è ad un livello più basso del livello di stato stazionario. Il sistema delle due equazioni della crescita dell'inquinamento e della crescita del capitale pro capite viene linearizzato ponendo le derivate prime parziali come costanti che moltiplicano ognuna la differenza di ciascuna delle due variabili, inquinamento pro capite e capitale pro capite, nei valori al tempo  $t$  meno i rispettivi valori di stato stazionario. Viene ricavata un'espressione in cui il tasso di crescita dell'inquinamento è posto uguale ad un termine frazionario in cui compaiono numerose costanti, che moltiplica la crescita del prodotto meno il progresso tecnico, cui sono sommate altre costanti che moltiplicano la differenza fra inquinamento al tempo  $t$  e inquinamento a livello di stato stazionario. Da questo





# Università Ca'Foscari Venezia

punto si deduce una proposizione secondo la quale, lungo il sentiero ottimale, il tasso di crescita istantaneo delle emissioni pro capite è positivamente correlato al tasso di crescita del prodotto pro capite e negativamente correlato al livello di emissioni pro capite. L'equazione corrispondente vede il tasso di crescita dell'inquinamento al tempo  $t$  uguale ad una costante, sommata al tasso di crescita del prodotto al tempo  $t$  moltiplicato per una costante, meno il livello di inquinamento pro capite al tempo  $t$  moltiplicato per una costante. Le costanti in realtà racchiudono operazioni complesse e sono una scrittura sintetica per altre equazioni. Questa proposizione ripete le previsioni iniziali del modello enunciate dagli autori all'inizio dell'articolo. Secondo gli autori, rispetto ad altri studi, l'articolo qui descritto incorpora tutte le condizioni di ottimalità che governano il consumo e le decisioni di investimento, le quali sono state ottenute ricavando valori ottimi (massimi) per le variabili capitale pro capite, consumo pro capite, inquinamento pro capite, quota di spese di abbattimento dell'inquinamento, dalla massimizzazione della funzione di utilità sottoposta ai vincoli di accumulazione o differenziale del capitale e produzione di inquinamento come funzione del prodotto. Di fatto, ammesso che vengano computati davvero dei valori nelle equazioni del procedimento, in teoria si sono trovati valori massimi di una funzione e si sono considerati questi come valori di stato stazionario, cui dovrebbe tendere l'economia nel lungo periodo, ma non è detto che l'economia si diriga verso valori massimi od ottimi, anche nel caso che si raggiunga nel tempo un così detto stato stazionario stabile e convergente fra paesi diversi o fra gruppi di paesi. Gli autori arrivano ad una vera e propria equazione di regressione per testare la beta-convergenza, condizionata all'effetto scala della correlazione positiva fra crescita del prodotto e crescita delle emissioni pro capite. L'equazione è così composta: la crescita dell'inquinamento a sinistra dell'uguale è posta uguale ad una costante od intercetta, meno il coefficiente beta che moltiplica il logaritmo del livello delle emissioni inquinanti al tempo  $t-T$  e cioè all'inizio dello periodo considerato, più un coefficiente che moltiplica la crescita del prodotto. La beta-convergenza è verificata se il coefficiente beta nella regressione presenta segno negativo. In questo caso, si ritiene che le emissioni inquinanti dei diversi paesi del



# Università Ca'Foscari Venezia

campione convergano verso un livello di stato stazionario. All'equazione può essere aggiunta un'ulteriore variabile data dal logaritmo del prodotto al tempo  $t-T$ , cioè all'inizio del periodo preso in considerazione. La variabile dipendente crescita dell'inquinamento pro capite per ciascun paese è costituita dalla media dei cambiamenti logaritmici nel lasso di tempo da  $t-T$ , che è il periodo iniziale, a  $t$ , che è il periodo finale, computata tramite il logaritmo, diviso per i periodi di tempo  $T$ , delle emissioni inquinanti per lavoratore al tempo  $t$  finale diviso le emissioni inquinanti per lavoratore nel tempo  $t-T$  iniziale.

Nella stima della beta-convergenza il periodo dal 1980 al 2005 è stato diviso in 5 periodi di 5 anni e sono stati utilizzati tre approcci differenti per le regressioni: parametrico, semiparametrico e non parametrico. Sono state incluse anche variabili dummy per dare conto di potenziali rotture strutturali, delle quali una per identificare i paesi membri dell'Unione Europea a 15, rispetto al gruppo di paesi non dell'Unione Europea a 15 e altre per identificare ciascuno dei periodi sotto esame. Poiché gli autori ritengono che possono esserci effetti potenziali di ritorno dell'inquinamento sul Pil e che per questo i coefficienti di regressione possano presentare distorsioni da endogeneità, il primo periodo di cinque anni dal 1980 al 1985 è tenuto al di fuori del campione ed è stato utilizzato come variabile strumentale del Pil al tempo  $(t-1)-T$  per il Pil al tempo  $t-T$  all'inizio del periodo, che così viene spostato al 1985. Le variabili strumentali in teoria vengono utilizzate se una variabile è correlata ad un'altra variabile della regressione e per questo motivo potrebbe generare distorsione nella stima. La variabile strumentale è utilizzata nella regressione al posto della variabile correlata. Essa si interpone fra le due variabili e deve essere incorrelata rispetto ad entrambe, mentre fra le due variabili originali sussiste correlazione. La variabile correlata è definita in funzione della variabile strumentale e la variabile dipendente della regressione è definita a sua volta in funzione della variabile strumentale al posto della variabile correlata. In questo caso potrebbe non essere così chiara l'opportunità di scegliere come variabile strumentale incorrelata il reddito del periodo iniziale nel 1980, in funzione del quale è stato definito il reddito del periodo iniziale della stima, slittato al periodo 1985, in quanto potrebbero esserci elementi di correlazione fra



# Università Ca'Foscari Venezia

la variabile strumentale e la variabile sostituita.

Per l'approccio di stima parametrico viene utilizzato il metodo dei minimi quadrati ordinari (OLS). Viene eseguito un test di Hsiao ed altri (2007)<sup>51</sup> per verificare se i modelli parametrici lineari forniscano stime consistenti. Nell'ipotesi nulla del test il valore atteso della coppia di variabili deve essere uguale al valore atteso della coppia di variabili con in più il parametro di regressione. Il test non è del tutto chiaro. Gli autori comunque ritengono che l'ipotesi nulla non possa essere accettata e che perciò le stime della regressione non siano consistenti. Utilizzano quindi altri due metodi: il metodo semiparametrico ed il metodo non parametrico. Nel modello semiparametrico l'equazione di regressione è così composta: la crescita dell'inquinamento è uguale ad una costante più le due variabili dummy prima viste, più una sommatoria di un vettore di variabili (costituite da: il logaritmo delle emissioni al tempo t-T iniziale del periodo, la crescita del Pil, il logaritmo del Pil al tempo t-T iniziale del periodo), cui è sommato un termine di errore. Nel modello pienamente non parametrico, invece, il tasso di crescita dell'inquinamento è posto uguale alla funzione di due vettori di variabili, cui è sommato un termine di errore. Il primo vettore di variabili contiene le specificazioni delle due variabili dummy, indicative dell'appartenenza dei paesi all'Unione Europea a 15 o meno, e relative ai periodi temporali di osservazione in cui è stato suddiviso il periodo complessivo. Il secondo vettore di variabili è costituito dal logaritmo del livello delle emissioni inquinanti nel periodo iniziale, dal tasso di crescita del Pil, dal logaritmo del Pil nel periodo iniziale. Questo modello è stimato con il metodo detto nucleare proposto da Racine e Li (2004)<sup>52</sup>. Nei grafici con l'andamento per i vari paesi nel tempo del Pil nel periodo considerato e delle emissioni di SOx e NOx, si rileva un Pil tendenzialmente crescente, ossidi di zolfo (SOx) tendenzialmente decrescenti, ossidi di azoto (NOx) con una grande variabilità di valori, alcuni dei quali decrescenti, alcuni crescenti, altri con picchi in corrispondenza degli anni 1990 e 1995.

---

<sup>51</sup> Hsiao C., Li Q., Racine J.S., "A consistent model specification test with mixed categorical and continuous data", in "Journal of Econometrics", 2007, 140 (2), pp. 802-826.

