



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.A. 2021/2022

Sessione di Laurea Marzo/Aprile 2022

Il mercato degli ETS: analisi empirica del loro impatto sulle emissioni di CO₂

Relatore:
Carlo Cambini

Candidato:
Arianna Alessi

Sommario

INTRODUZIONE	4
1 IL RISCALDAMENTO GLOBALE	6
1.1 Conseguenze e cause del riscaldamento globale	6
1.2 Principali negoziati sul clima	8
1.2.1 I limiti dello sviluppo	9
1.2.2 Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano	10
1.2.3 IPCC	10
1.2.4 UNFCCC.....	11
1.2.5 Protocollo di Kyoto.....	11
1.2.6 EU Emission Trading System	12
1.2.7 Accordo di Parigi.....	12
1.2.8 Green Deal	12
1.2.9 European Climate Law.....	13
2 STRUMENTI ECONOMICI PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI.....	14
2.1 Inquinamento ed esternalità	14
2.2 Soluzioni private alle esternalità negative	15
2.2.1 Teorema di Coase	16
2.2.2 Fusioni.....	18
2.3 Soluzioni pubbliche alle esternalità negative.....	18
2.3.1 Imposte pigouviane	19
2.3.2 Imposte sulle emissioni.....	20
2.3.3 Sistemi cap-and-trade	22
2.3.4 Sistemi command-and-control.....	24

2.4	Strumenti di Carbon Pricing	25
2.4.1	Definizione di Carbon Pricing	25
2.4.2	Confronto tra imposte sulle emissioni e schemi di emission trading	26
2.4.3	Problemi e sfide relative agli strumenti di Carbon Pricing	31
3	IL CARBON PRICING NEL MONDO	35
3.1	Emission Trading Systems	37
3.1.1	EU Emission Trading System.....	37
3.1.2	China National ETS.....	38
3.1.3	Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)	39
3.1.4	Korea Emission Trading System	40
3.1.5	New Zealand Emissions Trading Scheme	41
3.1.6	Mexico ETS	42
3.1.7	UK Emission Trading System.....	42
3.2	Carbon Taxes.....	44
3.2.1	British Columbia carbon tax	45
3.2.2	Finland carbon tax.....	45
3.2.3	Sweden carbon tax	46
3.2.4	Switzerland carbon tax.....	46
4	LETTERATURA	48
4.1	Emission abatement: Untangling the impacts of the EU ETS and the economic crisis	49
4.2	Can Emission Trading Scheme Improve Carbon Emission Performance? Evidence From China	51
4.3	Assessing the factors behind CO ₂ emissions changes over the phases 1 and 2 of the EU ETS: an econometric analysis	53
5	ANALISI DI REGRESSIONE	56

5.1	Costruzione dei modelli di regressione.....	57
5.1.1	Campione	57
5.1.2	Variabili.....	57
5.2	Effetto dell'introduzione di un ETS sulle emissioni di CO ₂	64
5.3	Effetto del prezzo delle quote di carbonio sulle emissioni di CO ₂	67
6	CONCLUSIONI	76
7	BIBLIOGRAFIA.....	78
8	SITOGRAFIA	81
9	APPENDICE	83
9.1	Costruzione del database.....	83
	RINGRAZIAMENTI.....	94

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico è uno dei temi attualmente più discussi a livello globale, sia da parte dei governi che da parte dei mass-media, arrivando a raggiungere anche le case dei semplici cittadini. Questo perché rappresenta una vera e propria emergenza che, se non gestita al più presto, può portare a conseguenze potenzialmente catastrofiche per il pianeta. Si è dunque voluto portare, attraverso questo lavoro di tesi, un contributo alla causa, seppure marginale.

L'obiettivo dell'elaborato è quello di svolgere un'analisi degli strumenti a disposizione delle autorità mondiali per contrastare le emissioni di gas serra in atmosfera, che sono una delle principali cause del riscaldamento globale. In particolare, ci si concentrerà sui sistemi cap-and-trade, anche detti Emission Trading Systems (ETS), ovvero dei mercati nei quali i Paesi coinvolti possono scambiarsi dei "*diritti di emissione*", che consentono loro di emettere un determinato quantitativo di gas serra (e non di più). I governi impongono un certo cap sulla quantità di diritti emessi, limitando così, di fatto, le emissioni totali nei Paesi aderenti al sistema. In questo elaborato si effettueranno delle analisi di regressione volte a verificare se i suddetti ETS abbiano contribuito in maniera significativa a ridurre il quantitativo di gas serra emessi nel periodo preso come riferimento per l'analisi.