<sup>52</sup> Racine J., Li Q., "Non parametric estimation of regression functions with both categorical and continuous data", in "Journal of Econometrics", 2004, 119(1), pp. 99-130.



# Università Ca'Foscari Venezia

Nell'esaminare le emissioni di questi due inquinanti gli autori hanno considerato le emissioni derivate dalle attività umane ed ignorato quelle verificantesi in ambienti naturali senza intervento dell'uomo. Le emissioni di SO<sub>x</sub> sono principalmente connesse a processi di combustione a livello di industria ed impianto. Le emissioni di NO<sub>x</sub> sono principalmente derivanti dal trasporto su strada, altre fonti mobili, e dalla generazione di energia elettrica. Gli ossidi di zolfo e azoto sono conosciuti per avere un vasto impatto negativo sulla salute umana e sugli ecosistemi naturali. Attraverso la reazione con altre sostanze, le emissioni di SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> causano malattie ai polmoni; modificano la terra e gli ecosistemi acquatici e generano piogge acide che hanno effetti sulla natura e su edifici, automobili e monumenti storici. Riguardo il risultato dei test, per i test parametrici riportati dei minimi quadrati ordinari, alcuni parametri vengono riportati significativi al 5% o all'1%. La probabilità del test, che si precisa stimata con il metodo di Hsiao e altri (2007) riporta valori molto bassi, in genere meno del 5%. Non è chiaro, tuttavia, se i dati sulla probabilità riportati si riferiscano alla probabilità complessiva della stima dei parametri del test o alla probabilità dell'errore di primo tipo del test, se si riferiscano alla probabilità dell'ipotesi nulla riportata di consistenza delle stime dei parametri o alla probabilità di errore nella consistenza delle stime. Per il parametro beta riferito alla variabile livello delle emissioni di inquinamento nel periodo iniziale, si riporta segno negativo per le emissioni di SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, e questo deporrebbe a favore del verificarsi della beta-convergenza nella stima secondo il modello utilizzato, se gli autori non ritenessero che il modello dei minimi quadrati ordinari non è adatto a rappresentare i dati e che le stime non siano consistenti.

Riguardo le stime con i metodi semiparametrico e non parametrico, invece, non sembra che emergano prove dei risultati e modalità di controllo per verificare la validità dell'approccio e la correttezza dei risultati descritti anche discorsivamente e non solo algebricamente nell'articolo. Di fatto non emerge un valore negativo di beta da poter leggere o un valore positivo del coefficiente della crescita del Pil, da computare numericamente. Gli autori riportano anche dei grafici, diversi per i paesi dell'Unione Europea a 15 stati e non dell'Unione Europea a 15, in cui



Università  
Ca'Foscari  
Venezia

vengono riportati i risultati di tutti e tre i diversi tipi di regressione, dei minimi quadrati ordinari, semiparametrica, non parametrica. Nei grafici con la crescita dell'inquinamento sul lato verticale e livello iniziale di inquinamento sull'asse orizzontale, è raffigurato un andamento decrescente; nei grafici con la crescita dell'inquinamento sul lato verticale e la crescita del Pil sul lato orizzontale l'andamento è rappresentato crescente; nei grafici con la crescita dell'inquinamento sul lato verticale e l'iniziale livello di Pil sul lato orizzontale l'andamento si presenta decrescente.

Gli autori confermano l'ipotesi inizialmente presentata, per cui si individua un sentiero ottimo di crescita caratterizzato da una precisa legge dinamica: il tasso di crescita delle emissioni pro capite è negativamente correlato al livello di emissioni pro capite (risultato dell'effetto difensivo che riflette l'efficacia delle spese di abbattimento nel limitare la crescita dell'inquinamento) nel periodo iniziale e positivamente correlato al tasso di crescita del prodotto pro capite (conseguenza dell'effetto scala connesso alla relazione positiva fra prodotto e livelli delle emissioni). La legge dinamica può essere interpretata come una equazione di beta-convergenza, nella quale, in virtù dell'effetto difensivo, i tassi di crescita dell'inquinamento diminuiscono a zero e le emissioni pro capite sono limitate nel lungo periodo.

### **1.7L'andamento delle emissioni inquinanti dell'aria negli ultimi decenni**

Per cercare di avere un'idea dell'andamento delle emissioni inquinanti in Europa e, ad esempio, negli Stati Uniti, la ricerca è caduta sulle pubblicazioni che riportano il quantitativo delle emissioni relativamente ad alcuni paesi, e le



# Università Ca'Foscari Venezia

variazioni percentuali negli ultimi decenni. In Air Pollution Consultant (2013)<sup>53</sup>, in cui viene citata come fonte un report del 2012 dell'European Environment Agency, vengono riportate quantità di emissioni nel 1990 e nel 2010 e la variazione percentuale, in cui si riscontra un andamento decrescente. Vengono riportati dati per le seguenti sostanze: ossidi di azoto (NOx), monossido di carbonio (CO), composti organici volatili non metanici (NMVOC), ossidi di zolfo (SOx), ammoniaca (NH3), piombo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg). Per la materia di particolato con diametro inferiore a 2,5 micron e la materia di particolato con diametro inferiore a 10 micron, non sono disponibili i dati del 1990, per eseguire una comparazione, ma si afferma che la diminuzione è del 15% per le emissioni di PM-2,5 e del 14% per le emissioni di PM-10 dal 2000 al 2010. Riportiamo i dati e le variazioni percentuali dei principali composti per i paesi dell'Unione Europea a 27 stati nella Tabella 1.

Tabella 1. Emissioni totali nell'Unione Europea a 27 stati nel periodo 1990-2010

Composto	Emissioni 1990	Emissioni 2010	Variazione 1990-2010	Variazione 2009-2010
NOx	17.143*	9.162*	-47%	-1,4%
CO	65.670*	24.908*	-62%	3,4%
NMVOC	16.740*	7.412*	-56%	0,5%
SOx	24.857*	4.574*	-82%	-5,7%
NH3	5.018*	3.591*	-28%	-2,0%
Piombo	23.156**	2.549**	-89%	9,1%
Cadmio	258**	103**	-60%	7,5%
Mercurio	230**	87**	-62%	-2,4%

Note: \* L'unità di misura delle emissioni è in migliaia di tonnellate o 10<sup>9</sup> grammi.

\*\* L'unità di misura delle emissioni è in migliaia di kilogrammi o tonnellate, 10<sup>6</sup> grammi.

<sup>53</sup> "European Union Pollutant Emissions Trends, 1990-2010" in "Air Pollution Consultant", 2013,



Fonte: *Air Pollution Consultant*, 2013

Per le sostanze presentate, i dati sulle emissioni sono in diminuzione percentuale netta dal 1990 al 2010, mentre vi sono alcuni dati di emissioni in aumento nell'ultimo anno del periodo considerato, dal 2009 al 2010, soprattutto per piombo e cadmio. In questa tabella non vengono riportati dati per le emissioni di anidride carbonica o biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), uno dei gas serra del pianeta, che secondo talune fonti nel 2010 avrebbero raggiunto i livelli massimi rispetto al passato.

In *Air Pollution Consultant* (2009)<sup>54</sup> vengono raffrontati i dati delle emissioni di gas serra nell'Unione Europea nel 1990 e nel 2007, con la variazione percentuale dal 1990 al 2007 e la variazione percentuale nell'ultimo anno del periodo dal 2006 al 2007. La misura è un po' elaborata in quanto è calcolata in tera-grammi (10<sup>12</sup> grammi o milioni di tonnellate) di CO<sub>2</sub> equivalente. Le fonti citate sono l'inventario annuale dei gas serra della Comunità Europea dell'European Environment Agency 1997-2007 ed il report 2009.

Nella Tabella 2 vengono riportati i dati sulle emissioni di gas serra dei principali gas nell'Unione Europea a 27 stati negli anni 1990 e 2007, con le variazioni corrispondenti.

---

Vol. 23 n. 1, 1.1-1.6, Aspen Publishers Inc.

<sup>54</sup> "EU Greenhouse Gas Emissions Continue to Decrease", in "Air Pollution Consultant", 2009, Vol. 19, n. 5, 1.1-1.4



Tabella 2. Emissioni di gas serra nell'Unione Europea 1991-2007.

Composto	Emissioni 1990*	Emissioni 2007*	Variazione 1990-2007	Variazione 2006-2007
Emissioni nette CO2/rimozioni	4.057	3.771	-7,0%	-0,61%
Emissioni CO2 senza LULUCF (a)	4.400	4.187	-4,8%	-1,3%
CH4 metano	602	416	-30,9%	-1,4%
N2O ossido di azoto	513	374	-27,1%	-0,3%
HFC idrofluorocarburi	28	63	125%	6,8%
PFC perfluorocarburi	20	4	-80,0%	-20%
SF6 esafluoridi di zolfo	11	10	-9,1%	0%
(a)LULUCF = uso della terra, cambiamento nell'uso della terra, foreste (Land Use, Land-Use Change, Forestry)				

Nota: \* Unità di misura in teragrammi ( $10^{12}$  grammi) o milioni di tonnellate

Fonte: *Air Pollution Consultant* (2009)

In generale le emissioni di gas serra nei 6 gas considerati sono diminuite, tranne che per le emissioni di idrofluorocarburi (HFC), che sono aumentate del 125% dal 1990 al 2007 e del 6,8% dal 2006 al 2007. Le emissioni di CO2 presentano tuttavia una diminuzione modesta dal 1990 al 2007, del -4,8%.

Per gli Stati Uniti, in *Air Pollution Consultant* (2011)<sup>55</sup> vengono riportate le emissioni di alcuni gas serra misurate in milioni di tonnellate di CO2 equivalenti. Le stime sono ottenute dalla Energy Information Administration per gli U.S.A. nel 2009. In queste stime il potenziale di riscaldamento globale dell'anidride carbonica (CO2) è pari a 1 ed è usato come unità di misura. Rispetto ad esso gli altri gas serra individuati hanno un potenziale di riscaldamento globale molto più elevato. Esso per il metano (CH4) è pari a 25 rispetto all'anidride carbonica

<sup>55</sup> "U.S. Greenhouse Gas Emissions in 2009", in *"Air Pollution Consultant"*, 2011, Vol. 1, n. 5, 1.9-1.15





# Università Ca'Foscari Venezia

(CO<sub>2</sub>); per l'ossido di azoto (N<sub>2</sub>O) è pari a 298; per gli idrofluorocarburi (HFC), a seconda del gas specifico, varia da 12 a 14.800 (sono enumerati almeno 19 gas idrofluorocarburi diversi); per i perfluorocarburi (PFC), con almeno 6 gas perfluorocarburi diversi, varia da 8.830 a 12.200; per l'esafluoride di zolfo (SF<sub>6</sub>) è di 22.800, per il trifluoride di azoto (NF<sub>3</sub>) è di 17.200.

Nella Tabella 3 sono riportate le emissioni dei principali gas serra negli Stati Uniti dal 1990 al 2009.

Tabella 3. Emissioni di gas serra negli Stati Uniti 1990-2009\*

Gas	1990	1995	2008	2009
Diossido di carbonio (CO <sub>2</sub> )	5.041	5.353	5.866	5.447
Metano (CH <sub>4</sub> )	769	733	724	731
Ossido di azoto (N <sub>2</sub> O)	221	236	224	220
HFC, PFC, SF <sub>6</sub>	102	119	170	178
Totale	6.133	6.442	6.983	6.576

\*Unità di misura in milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente

Fonte: *Air Pollution Consultant*, (2011)

Dai dati negli Stati Uniti si nota un aumento delle emissioni di gas serra totali dal 1990 al 2008 del 13,96%, dovuto principalmente all'aumento delle emissioni di diossido di carbonio e del gruppo HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, con una diminuzione del 5,85% del metano. Dal 2008 al 2009 le emissioni totali sono diminuite del 5,82%, a causa principalmente della diminuzione delle emissioni di diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) del 7,14%, parzialmente compensata da un leggero aumento delle emissioni di metano del 0,97% e del gruppo HFC, PFC, SF<sub>6</sub> del 4,71% circa.



## Capitolo 2

### 2. Nozioni sull'inquinamento dell'aria

Per meglio comprendere il fenomeno dell'inquinamento e le problematiche connesse, fornirò una ricostruzione dell'inquinamento dell'aria a partire dal ciclo naturale degli elementi sulla terra<sup>56</sup>, in una analisi multidisciplinare. Una certa attenzione sarà prestata all'utilizzo dei combustibili fossili, la cui combustione per motivi energetici o di trasporto produce una grande quantità di emissioni.

L'atmosfera è formata da una varietà di sostanze, elementari e composte, e la sua composizione rimane costante (tranne che per il vapore d'acqua e l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e, in zone più circoscritte, per fenomeni locali di vulcanismo) in tutte le zone della Terra per un centinaio di chilometri in altezza. La composizione dell'aria secca, cioè priva di acqua in fase gassosa e di polvere, è all'incirca la seguente:

N <sub>2</sub>	78,1%	Azoto biatomico
O <sub>2</sub>	21,0%	Ossigeno biatomico
Ar	0,93%	Argon
CO <sub>2</sub>	0,031%	Anidride carbonica o biossido di carbonio
CH <sub>4</sub>	0,002%	Metano
Ne	0,0018%	Neon
He	0,00052%	Elio
Kr	0,0001%	Kripton
H <sub>2</sub>	0,00005%	Idrogeno biatomico

L'aria è formata principalmente da azoto in formula N<sub>2</sub> e ossigeno in formula O<sub>2</sub>, in rapporto, in volume e mole di circa 4:1 e insieme formano circa il 99% dell'aria secca. Il restante 1% è suddiviso principalmente fra argon e anidride carbonica,

---

<sup>56</sup> Bertisi I., Luchinot C., Masi F., "Chimica Materia Tecnologia Ambiente", Casa Editrice Ambrosiana, 2016



# Università Ca'Foscari Venezia

mentre i restanti gas sono in concentrazioni molto minori. L'acqua gassosa, in formula  $H_2O$ , presente nell'atmosfera, varia a seconda delle altitudini, delle stagioni ed insieme ad anidride carbonica, azoto ed ossigeno si consuma e si riforma secondo dei cicli che coinvolgono anche l'idrosfera, la litosfera e la biosfera<sup>57</sup>. Mentre sulla superficie terrestre le precipitazioni sono maggiori dell'evaporazione, sulla superficie degli oceani accade il contrario. E' stato stimato che l'acqua presente nell'atmosfera rappresenti circa il 27% di tutta l'acqua dolce e del ghiaccio presenti sulla terra. Essa proviene dall'evaporazione delle acque oceaniche, dove ritorna alla fine del suo ciclo attraverso le precipitazioni e l'apporto dei fiumi. Il 99% della massa atmosferica è contenuto entro 30 chilometri dalla superficie terrestre. In base all'altezza dal suolo l'atmosfera terrestre si considera divisa in diversi strati. Lo strato che arriva fino all'altezza di 10-15 chilometri è la troposfera, dove avvengono lo spostamento ed il mescolamento delle masse d'aria a causa dei gradienti termici. La troposfera è lo strato in cui si formano le nubi, le piogge, la neve e gli uragani, in cui in breve avvengono i fenomeni meteorologici, e contiene circa l'80% della massa dell'atmosfera. Lo strato al di sopra della troposfera, fino a 40-50 chilometri, è la stratosfera. Al di sopra ci sono la mesosfera fino ad un'altezza di 80 chilometri, e la termosfera fino a 500 chilometri.

L'attività umana tende a cambiare la composizione dell'atmosfera introducendo delle sostanze che derivano dai processi industriali e dalla combustione dei combustibili fossili. Alcune di queste sostanze sono considerate nocive per la biosfera e costituiscono gli inquinanti atmosferici di origine antropica. Anche fenomeni naturali possono alterare la composizione e la qualità dell'aria, sebbene in zone più circoscritte, come ad esempio i vulcani. La decomposizione anaerobica, cioè in assenza di ossigeno, di piante ed animali ed il metabolismo dei ruminanti

---

<sup>57</sup> L'idrosfera è un sistema dinamico che comprende ambienti idrici diversi ed essenziali per la vita animale e vegetale. La litosfera è la parte più esterna della Terra, con uno spessore di circa 100 km. La porzione più esterna della litosfera è la crosta terrestre, con uno spessore che varia da 5 a 70 km. La biosfera è l'involucro esterno della superficie terrestre in cui sussistono le condizioni indispensabili per la vita animale e vegetale. La biosfera contiene grandi quantità di composti di carbonio, per la maggior parte composti organici, che prendono parte ad una catena di processi ciclici di formazione, trasformazione e decomposizione.