La prima parte dell'elaborato si concentrerà sul tema del riscaldamento globale, dandone una definizione e spiegandone le possibili cause e le potenziali conseguenze; si andranno poi ad illustrare i principali concordati a livello globale legati a tale problematica.

Nel secondo capitolo saranno descritti tutti i principali strumenti economici a disposizione dei governi per contrastare l'inquinamento, spiegandone il funzionamento e l'impatto a livello macro economico.

Nel terzo capitolo il focus si sposterà sugli strumenti market-based, in particolare sui sistemi cap-and-trade, oggetto delle analisi di regressione, e sulle imposte sulle emissioni, anche dette Carbon Taxes. Verrà illustrata una panoramica sulla diffusione a livello mondiale di questi strumenti, andando poi a descrivere più nel dettaglio quelli ritenuti più importanti.

Il quarto capitolo si concentrerà sulla letteratura esistente riguardo all'efficacia degli Emission Trading System nella riduzione delle emissioni. In particolare, saranno illustrati tre studi ritenuti significativi per metodo e/o risultati ai fini delle analisi svolte in questa tesi.

Infine, nel quinto capitolo saranno svolte le analisi oggetto di questo elaborato. In prima battuta, si cercherà di esplorare, attraverso un'analisi di regressione con dati panel a effetti fissi, se esista una

correlazione tra l'introduzione di un Emission Trading System (rappresentata da una variabile dummy) e il livello di emissioni di CO₂, in modo da verificare se tale strumento sia stato efficace nella riduzione dell'inquinamento. Successivamente, si effettuerà una seconda analisi di regressione a effetti fissi per indagare la relazione tra i prezzi dei diritti di emissione all'interno di questi ETS e, nuovamente, il livello di emissioni inquinanti.

1 IL RISCALDAMENTO GLOBALE

1.1 Conseguenze e cause del riscaldamento globale

L'emergenza climatica causata dal crescente riscaldamento globale è ormai sotto gli occhi del mondo e non è più possibile ignorarla, è necessario agire subito e con decisione.

Il riscaldamento globale è definito dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) come un *“aumento combinato delle temperature dell'aria e della superficie del mare, mediate su tutto il mondo, lungo un periodo di 30 anni”*¹.

Esso ha una lunga serie di ripercussioni negative sulla biosfera, sulla salute e sulla sicurezza di tutte le specie viventi, ma anche su economia, agricoltura e turismo. Alcuni esempi di questi effetti sono:

- Scioglimento dei ghiacciai, specialmente ai poli. Ciò causa un innalzamento del livello del mare – secondo l'IPCC nel periodo dal 2005 al 2015 tale livello è cresciuto ad un ritmo di 3,6 mm all'anno – che genera enormi rischi per le popolazioni situate vicino alle coste;
- Riduzione della quantità di acqua dolce disponibile, poiché i ghiacciai contengono circa il 75% dell'acqua dolce globale;
- Rischi per le specie animali selvatiche e per i loro habitat per via del cambiamento delle temperature. Questo cambiamento causa migrazioni straordinarie e rischio di estinzione per diverse specie animali e vegetali;
- Eventi meteorologici estremi, come alluvioni e uragani, ma anche siccità e assenza di precipitazioni per lunghi periodi. Ciò si ripercuote, oltre che sulla salute e sulla sicurezza umana, anche sul settore agricolo e sull'economia in generale;
- Prosperità di specie animali come zanzare, meduse e parassiti, che danneggiano la vegetazione e aumentano il rischio di diffusione di malattie come la malaria;

Quelle elencate sono solo alcune delle possibili conseguenze del cambiamento climatico, ma quali sono i motivi scatenanti di tale innalzamento delle temperature?

¹ Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld, 2018: Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.*

Nonostante tra le cause del fenomeno vi siano anche eventi naturali come eruzioni vulcaniche, cambiamenti nell'orbita terrestre, aumento delle radiazioni solari e variazioni della tettonica terrestre, i dati evidenziano che la principale causa del riscaldamento globale è l'attività umana, in particolare le emissioni di gas serra in atmosfera. Secondo l'ultimo rapporto dell'IPCC, infatti, *“È inequivocabile che l'influenza umana abbia riscaldato l'atmosfera, l'oceano e la terra. [...] Gli aumenti osservati delle concentrazioni di gas serra ben miscelati (GHG) dal 1750 circa sono inequivocabilmente causati dalle attività umane. Dal 2011 (misure riportate in AR5), le concentrazioni hanno continuato ad aumentare nell'atmosfera, raggiungendo medie annuali di 410 parti per milione (ppm) per l'anidride carbonica (CO₂), 1866 parti per miliardo (ppb) per il metano (CH₄) e 332 ppb per il protossido di azoto (N₂O) nel 2019”*².