# Università Ca'Foscari Venezia

si ritiene producano, ad esempio, metano ( $\text{CH}_4$ ), mentre alcuni tipi di conifere emettono altre sostanze organiche volatili. L'atmosfera è ritenuta una sorgente praticamente inesauribile di alcune sostanze elementari, principalmente l'ossigeno ( $\text{O}_2$ ) e l'azoto ( $\text{N}_2$ ). Nell'atmosfera elementi come idrogeno, carbonio, azoto, ossigeno, sia allo stato elementare ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), sia come composti ( $\text{CO}_2$  anidride carbonica,  $\text{H}_2\text{O}$  acqua), vengono trasferiti continuamente da una fase all'altra della biosfera mediante reazioni chimiche di acido-base o di ossido-riduzione. Nel corso di milioni di anni le concentrazioni degli elementi citati hanno subito delle fluttuazioni cicliche, ma nel breve periodo (migliaia o decine di migliaia di anni) rimangono approssimativamente costanti, finché fattori esterni di origine naturale (vulcanismo, cambiamenti climatici) od antropica non ne perturbino lo stato di apparente equilibrio (in biologia si parla di equilibrio stazionario). Un'azione perturbante antropica che si è inserita nei cicli dell'ossigeno e del carbonio è una conseguenza della combustione dei combustibili fossili, carbone, petrolio, metano, necessaria a produrre tutta l'energia meccanica, elettrica, termica consumata dall'attività umana. Essa rimanda nell'atmosfera sotto forma di calore ed anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) parte dell'energia solare fissata dalle piante. L'attività antropica fa diminuire la quantità di ossigeno e fa aumentare quella del diossido di carbonio a spese dell'energia solare accumulata nel corso di milioni di anni come combustibili fossili.

Riguardo la  $\text{CO}_2$ , la quantità di carbonio contenuta in  $\text{CO}_2$  e nei carboidrati è una frazione abbastanza piccola della massa totale del carbonio presente nella litosfera come depositi inorganici (carbonati) e depositi fossili (carbone, petrolio e gas naturale). È stato stimato che il tempo di permanenza del carbonio nella biosfera sia dell'ordine di circa 20 anni (tempo necessario al suo completo ricambio per effetto dei cicli della biosfera), mentre il tempo di permanenza di  $\text{CO}_2$  nell'atmosfera, rispetto alla sua dissoluzione negli strati superficiali degli oceani, è soltanto di 1,85 anni. I cicli del carbonio e dell'ossigeno si potevano considerare in uno stato di sostanziale equilibrio fino alla metà del 1800. A partire da quel periodo (e dalla Rivoluzione Industriale), frazioni sempre maggiori di carbonio accumulatesi durante milioni di anni nei depositi fossili (carbone, petrolio,



# Università Ca'Foscari Venezia

metano) sono state rimesse in circolo rapido dalla combustione dei combustibili fossili per produrre tutte le forme di energia richieste dall'attività antropica. Il 50% circa di CO<sub>2</sub> derivante dalla combustione va ad aumentare il contenuto di CO<sub>2</sub> dell'atmosfera, mentre il restante 50% viene assorbito dagli strati superficiali degli oceani, dato il loro rapido scambio con l'atmosfera. Si ritiene che nell'ultimo secolo il contenuto medio di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera sia passato da circa 280 ppm (parti per milione) a 400 ppm (parti per milione), dallo 0,028% allo 0,040% in volume. L'aumento di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera ha come effetto a breve termine un aumento della temperatura (global warming), poiché riduce la dissipazione di calore emesso dalla superficie terrestre (effetto serra). Esiste una correlazione fra la quantità di CO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera nel corso della vita della Terra e la sua temperatura, indipendentemente da quali possono essere le considerazioni di causa-effetto. La richiesta di energia per sostenere tutta l'attività umana ed il lavoro meccanico necessario al suo funzionamento, sotto qualunque forma, è progressivamente cresciuta, parallelamente all'aumento della popolazione ed al miglioramento della qualità della vita di gran parte della popolazione. Attualmente, poiché non siamo in grado di utilizzare direttamente l'energia del sole, se non in minima parte, la maggior parte dell'energia necessaria viene ricavata dall'energia chimica, cioè dall'energia potenziale che dipende dai legami chimici delle sostanze, posseduta dalla materia organica e dai combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale). In concreto, l'80% dell'energia consumata viene prodotta dalla combustione dei combustibili fossili e, in quantità molto minore, dalla combustione delle biomasse (legno e materiale di origine vegetale in genere). Le reazioni di fissione nucleare contribuiscono per il 14% alla produzione di energia elettrica su scala globale. Percentuali minori di energia, per lo più elettrica, sono ottenute dalle centrali idroelettriche e geotermiche e da impianti eolici e fotovoltaici, questi ultimi in rapida crescita.

Concentrandosi sull'energia prodotta dalla combustione dei combustibili fossili, bisogna evidenziare che la combustione interagisce maggiormente con la biosfera, in particolare con l'atmosfera. La combustione dei combustibili fossili è l'insieme delle reazioni di ossidazione con l'ossigeno contenuto nell'aria dei composti



# Università Ca'Foscari Venezia

contenenti carbonio. Queste reazioni sono esotermiche ed il calore prodotto è utilizzato per produrre vapore d'acqua ad alta pressione, che alimenta le turbine delle centrali termoelettriche, oppure per espandere i gas di combustione nei motori termici, sia a pistoni che a turbina. Qualunque sia il tipo di combustibile usato, la combustione produce sempre CO<sub>2</sub> ed acqua, oltre a volumi minori di altre sostanze. I combustibili fossili non sono solo composti di atomi di carbonio ed idrogeno legati fra di loro che reagiscono con l'ossigeno dell'aria, in quanto sono di fatto miscele di composti. Il diossido di carbonio o CO<sub>2</sub> non è una sostanza nociva per la salute umana, ma è uno dei così detti gas serra, insieme a H<sub>2</sub>O (acqua), CH<sub>4</sub> (metano), O<sub>3</sub> (ozono), N<sub>2</sub>O (ossido di azoto) e fluoro-cloro derivati degli idrocarburi, sostanze cioè che portano ad un aumento della temperatura al suolo per effetto serra. Inoltre la combustione con aria dei combustibili fossili produce sostanze classificate come nocive per la salute, quali SO<sub>2</sub> (biossido di zolfo), con il carbone in particolare che contiene circa il 2% di zolfo, NO (ossido di azoto), CO (monossido di carbonio) e indirettamente NO<sub>2</sub> (biossido di azoto) e O<sub>3</sub> (ozono). Sono tutti gas che concorrono a peggiorare la qualità dell'aria dei centri urbani.

La combustione dei combustibili non avviene con ossigeno puro, bensì con aria che contiene prevalentemente azoto biatomico N<sub>2</sub>. Nel processo di combustione si sviluppano alte temperature che rendono meno sfavorevole dal punto di vista termodinamico la reazione endotermica fra azoto (N<sub>2</sub>) e ossigeno (O<sub>2</sub>), ma soprattutto ne favoriscono la velocità di formazione, con produzione di NO (ossido di azoto). Dopo che si è formato ad alta temperatura, NO viene ossidato velocemente dall'ossigeno dell'aria anche a temperatura ambiente con generazione del biossido di azoto (NO<sub>2</sub>). La miscela di NO e NO<sub>2</sub> che è presente nell'aria è indicata nei monitoraggi dell'aria con NO<sub>x</sub>. Il limite consentito nell'aria è di 200 microgrammi per metro cubo. Gli ossidi di azoto sono emessi principalmente dai motori diesel a causa dell'alta temperatura di combustione che essi raggiungono. Il rapporto aria/combustibile ha effetto opposto sulla formazione di CO e NO<sub>x</sub>: un aumento del rapporto fa diminuire CO (monossido di carbonio) rispetto a CO<sub>2</sub>, ma fa aumentare NO<sub>x</sub>.



# Università Ca'Foscari Venezia

Gli effetti degli ossidi di azoto sulla salute umana vanno dall'irritazione bronchiale e polmonare per quantità dell'ordine di 3 ppm (parti per milione, in volume) respirate in un'ora a effetti letali per quantità riportate di 150-220 ppm respirate per un giorno. NO<sub>2</sub> ha effetti avversi anche sulla vegetazione, causando la defoliazione delle piante.