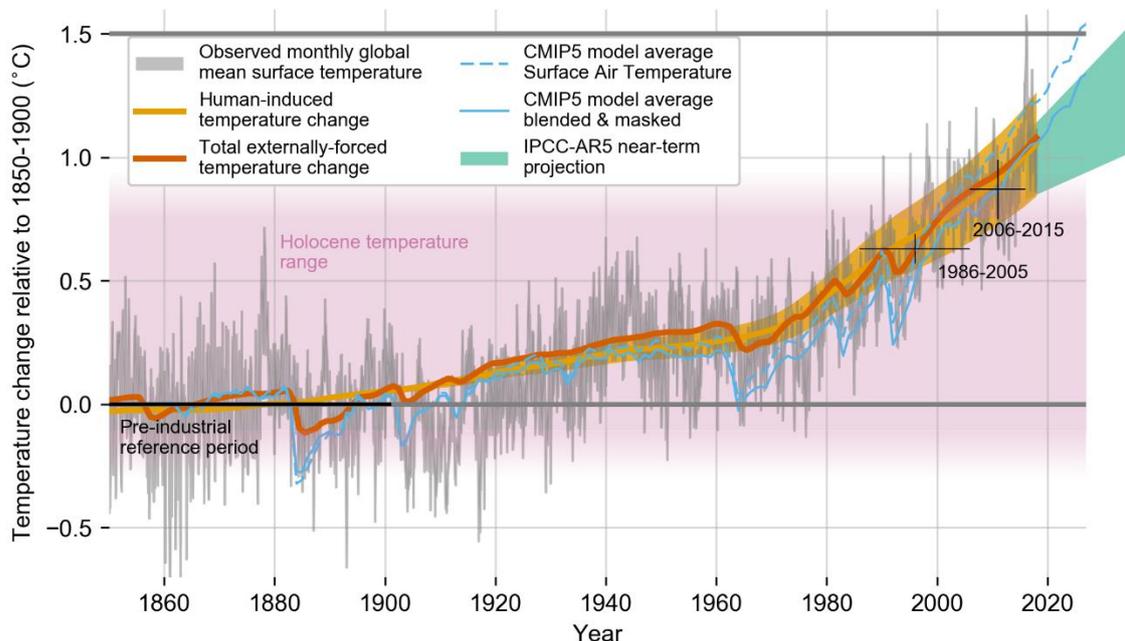


Figura 1.1 Evoluzione della temperatura globale superficiale media (GMST). Fonte: IPCC, 2018

Lo stesso report sottolinea poi che il principale motivo dell'aumento della temperatura terrestre sono le emissioni di gas a effetto serra (GHG), in particolare quelle di CO₂ (Figura 1.2); è quindi estremamente importante che i governi, le imprese e i singoli cittadini facciano un passo avanti verso la riduzione delle emissioni di gas inquinanti per garantire un futuro al nostro pianeta.

² IPCC, 2021: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

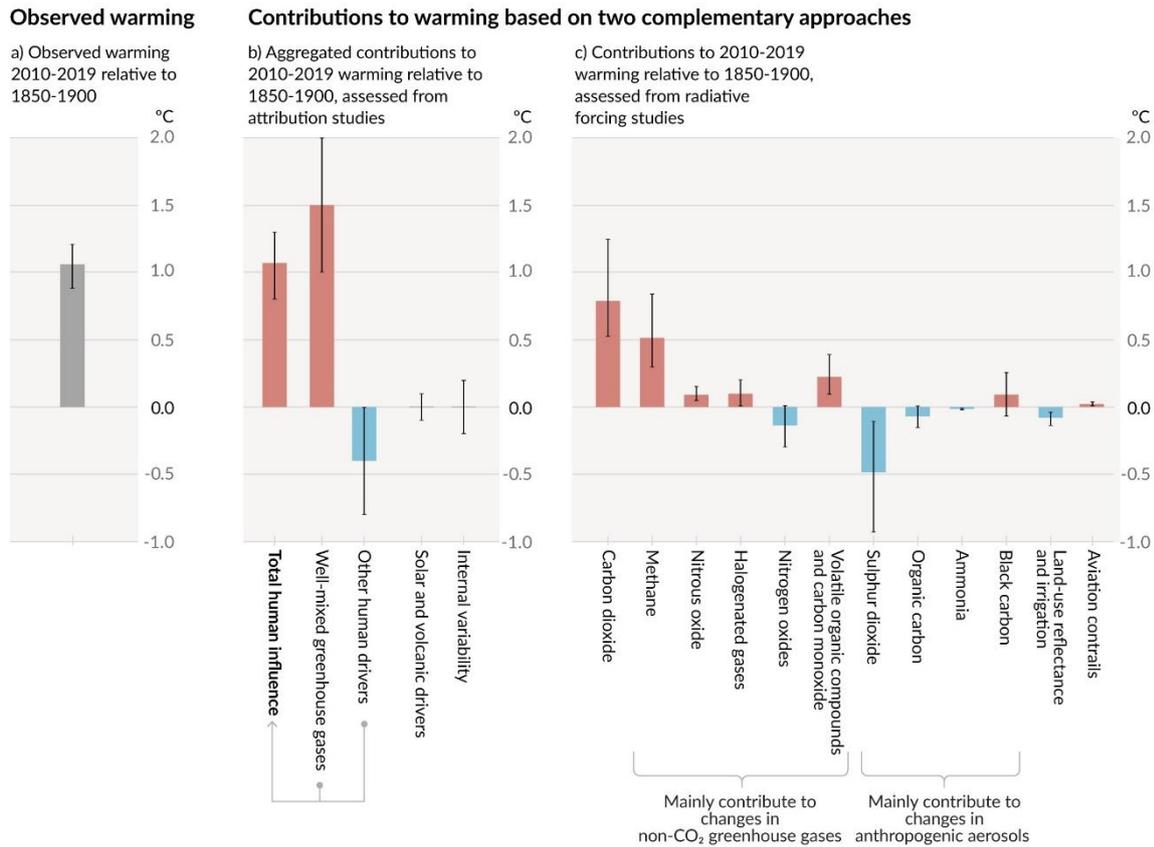


Figura 1.2 Cause del riscaldamento globale osservato tra il 2010 e il 2019. Fonte: IPCC, 2020.

1.2 Principali negoziati sul clima

Negli ultimi anni l'opinione pubblica ha cominciato a preoccuparsi dell'emergenza climatica sempre più frequentemente, ma il percorso che ha portato a questo livello di attenzione è stato tutt'altro che breve: i primi timidi segnali di preoccupazione in tal senso risalgono al 1972, con la pubblicazione del libro "i limiti dello sviluppo" – che approfondiremo nel prossimo paragrafo – il quale ha dato il via ad una serie di eventi, negoziati ed incontri improntati a mettere a punto piani ed azioni volte a ridurre l'impatto ambientale dell'uomo. Tuttavia, spesso le forze politiche coinvolte in tali negoziati non sono state sufficientemente incisive e i risultati continuano ad essere troppo blandi per poter invertire la tendenza ed evitare di raggiungere il cosiddetto "punto di non ritorno". Solo recentemente si è cominciato a percepire l'urgenza della problematica anche da parte dell'opinione pubblica, complici anche le manifestazioni "Fridays for Future", portate avanti da centinaia di migliaia di giovani in tutto il mondo, che hanno avuto una risonanza mediatica sempre più ampia.

Di seguito saranno illustrati i negoziati e gli eventi più rilevanti in merito all'emergenza climatica, dal 1972 ad oggi.