Gli idrocarburi, NO<sub>2</sub>, e la luce del sole sono la miscela che produce l'ozono. L'ozono (O<sub>3</sub>) ha una peculiarità: aumenta nella troposfera, dove è dannoso, e diminuisce nella stratosfera, dove è utile poiché agisce da riparo nei confronti delle radiazioni ultraviolette che provengono dal sole. In ambedue i casi la causa è sempre l'attività umana. Respirare ozono in concentrazioni superiori agli standard (200 microgrammi per metro cubo di aria come media oraria) provoca mal di testa, senso di affaticamento e di oppressione al petto; nei casi di maggiore esposizione ed in soggetti predisposti provoca attacchi d'asma; in genere l'ozono riduce l'attività respiratoria e quindi la capacità di sopportare sforzi fisici. Tutta la serie di sostanze che si forma nella catena di reazioni che alla fine produce O<sub>3</sub>, costituisce lo "smog fotochimico".

Il carbone è tuttora largamente usato come combustibile in quei paesi dove è abbondante. La combustione del carbone produce grandi quantità di materiale solido che si disperde nell'aria (il fumo) e di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), poiché il carbone è ricco di atomi di zolfo. Una centrale termoelettrica a carbone che brucia 1000 tonnellate di carbone al giorno, produce 40 tonnellate di SO<sub>2</sub>. Lo stesso accade, anche se in quantità minore, nella combustione dei derivati alto bollenti del petrolio (cosiddetto olio pesante). Nelle centrali termoelettriche che bruciano carbone od olio pesante, la maggior parte del SO<sub>2</sub> prodotto viene abbattuta dai fumi prima che essi siano immessi nell'atmosfera, facendo reagire SO<sub>2</sub> con una base e trasformandolo in solido. NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> sono i principali responsabili delle piogge acide. A causa della CO<sub>2</sub> (anidride carbonica) la pioggia è comunque leggermente acida, con pH=5,6. SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> sono ambedue acidi molto più forti e molto più solubili in acqua della CO<sub>2</sub> e, sebbene siano presenti nell'aria in quantità molto minori della CO<sub>2</sub>, fanno aumentare l'acidità dell'acqua piovana. La pioggia acida ha pH compreso fra 4 e 5, ma ci possono essere situazioni locali,



# Università Ca'Foscari Venezia

dovute ad esempio ad insediamenti urbani, centrali termoelettriche, industrie, che fanno abbassare il pH fino a valori di 2-3. Queste piogge acide hanno effetti devastanti sulla vegetazione, sulle costruzioni e sulla vita animale. Hanno anche altri effetti meno evidenti: ad esempio, infiltrandosi nel suolo possono reagire con specie insolubili (ad esempio, carbonati oppure idrossidi o ossidi di metalli) rendendole solubili in acqua e quindi trasportabili nella biosfera. Il 50% circa delle sostanze acide presenti nell'atmosfera si deposita sul suolo in forma anidra (cioè senza acqua), come polveri e gas più pesanti dell'aria. Quando entrano in contatto con l'acqua del suolo e con quella piovana i loro effetti si sommano a quelli della pioggia acida.

La combustione del gasolio nei motori diesel e le centrali termiche alimentate a gasolio o ad oli pesanti producono del particolato, le così dette polveri sottili, indicate come PM-10 e PM-2,5 (acronimo di particulate matter con diametro inferiore a 10 e 2,5 micron<sup>58</sup> rispettivamente). Da alcuni anni il PM-10 è utilizzato come indicatore affidabile per lo studio degli effetti dell'inquinamento sulla salute. Le polveri sottili sono miscugli di parecchie sostanze anche di origine diversa dalla combustione, come particelle carboniose, idrocarburi aromatici policiclici, metalli, molecole biologiche di origine vegetale, sali inorganici e polveri inerti. Queste polveri vengono respirate e si depositano nei polmoni. Sono considerate fra gli inquinanti atmosferici più nocivi per la salute. Le normative europee pongono un valore massimo di PM-2,5 di 25 microgrammi per metro cubo dal 01/01/2015 e di 20 microgrammi per metro cubo dal 2020; per il PM-10 un limite di 40 microgrammi per metro cubo come media nell'anno solare ed un valore giornaliero di 50 microgrammi per metro cubo da non superare più di 35 volte in un anno.

---

<sup>58</sup> 1 micron è pari a  $10^{-6}$  metri, o 1 millesimo di millimetro





## 2.1 L'effetto serra

L'effetto serra applicato all'atmosfera è quel fenomeno per cui alcuni gas presenti nell'atmosfera, soprattutto vapore d'acqua ( $H_2O$ ), che è più abbondante, trattengono parte del calore emesso dal suolo per irraggiamento nel suo processo di raffreddamento, provocando in questo modo un riscaldamento dell'atmosfera. Escludendo il vapore acqueo ( $H_2O$ ), i principali gas serra presenti nell'atmosfera sono: anidride carbonica ( $CO_2$ ), e, in misura minore, metano ( $CH_4$ ), ossido di azoto ( $N_2O$ ), ozono ( $O_3$ ). Questi ultimi, pur avendo capacità radiante da 20 a 200 volte superiore a quella dell'anidride carbonica, si trovano in concentrazioni da 200 a 1000 più piccole e quindi il loro effetto è minore. Un contributo importante è dato dagli idrocarburi clorurati.

La stima delle origini di gas serra secondo fonti citate dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2010) per settore produttivo è la seguente:

21,2%	Centrali termoelettriche
16,8%	Processi industriali
14,0%	Trasporto
12,5%	Uso di fertilizzanti e pesticidi in agricoltura
11,3%	Estrazione, raffinazione e distribuzione di combustibili
10,3%	Riscaldamento domestico e commerciale
10,4%	Combustioni di biomasse, rifiuti ed emissioni da allevamenti
3,4%	Discariche

Il contributo percentuale dei vari gas all'effetto serra, escluso l'acqua ( $H_2O$ ), è il seguente:

56,4%	Diossido di carbonio o anidride carbonica ( $CO_2$ )
16,3%	Metano ( $CH_4$ )
11,6%	Alogenuri alchilici
10,2%	Ozono ( $O_3$ )
5,4%	Ossidi di azoto ( $NO_x$ )



# Università Ca'Foscari Venezia

Anche se le percentuali riportate possono variare di qualche unità a seconda delle fonti da cui sono ricavate, può essere sorprendente notare come l'agricoltura e l'allevamento del bestiame diano un contributo percentuale all'immissione dei gas serra confrontabile a quello delle centrali termoelettriche, secondo i dati riportati. Ciò è dovuto alla CO<sub>2</sub> prodotta dalla deforestazione per ottenere terreni agricoli e dalla combustione degli scarti delle colture, all'utilizzo di pesticidi derivati da sostanze definite alogenuri alchilici e arilici, alla decomposizione dei fertilizzanti che produce N<sub>2</sub>O, a metano (CH<sub>4</sub>) emesso dai processi digestivi dei ruminanti e ai rifiuti degli animali da allevamento.

La spiegazione dell'effetto serra proposta è la seguente, secondo un modello ideale. La radiazione solare che non è riflessa all'esterno dall'atmosfera, la attraversa ed è in parte riflessa ed in parte assorbita dalla Terra, che di conseguenza si riscalda. Nel suo processo di raffreddamento, la superficie terrestre riemette radiazioni nella sfera infrarossa. I raggi infrarossi non si vedono ma si sentono perché riscaldano. Le radiazioni infrarosse irraggiate dal suolo, in parte attraversano l'atmosfera ed in parte sono assorbite dai gas serra, che le riemettono in tutte le direzioni: quelle dirette verso la Terra riducono la perdita di calore della superficie terrestre.