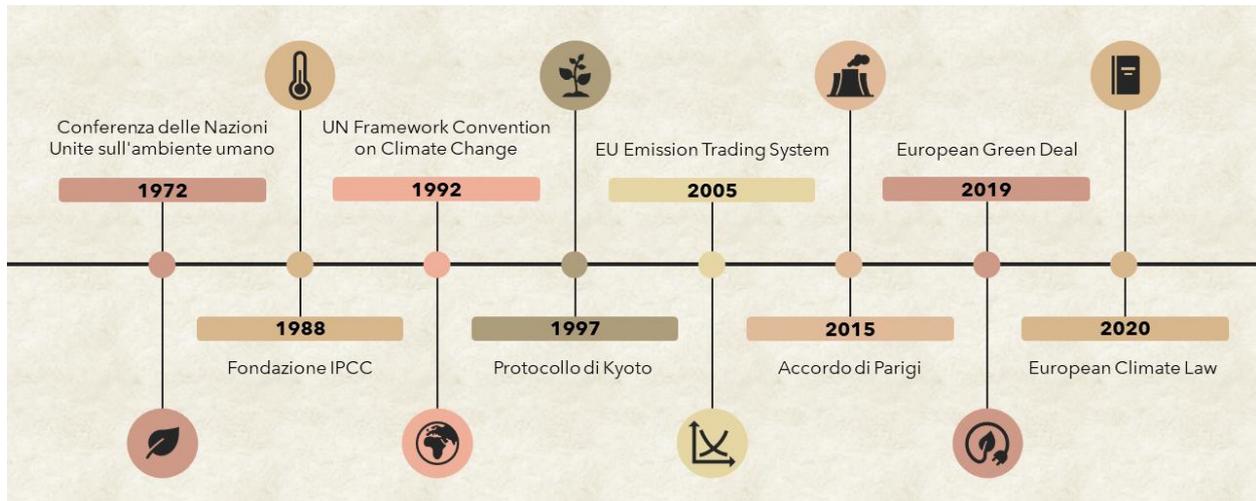


Figura 1.3 Timeline dei principali eventi e negoziati sul cambiamento climatico (1972-2020)

1.2.1 I limiti dello sviluppo

“I limiti dello sviluppo”, redatto e pubblicato nel 1972 da Donatella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers e William W. Behrens III, rappresenta la prima vera presa di coscienza riguardo alle conseguenze sociali ed ambientali che lo sviluppo tecnologico avrebbe portato negli anni a venire.

Si tratta di un rapporto redatto dal System Dynamics Group Massachusetts Institute of Technology (MIT) e commissionato dal Club di Roma, un'associazione fondata nel 1968, composta da un gruppo eterogeneo di attori che ha l'obiettivo di individuare, analizzare e tentare di risolvere le diverse problematiche dell'umanità, quali ad esempio il cambiamento climatico.

Il paper, attraverso una simulazione, espone tutte le possibili ripercussioni negative del rapido progresso tecnologico: ogni possibile scenario analizzato mostra una crescita economica esponenziale iniziale seguita da un repentino e drastico collasso del sistema, con un crollo delle risorse naturali, della crescita economica e una simultanea impennata del tasso di mortalità.

Gli autori espongono poi delle soluzioni per limitare il rapido deterioramento del tessuto sociale ed ambientale del pianeta, invitando i governi non a congelare lo status quo dello sviluppo economico,

ma a promuovere uno sviluppo sostenibile che possa coniugare le esigenze economiche dei vari Paesi con la necessità di proteggere l'ambiente e le risorse naturali.

1.2.2 Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano

La Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente Umano, tenutasi a Stoccolma tra il 5 e il 16 giugno 1972, fu il primo convegno delle Nazioni Unite a trattare di temi legati all'ambiente. All'incontro parteciparono 112 stati, ovvero la gran parte dei membri dell'ONU, composta, all'epoca, da 132 Paesi.

Lo scopo della conferenza fu quello di effettuare un esame generale dei problemi dell'ambiente e richiamare l'attenzione dei governi e dell'opinione pubblica sul tema, nonché cercare delle soluzioni a livello internazionale attraverso la cooperazione tra Paesi.

Al termine della conferenza, proprio per enfatizzare la necessità di uno sforzo collettivo e coordinato nel perseguire l'obiettivo della tutela dell'ambiente, fu emanata una dichiarazione di principi, composta da 26 punti, che sottolinea la finitezza delle risorse della Terra e la conseguente necessità di salvaguardarle. Tale dichiarazione, avente valore giuridico ma non vincolante, rappresenta la base su cui si svilupparono, in seguito, tutti gli accordi multilaterali in materia.

1.2.3 IPCC

Il gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) fu istituito nel 1988 dall'UNEP (United Nations Environment Programme) e dal WMO (World Meteorological Organization). Lo scopo di questo gruppo è quello di diffondere lo stato della conoscenza sul cambiamento climatico, sull'impatto sociale ed economico di quest'ultimo e sulle potenziali strategie di risposta a tale problematica, di modo che queste informazioni possano essere utilizzate dai governi per sviluppare politiche ambientali efficaci.

L'IPCC fornisce valutazioni periodiche sotto forma di Assessment Reports. Dal 1988, anno della fondazione, sono stati effettuati sei cicli di valutazione che hanno prodotto altrettanti report.

Il gruppo conta attualmente 195 Paesi membri e nel 2007 è stato insignito del Premio Nobel per la Pace congiuntamente ad Albert Arnold Gore Jr., politico e ambientalista statunitense.

1.2.4 UNFCCC

La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) è un trattato ambientale internazionale prodotto dalle Nazioni Unite nell’ambito della Conferenza sull’Ambiente e sullo Sviluppo, meglio nota come Summit della Terra o Conferenza di Rio, tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno 1992.

Scopo del trattato era quello di ridurre le emissioni di gas serra a livello globale entro un lasso di tempo sufficiente a consentire agli ecosistemi di adattarsi naturalmente al cambiamento climatico. L’accordo non poneva un limite obbligatorio per le emissioni ai singoli Stati, dunque non era legalmente vincolante, ma contemplava la possibilità che i Paesi firmatari adottassero, in apposite conferenze, dei *protocolli* per imporre limiti obbligatori alle emissioni di gas serra.

La Convenzione prevedeva, inoltre, la costituzione di diverse conferenze che si sarebbero tenute regolarmente negli anni successivi, chiamate *Conference of the Parties* (COP), la cui ultima edizione si è tenuta nel novembre 2021 a Glasgow.

La Convenzione fu ratificata da 154 Paesi, chiamati “Parti della Convenzione”, ed entrò in vigore nel marzo del 1994; ad oggi conta 197 parti firmatarie.

1.2.5 Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto, adottato nel 1997 ma entrato in vigore solamente nel 2005, rese operativa la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, imponendo dei limiti obbligatori alle emissioni di gas serra dei Paesi industrializzati e delle economie in transizione firmatarie della Convenzione.

Il Protocollo si basa sul principio della “responsabilità comune ma differenziata”, e riconosce che i Paesi più sviluppati sono i maggiori responsabili delle emissioni in atmosfera di gas serra; dunque, lega in maniera più stringente questi ultimi rispetto alle nazioni meno sviluppate.

Uno degli elementi fondamentali del Protocollo di Kyoto è l’istituzione di meccanismi di mercato flessibili basati sullo scambio di quote di emissione: ciò ha incoraggiato la nascita dei mercati del carbonio, a partire dall’EU Emission Trading System nel 2005.

1.2.6 EU Emission Trading System

L'EU Emission Trading System, lanciato nel 2005, è il primo sistema internazionale di scambio di quote di emissioni di gas a effetto serra mai creato. Esso rappresenta uno dei principali strumenti dell'Unione Europea atti a raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni ed è stato e continua ad essere il punto di riferimento per la creazione di tutti i successivi mercati del carbonio nel mondo.

Si tratta di un sistema "cap-and-trade", ovvero pone un tetto massimo alle emissioni di gas a effetto serra (GHG) che possono essere emesse da tutti gli impianti dei Paesi partecipanti; tale approccio consente di ridurre le emissioni nella maniera più conveniente ed economicamente efficiente.

Il funzionamento di tale meccanismo e la storia dell'EU ETS saranno esposti più approfonditamente nei Capitoli 2 e 3 del presente elaborato.

1.2.7 Accordo di Parigi

L'Accordo di Parigi è un trattato internazionale riguardante il cambiamento climatico. Fu siglato nel 2015 a Parigi, in occasione del COP21, ed entrò in vigore nel novembre del 2016 per i 196 Paesi che lo ratificarono.

Obiettivo del concordato era quello di contenere il riscaldamento globale entro i 2 °C in più rispetto all'era pre-industriale. Per raggiungere tale scopo il trattato prevedeva una serie di azioni sempre più ambiziose che i Paesi avrebbero dovuto comunicare ed implementare il prima possibile. Questi piani di azioni erano chiamati "Nationally Determined Contributions" (NDCs) e dovevano essere obbligatoriamente presentati dai Paesi firmatari entro il 2020; l'Accordo prevedeva anche l'ideazione, da parte delle nazioni partecipanti, di strategie di sviluppo a lungo termine a basse emissioni di carbonio (*long-term low greenhouse gas emission development strategies* o *LT-LEDS*).

L'Accordo rappresenta una pietra miliare del percorso verso la lotta al cambiamento climatico, in quanto primo accordo universale legalmente vincolante riguardante tale tema.

1.2.8 Green Deal

Il Green Deal Europeo è una strategia composta da un insieme di misure finalizzate a rendere la produzione di energia e lo stile di vita europeo più ecosostenibili e meno dannosi per l'ambiente.

Esso si presenta come una vera e propria “tabella di marcia” di azioni e investimenti futuri che hanno come scopo principale quello di limitare il riscaldamento globale entro il limite stabilito dall’Accordo di Parigi. Il patto è stato presentato nel dicembre del 2019.

Le misure discusse sono soprattutto nuove normative e investimenti mirati; tra queste vi è la definizione della *Legge sul Clima (European Climate Law)*, ovvero la prima legge quadro sul clima che ufficializza l’intenzione di azzerare le emissioni nette di gas a effetto serra nell’UE entro il 2050.