Il diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) non è prodotto soltanto dalla combustione dei combustibili fossili, ma lo è soprattutto dalla respirazione degli animali, degli esseri umani e delle piante. Il diossido di carbonio prodotto dalla respirazione è consumato nelle reazioni di sintesi attraverso il ciclo naturale del carbonio e quindi fa parte di un sistema che si può considerare d'equilibrio. E' stimato che la combustione dei combustibili fossili produca circa 34 miliardi di tonnellate per anno di diossido di carbonio. Malgrado questa sia una piccola frazione di CO<sub>2</sub> immesso complessivamente nell'atmosfera, la maggior parte di esso non viene eliminata nel ciclo naturale del carbonio e si accumula nell'atmosfera. L'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera provocherebbe un progressivo aumento della temperatura terrestre con conseguente alterazione del clima. L'atmosfera terrestre sarebbe destinata a riscaldarsi con l'aumento di CO<sub>2</sub>. Il



# Università Ca'Foscari Venezia

fenomeno è in realtà meno semplice, sia perché una naturale percentuale di gas serra non è formata da CO<sub>2</sub>, sia anche perché la Terra è un sistema dinamico e la variazione di un parametro può innescare altri processi che potrebbero opporsi oppure anche favorire variazioni climatiche.

In riferimento al problema del riscaldamento globale, si è tenuta di recente la conferenza sui cambiamenti climatici sotto l'egida delle Nazioni Unite a Parigi nel 2015, cui hanno partecipato i rappresentanti di 196 nazioni. E' stato prodotto un protocollo d'intesa, che doveva essere ratificato entro il 2016 da almeno il 55% delle nazioni partecipanti, che rappresentino il 55% dei gas serra emessi su scala globale. Se ratificato, questo protocollo d'intesa dovrà entrare in vigore nel 2020 ed impegnare i paesi aderenti a porre in atto tutte le azioni possibili affinché l'aumento di temperatura entro la metà di questo secolo non sia superiore a 2°C (possibilmente 1,5°C) rispetto all'epoca preindustriale. Per raggiungere questo obiettivo saranno necessari l'impiego di sistemi energetici più efficienti, l'aumento di quelli che non si basano sui combustibili fossili e risparmi energetici, nel senso di processi industriali ed organizzazione dell'attività umana che richiedano minore quantità di energia. L'innovazione scientifica è alla base di questo progresso tecnologico.



### 3. Considerazioni conclusive

Dalla rassegna di articoli esaminata probabilmente non si riescono a trarre risultati empirici univoci sul tema oggetto di disamina, la convergenza del reddito e dell'inquinamento, o della crescita e dell'inquinamento, nel significato che gli autori danno al termine convergenza, non solo per le diversità di esiti degli studi, ma anche per le premesse da cui questi partono. Gli studi si ripercorrono spesso l'un l'altro e tendono ad avvallarsi, ma la domanda che sorge è se essi siano attendibili ed i metodi fondati, validamente utilizzabili, ripetibili e dimostrabili. Per chi scrive e chi legge la domanda è anche se essi siano condivisibili e se costituiscano valido metodo di studio per la conoscenza della realtà. Personalmente trovo difficoltà nel considerare i risultati degli articoli reperiti come dati affidabili, in quanto derivanti da metodi utilizzati che per lo più mi appaiono non validamente fondati, controversi, minati da una certa oscurità e mancanza di chiarezza, oppure venati di assurdo. In breve riassumerò alcune questioni che mi pongono per lo studio.

Per me è piuttosto discutibile la premessa della cosiddetta "teoria neoclassica" della crescita, fatta a partire dalla funzione di produzione che viene ridotta a sola funzione del capitale pro capite, a volte con esponente alpha, di derivazione dalla funzione di produzione Cobb Douglas. Non mi soffermerò qui su questo aspetto. Da una parte questo metodo di procedere semplifica le operazioni, ma probabilmente non rappresenta la realtà e la funzione del prodotto in maniera corretta e porta a risultati non esatti o corrispondenti alla realtà. Ugualmente mi sorgono dubbi nel mettere insieme la funzione di utilità delle preferenze individuali degli individui con la funzione di produzione e forse improbabili, incongruenti vincoli dei differenziali del capitale per lavoratore. La questione non sembra ben posta ed il problema non sembra ben inquadrato, anche perché mette insieme funzioni diverse, i cui termini e variabili possono non essere intercambiabili. Ci si può chiedere quale sia il fine dell'ottimizzazione della funzione di utilità, perché deva essere sottoposta al vincolo definito dell'accumulazione del capitale, e se da questa possano essere tratte le



# Università Ca'Foscari Venezia

conseguenze presentate negli articoli esaminati, fra cui ricavare valori di ottimo e di stato stazionario per tutte le variabili di interesse (capitale, inquinamento, spese di abbattimento dell'inquinamento, consumo, prodotto, con unità di misura delle variabili la quantità per lavoratore). Non è detto che l'economia stia percorrendo un sentiero ottimo e che l'ottimo, come soluzione preferibile, coincida con dei valori massimi e con la situazione di stabilità del sistema, a cui i vari paesi convergerebbero. Da notare che la massimizzazione od ottimizzazione viene ottenuta con metodo Hamiltoniano e con passaggi per le condizioni di ottimo non sempre ricostruibili. Per la massimizzazione non viene utilizzata l'equazione Lagrangiana, che ritengo metodo preferibile e con derivazioni e passaggi più chiari.

Di fatto vari test sembrano costruiti sul risultato che si vuole dimostrare, più che fondati su basi consolidate e produrre risultati coerenti, consequenziali, con metodi comprensibili. Questo può essere notato nel cercare in molti modi di catturare nelle equazioni di regressione le diversità dei paesi e dei momenti temporali, effetti specifici, variabili condizionanti la convergenza, per ricondurre nell'alveo della convergenza quello che in realtà differisce, se non diverge. Non ho tratto conclusioni personali se sussista o meno convergenza ed in che campione o area di paesi od in che periodi. Tendenzialmente può darsi che i redditi e le emissioni di alcuni paesi si avvicinino, ma non è detto che andremo incontro all'uniformità, nonostante i fenomeni della globalizzazione e della crescente industrializzazione di alcuni paesi in via di sviluppo, o della maggiore crescita del prodotto in paesi non tradizionalmente ricchi o industrializzati.

Ammesso che la convergenza sia misurabile da una equazione, che tuttavia negli studi si fa sempre più complessa, le procedure per giungere ad una stima esatta non sembrano per lo più verificate, giustificate, dimostrate, controllabili e spesse volte anche comprensibili. Ad esempio, metodo spesse volte usato è quello della così detta normalizzazione dei dati del reddito e delle emissioni rispetto alla media del campione, cioè la divisione dei singoli dati dei paesi per la loro rispettiva media nel campione. Non so se i risultati possano essere interessanti, ma di fatto la media della somma di tutti i dati diviso la media è sempre uguale ad uno, ed il



# Università Ca'Foscari Venezia

dato potrebbe non essere indicativo di qualcosa di obiettivo. Il metodo viene utilizzato per valutare la differenza rispetto alla media, ma la somma di queste differenze in media è zero. Sorge il dubbio che, dividendo per la media, i risultati possano essere distorti nelle regressioni. Inoltre la differenza rispetto alla media dei singoli dati, spesso calcolata tramite rapporto dei singoli dati rispetto alla media, viene indicata ed utilizzata come indicatore della varianza rispetto alla media, mentre la varianza è pari alla sommatoria della differenza dei dati singoli meno la media al quadrato, che è misura differente, ma più consistente e non distorta in econometria. Lo stesso rapporto della variabile rispetto alla media fra i vari paesi del campione viene indicato come valore che esprime la crescita della variabile inquinamento o crescita del Pil.

Altro esempio potrebbe essere quello dell'uso del logaritmo dell'indice del tempo nell'equazione della stima della convergenza del log t test, utilizzato come variabile il cui coefficiente stesso stabilirebbe del verificarsi della convergenza medesima. Non è di diretta comprensione perché calcolare il logaritmo di un dato anno nel periodo preso in esame, e come trarre da questo conclusioni sulla convergenza o meno. Il tempo viene considerato in pratica variabile sulla quale compiere operazioni matematiche.