1.2.9 European Climate Law

La Legge Europea sul Clima fissa l’obiettivo *giuridicamente vincolante* della neutralità climatica dell’UE entro il 2050, ovvero l’azzeramento delle emissioni nette di gas a effetto serra. Pone, inoltre, un obiettivo intermedio di riduzione netta delle emissioni al 55% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030.

Altro importante aspetto della normativa è l’introduzione di un comitato consultivo scientifico europeo sui cambiamenti climatici, che ha il compito di fornire consulenza scientifica e produrre relazioni sulle misure prese dalla Commissione Europea.

La legge europea sul clima è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale il 9 luglio 2021 ed è entrata in vigore il 29 luglio 2021.

2 STRUMENTI ECONOMICI PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

2.1 Inquinamento ed esternalità

Le esternalità sono situazioni in cui l'attività di un soggetto economico – un consumatore o un produttore –, influisce sul benessere o sulla produzione di altri soggetti, senza che questi ultimi ricevano un indennizzo (o paghino un prezzo) pari al costo sopportato (o al beneficio ottenuto). Quando i soggetti terzi ricevono un beneficio si parla di esternalità positive, quando invece devono sopportare un costo si parla di esternalità negative.

Le esternalità sono una delle principali forme di fallimento di mercato, in quanto in tali situazioni i prezzi di mercato non riflettono il reale valore dei beni o servizi scambiati: chi genera l'esternalità, infatti, tiene conto solamente dei propri costi o benefici privati, e non dei costi o benefici sociali che genera. Questo fa sì che le quantità prodotte dal mercato non siano quelle che massimizzano il benessere sociale: nel caso di esternalità negative, poiché non si tiene conto del costo sociale generato (si dice che il costo non viene "internalizzato"), la quantità prodotta dal mercato è *maggiore* di quella socialmente ottima; nel caso delle esternalità positive, al contrario, poiché non si tiene in considerazione il beneficio sociale generato, la quantità prodotta è *inferiore* a quella socialmente ottima.

Analizzeremo ora più nel dettaglio il fenomeno delle esternalità negative, di cui le emissioni di gas serra sono un esempio emblematico.

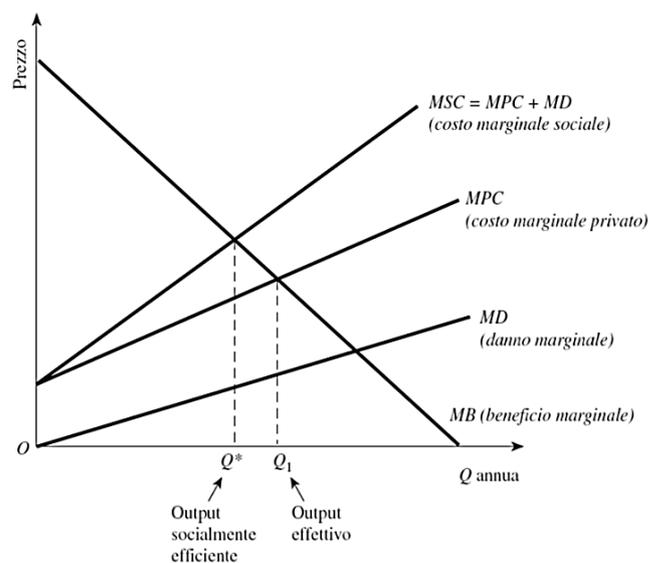


Figura 2.1 Esternalità negative. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

La rappresentazione grafica del funzionamento delle esternalità negative è illustrata in figura 2.1. La retta MB rappresenta il beneficio marginale del produttore, che diminuisce all'aumentare della quantità prodotta; la retta MPC rappresenta il costo marginale privato di produzione, che invece aumenta all'aumentare delle quantità. Il produttore, poiché non tiene conto dei costi sociali che genera, decide di produrre la quantità Q_1 , che è quella che eguaglia il suo costo marginale privato con il suo beneficio marginale, ovvero quella che massimizza i suoi profitti; la retta MD rappresenta invece il danno marginale sulla società generato dal produttore, che aumenta all'aumentare delle quantità – nel caso dell'inquinamento, più unità produco e più emissioni introduco in atmosfera, chiaramente –. La somma di MD e MPC è il costo marginale sociale (MSC), che è quello che va considerato per definire la quantità socialmente ottima che il produttore dovrebbe produrre per massimizzare il benessere collettivo. Come si vede in figura, la quantità socialmente ottima Q^* si trova in corrispondenza dell'intersezione tra MB ed MSC ed è inferiore a quella effettivamente prodotta. Ciò, come abbiamo detto, è dovuto al fatto che il produttore ha come obiettivo la massimizzazione del suo personale profitto; dunque, prende in considerazione nella sua funzione di utilità solamente i suoi costi privati: non *internalizza* il costo sociale che genera sulla collettività.