Problemi sull'attendibilità dei risultati mi sorgono per i metodi di stima semiparametrici e non parametrici, ritenuti più flessibili delle stime con il metodo dei minimi quadrati ordinari. Non è chiaro se la dote della maggior flessibilità risieda nella possibilità di ritrovare convergenza laddove il metodo tradizionale dei minimi quadrati ordinari non lo consentirebbe. Di fatto non è chiaro il tipo di calcolo che venga eseguito con metodi semiparametrici e non parametrici, e come deva essere considerato il risultato, se, ad esempio, tutta la differenza nella regressione su vettori senza coefficienti venga ricompresa nel termine di errore. Questi metodi rifiutano la presenza di coefficienti, ma la prova della convergenza, assoluta o condizionata, viene fornita, nei modelli presentati, dal segno del coefficiente. Non è chiaro che tipo di prova sia, mancando il coefficiente. Personalmente fatico a pensare a questi metodi e risultati come metodi e risultati affidabili e controllabili o definibili con precisione, né mi è chiaro come possa



# Università Ca'Foscari Venezia

essere considerato o qualificato l'eventuale risultato.

L'esito, che pure in talune regressioni viene ritrovato, del test di beta-convergenza, con il coefficiente beta di segno negativo nell'esperire la regressione nell'equazione con il tasso di crescita delle emissioni inquinanti al tempo  $t$  (o il tasso di crescita del Pil al tempo  $t$ ) posto uguale ad una costante o intercetta meno il coefficiente beta che moltiplica il livello delle emissioni nel tempo iniziale del periodo più eventuali variabili esplicative, più un termine di errore, può essere indice di cause e fattori diversi rispetto alla conclusione di convergenza delle emissioni fra paesi diversi. Il segno negativo del livello iniziale di emissioni rispetto alla crescita delle emissioni può essere giustificato da crescita negativa delle emissioni, cioè da diminuzione delle emissioni nel tempo, anche a seguito di diverse politiche in tal senso. Il segno negativo del coefficiente beta può cioè non attestare la presenza di convergenza delle emissioni di paesi diversi verso un unico e comune stato stazionario, ma semplicemente rappresentare una relazione negativa rispetto alla variabile dipendente. Non è chiaro inoltre come avvalorare la presenza di beta-convergenza con test semiparametrici o non parametrici, laddove in questi non vi è come risultato un parametro beta che moltiplica il livello iniziale delle emissioni, né un parametro che moltiplica il tasso di crescita del reddito od il livello iniziale del reddito, in quanto come metodo rifiutano il modello parametrico.

Non è sempre chiaro, e per me non condivisibile, come venga calcolato il tasso di crescita delle variabili, dal reddito all'inquinamento. In ogni caso non si tratta di crescita percentuale, come potrebbe essere comunemente conosciuta. Spesso viene utilizzato il logaritmo del rapporto del reddito o delle emissioni inquinanti pro capite in due momenti differenti, per lo più con il momento finale al numeratore ed il momento iniziale al denominatore, o la sottrazione del logaritmo della variabile emissioni di inquinamento meno il logaritmo delle emissioni inquinanti nel momento  $t$  finale. Talvolta vengono usate espressioni di emissioni pro capite divise la media delle emissioni. Sono tutte formulazioni che non hanno direttamente a che fare con il concetto proprio di crescita, misurata percentualmente rispetto ad un dato periodo di tempo.



# Università Ca'Foscari Venezia

Sul versante delle motivazioni nel compiere un'indagine sulla convergenza delle emissioni e del reddito, se alcuni autori leggono la presenza di convergenza come un obbligo all'impegno comune fra i paesi i cui valori convergono, un obbligo pesato dalla misura pro capite per lavoratore delle emissioni, di fatto interrogarsi sulle relazioni fra reddito e inquinamento porta a porsi il problema del miglioramento della qualità ambientale e degli sforzi possibili in questa direzione. Gli studi sulla relazione ad U inversa fra inquinamento e reddito sembrano dare per lo più una visione ottimistica del rapporto fra crescita economica ed ambiente: all'aumentare del reddito l'inquinamento, prima aumenta, poi diminuisce e la crescita economica potrebbe portare ad un miglioramento delle condizioni ambientali. Secondo alcuni autori, tuttavia, nel momento temporale attuale, l'inquinamento in molti paesi è sul lato crescente della curva di Kuznets Ambientale e sembra che l'inquinamento sia destinato di fatto ad aumentare a livello mondiale. La Curva di Kuznets Ambientale, tuttavia, esprime la relazione statica tra un determinato livello di reddito ed il corrispondente livello di inquinamento in vari paesi. Manca, di fatto, di qualsiasi riferimento temporale, in quanto il percorso della curva dapprima crescente per più bassi livelli di reddito e poi decrescente per più alti livelli di reddito, non esprime l'andamento nel tempo di reddito ed inquinamento per i paesi considerati. Altra considerazione che si può trarre è che se, nell'ipotesi di convergenza, le economie con emissioni più basse aumentano maggiormente le loro emissioni e le economie con emissioni più alte aumentano meno le loro emissioni, si è in presenza di emissioni che aumentano comunque, anche se i paesi si trovassero in sentieri convergenti o si dovesse verificare l'ipotesi di convergenza di emissioni ad uno stato stazionario. Di fatto credo che si dovrebbe cercare di ridurre le emissioni e su questo il contributo della scienza e della tecnologia penso possa essere importante.

Come importante credo sia la comprensione dei fenomeni. Avrei cercato statistiche descrittive all'interno degli studi considerati per avere un'idea dei fenomeni, dell'ordine di grandezza, dell'andamento nel tempo e dell'estensione geografica. I grafici riportati dagli autori, tuttavia, non riportano dati semplici, ma risultati di operazioni complesse fra le variabili, in cui le equazioni sono esiti di





# Università Ca'Foscari Venezia

processi trasformativi sui dati e gli elementi e le variabili delle regressioni vengono spesso manipolati e modificati. Non so quindi come valutare il risultato grafico riportato rispetto alla realtà. Le equazioni di regressione, inoltre, spesso contengono molte variabili sommate e molte variabili dummy, delle quali non è chiaro l'effetto ai fini della consistenza della regressione e della veridicità della rappresentazione dei dati.

Col tempo, negli studi più recenti, sembra che i modelli e le equazioni si complichino, in modo non sempre lineare e comprensibile. Le elasticità spesso vengono espresse con esponenti, come pure i tassi di crescita, anche se, una volta applicati, non esprimono il valore della variabile in un dato momento  $t$  in cui si voglia calcolarla, rispetto al proprio tasso di crescita. Per computare gli effetti negativi dell'inquinamento vengono a volte aggiunti esponenti o moltiplicate le variabili per costanti od eseguite somme o sottrazioni fra costanti che ne diminuiscono il valore in termini di benessere e di Pil. Serie di costanti o tassi di crescita vengono racchiusi in un simbolo unico e quest'ultimo spesso diviene esponente, per poi trasformarsi in addendo sommato o sottratto, in un processo che pur usando misure logaritmiche non è sempre trasparente, mentre le costanti spesso sostituiscono equazioni complesse.

Interrogandosi sulla conoscenza in più che uno studio porta, la speranza è di recare contributo ad una discussione costruttiva, seppure col vaglio critico di non dare le cose per scontate e di dubitare di ciò che non è adeguatamente motivato, spiegato, dimostrato, giustificato. A volte, su temi che vengono considerati importanti, la discussione si ferma nel portare punti di vista controversi e non sempre accettati. Il tentativo del presente studio è di cercare chiarezza e considerare posizioni diverse, per valutare se i filoni di ricerca intrapresi siano proficui.

In merito all'inquinamento ed alla questione ambientale molto è stato scritto: gli argomenti si rincorrono e si oppongono. Il fatto che il problema dell'ambiente e nel caso molto specifico dello studio dell'inquinamento e delle emissioni dell'aria, siano temi sentiti, forse non dipende solo dal fatto di essere come economia nella parte discendente della Curva di Kuznets Ambientale, in cui dopo aver raggiunto



# Università Ca'Foscari Venezia

un determinato livello di reddito ci si pone il problema ambientale e si cerca di diminuire l'inquinamento, e forse non è solo questione di coscienza ambientale, ma deriva dal fatto che il problema ambientale esiste davvero e si è manifestato nella sua gravità maggiormente negli ultimi 60 anni circa, a giudicare dagli scritti sull'argomento. Ci si può chiedere se l'aria che respiriamo è buona e la mia impressione è che non sia molto buona; di sicuro non è ottima. E' anche solo il sentire l'aria sulla pelle che porta ad approfondire, con l'opinione che dobbiamo fare molto per migliorare lo stato dell'ambiente.



Università  
Ca'Foscari  
Venezia

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Acar S., Lindmark M., “Periods of converging carbon dioxide emissions from oil combustion in a pre-Kyoto context”, in “Environmental Development”, 2016, 19, pp. 1-9;
- 2) “Air Pollution Consultant”, 2009, “EU Greenhouse Gas Emissions Continue to Decrease” Vol. 19, n. 5, 1.1-1.4;
- 3) “Air Pollution Consultant”, 2011, “U.S. Greenhouse Gas Emissions in 2009” Vol. 1, n. 5, 1.9-1.15;
- 4) “Air Pollution Consultant”, 2013, “European Union Pollutant Emissions Trends, 1990-2010” Vol. 23 n. 1, 1.1-1.6, Aspen Publishers Inc.;
- 5) Aldy J.E., “Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?”, in “Environmental and Resource Economics”, 2006, 22, pp. 533-555;
- 6) Anderson T.W., Goodman L.A., “Statistical inference about Markov chains”, in “Ann. Math. Stat.”, 1957, 28(1), pp. 89-110;
- 7) Arellano M., Bond S., “Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations”, in “Rev. Econ. Stud.”, 1991, 58 (2), pp. 277;
- 8) Barassi M.R., Cole M.A., Elliott R.J.R., “The Stochastic Convergence Of CO2 Emissions: A Long Memory Approach”, in “Environmental Resource Economics”, 2011, 49, pp. 367-385;
- 9) Barro R.J., “Economic Growth in a Cross Section of Countries”, in “Quarterly Journal of Economics”, 1991, 106, pp. 407-443;
- 10) Robert J. Barro e Xavier Sala-i-Martin, “Convergence”, in “Journal of Political Economy”, 1992 Vol. 100 n. 2, pp. 223-251;
- 11) Bassetti T., Benos N., Karagiannis S., “CO2 Emissions and Income Dynamics: What Does the Global Evidence Tell Us?”, in “Environmental and Resource Economics”, 2013, 54, pp.101-125;



# Università Ca'Foscari Venezia

- 12) Baumol W.J., "Productivity Growth, Convergence, and Welfare: What the Long-run Data Show", in "American Economic Review", 1986, 76(5) pp. 1072-1085;
- 13) Bengochea-Morancho A., Higòn-Tamarit F., Martínez-Zarzoso I., "Economic Growth and CO2 Emissions in the European Union", in "Environmental and Resource Economics", 2001, 19, pp. 165-172;
- 14) Brock W.A., Taylor M.S., "Economic growth and the environment: A review of theory and empirics", in "Handbook of Economic Growth", 2005, Volume 1B, Edited by Aghion P., Durlauf S.N., Elsevier B.V;
- 15) Carson R.T., Jeon Y., McCubbin D.R., "The relationship between air pollution emissions and income: US data", in "Environment and Development Economics", 1997, 20, pp. 433-450;
- 16) Cass David, "Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation", in "Rev. Econ. Studies", 32 (July 1965), pp. 233-240;
- 17) De Oliveira G., Bourscheidt D.M., "Multi-sectorial convergence in greenhouse gas emissions", in "Journal of Environmental Management", 2017, 196, pp. 402-410;
- 18) Fox R., Taqqu M.S., "Large sample properties of parameter estimates for strongly dependent stationary Gaussian time series", in "Ann Stat", 1986, 14, pp. 517-532;
- 19) Grossman G.M., Krueger A.B., "Economic Growth and the Environment", in "The Quarterly Journal of Economics", 1995, 110, pp. 353-377;
- 20) Hsiao C., LI Q., Racine J.S., "A consistent model specification test with mixed categorical and continuous data", in "Journal of Econometrics", 2007, 140 (2), pp. 802-826;
- 21) Im K., Pesaran M. e Shin Y. (2002), "Test for Unit Roots in Heterogeneous Panels", in "Journal of Econometrics";
- 22) Jalil S.A., "Per Capita Carbon Dioxide Emission in the Developing Economies: Convergence or Divergence?", in "Journal of International Business, Economics and Entrepreneurship", 2016 Dec, Vol I, (1), pp. 1-8;



# Università Ca'Foscari Venezia

- 23) Koopmans Tjalling C., "On the Concept of Optimal Economic Growth", in "The Econometric Approach to Development Planning", Amsterdam, North Holland, 1965;
- 24) List J.A., "Have Air Pollutant Emissions Converged Among U.S. Regions? Evidence from Runit Root Test", in "Southern Economic Journal", 1999, 66(1), pp. 144-155;
- 25) Markandya A., Golub A., Pedroso-Galinato S., "Empirical Analysis of National Income and SO2 Emissions in Selected European Countries", in "Environmental and Resource Economics", 2006, 35, pp. 221-257;
- 26) Nguyen Van P., "Distribution Dynamics of CO2 Emissions", in "Environmental and Resource Economics", 32, 2005 pp. 495-508;
- 27) Nourry M., "Re-Examining the Empirical Evidence for Stochastic Convergence of Two Air Pollutants with a Pair-Wise Approach", in "Environmental Resource Economics", 2009, 44, pp. 555-570;
- 28) Ordàs Criado Carlos e Grether Jean-Marie (2010), "Convergence in CO2 per capita emissions. A robust distributional approach", Centre for Energy Policy and Economics (CEPE), Working Paper N. 70, February 2010;
- 29) Ordàs Criado C., Valente S., Stengos T. (2011) "Growth and pollution convergence: Theory and evidence", in "Journal of Environmental Economics and Management" 62 (2011) pp. 199-214;
- 30) Panopoulou Ekaterini e Pantelidis Theologos, "Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions", in "Environmental Resource Economics", 2009, 44 pp. 47-70;
- 31) Pedroni P., "Critical values for cointegration tests in heterogeneous panel with multiple regressors", in "Oxf. Bull. Econ. Stat.", 1999, 61, pp. 653-670;
- 32) Pesaran M.H., "A pair-wise approach to testing for output and growth convergence", in "J Econom", 2007, 138, pp. 312-355;
- 33) Phillips P.C.B., Sul D., "Dynamic panel estimation and homogeneity testing under cross section dependence", in "Econometr J", 2003, 6, pp. 217-254;
- 34) Phillips P.C.B, Sul D., "Transition modeling and econometric convergence tests", in "Econometrica", 2007, 75(6), pp. 1771-1855;



# Università Ca'Foscari Venezia

- 35) Quah Danny T., "Empirics for economic growth and convergence", in "European Economic Review", 40 (1996) pp. 1353-1375;
- 36) Racine J., Li Q., "Non parametric estimation of regression functions with both categorical and continuous data", in "Journal of Econometrics", 2004, 119 (1), pp. 99-130;
- 37) Ramsey Frank P., "A Mathematical Theory of Saving", in "Econ. J." 38, (December 1928) pp. 543-59;
- 38) Robinson P.M., "Gaussian semiparametric estimation of long range dependence", "Ann Stat", 1995, 23, pp. 1630-1661;
- 39) Xavier I. Sala-i-Martin, "Regional cohesion: Evidence and theories of regional growth and convergence", in "European Economic Review" (1996), 40, pp. 1325-1352;
- 40) Selden T.M., Song D., "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?", in "Journal of Environmental Economics and Management", 1994, 27, pp. 147-162;
- 41) Shimotsu K., Phillips P.C.B., "Local Whittle estimation of fractional integration and some of its variants", in "J Econom", 2006, 130, pp. 209-233;
- 42) Solow Robert M., "A Contribution to the Theory of Economic Growth", in "Quarterly Journal of Economics", 70 (February 1956), pp. 65-94;
- 43) Solow R.M., "Technical change and the aggregate production function", in "Rev. Econ. Stat.", 1956, 39, pp. 312-320;
- 44) Strazicich M. K. e List J. A., "Are CO2 Emissions Levels Converging Among Industrial Countries?", in "Environmental and Resource Economics", 24, 2003, pp. 263-271;
- 45) Westerlund J., Basher S.A., "Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data", in "Environmental Resource Economics", 2008, 40 pp. 109-120;
- 46) White H., "A heteroscedastic-consistent covariance matrix and a direct test for heteroscedasticity", in "Econometrica", 1980, 50, pp. 1-25;



Università  
Ca'Foscari  
Venezia

47) Xepapadeas A., "Economic Growth and the Environment", in "Handbook of Environmental Economics" Edited by Maler K.-G., Vincent J.R., 2005, Elsevier B.V..