L'inquinamento è il più classico degli esempi di esternalità negativa: le imprese che emettono gas inquinanti durante i loro processi di produzione, nel decidere il loro output, considerano solamente i propri costi privati di produzione e non il danno ambientale che arrecano. Questo perché la disutilità generata sul benessere collettivo non ha un valore economico definito e non è rivelata da una transazione di mercato.

Nei prossimi paragrafi si andranno ad analizzare le principali soluzioni che sono state proposte per internalizzare i costi sociali delle esternalità negative e raggiungere così un equilibrio di mercato che consenta di produrre le quantità socialmente ottime.

2.2 Soluzioni private alle esternalità negative

In questo paragrafo si esporranno le due principali soluzioni *private* alle esternalità negative, ovvero quelle soluzioni che possono essere raggiunte dai soggetti economici coinvolti in maniera autonoma, senza l'intervento di autorità governative.

2.2.1 Teorema di Coase

Il premio Nobel per l'economia Ronald Coase pubblicò nel 1960 un paper intitolato "*The Problem of Social Cost*", nel quale sostiene che il problema delle esternalità negative e dei loro costi sociali sia causato dall'assenza di diritti di proprietà da assegnare correttamente agli agenti economici. In assenza di tali diritti, infatti, il mercato non riesce ad allocare le risorse in maniera efficiente e si genera un fallimento di mercato.

L'economista, criticando le soluzioni pigouviane che sostengono la necessità di un intervento dello Stato per correggere le esternalità – come vedremo nel prossimo paragrafo – afferma che gli agenti economici possono raggiungere un'allocazione efficiente delle risorse autonomamente, nel caso in cui sussistano le seguenti condizioni:

- I diritti di proprietà sui beni sono ben definiti ed allocati;
- Non vi sono costi di transazione;

Secondo Coase questa allocazione efficiente può essere inoltre raggiunta indipendentemente da come vengono inizialmente distribuiti i diritti di proprietà.

Per spiegare più efficacemente il cosiddetto "Teorema di Coase", vediamo un esempio pratico legato all'inquinamento: possiamo considerare due soggetti economici, ad esempio un'impresa che inquina ed un soggetto che subisce il danno ecologico causato dall'impresa; chiameremo questi due soggetti "inquinatore" e "vittima". Il bene su cui devono essere definiti ed allocati i diritti di proprietà è l'aria "pulita". Vedremo due possibili situazioni: il caso in cui questi diritti siano detenuti dall'inquinatore e il caso in cui vengano invece allocati alla vittima.

Diritti detenuti dall'inquinatore

In questo caso l'inquinatore detiene i diritti di proprietà sull'aria, perciò produrrà la quantità che massimizza il suo profitto ignorando il costo sociale che genera attraverso le sue emissioni. Tale quantità, come abbiamo visto nel paragrafo precedente, corrisponde alla quantità Q_1 (figura 2.1).

La vittima, per aumentare il suo benessere e indurre l'impresa a produrre la quantità ottima Q^* riducendo dunque il livello di emissioni, dovrà acquistare i diritti di inquinamento di quest'ultima. Il prezzo che dovrà pagare la vittima sarà un prezzo di equilibrio, che deriva dalle seguenti considerazioni:

- l'inquinatore non sarà disposto a ridurre la quantità prodotta a meno che il prezzo pagato dalla vittima non sia inferiore al profitto che l'impresa perde diminuendo l'output da Q_1 a Q^* ; Tale costo opportunità è pari a $MB - MPC$ (figura 2.1)
- allo stesso tempo, la vittima non sarà disposta a pagare un prezzo più alto rispetto al beneficio marginale che riceverebbe se l'impresa riducesse la quantità prodotta da Q_1 a Q^* ; Tale beneficio marginale è pari al danno marginale "risparmiato", ovvero MD (figura 2.1)

Eguagliando le due quantità sopracitate si perviene all'equilibrio di mercato che consente di produrre la quantità socialmente ottima Q^* ; infatti:

$$MD = MB - MPC$$

$$MB = MD + MPC$$

Sapendo che:

$$MSC = MD + MPC$$

Si ottiene:

$$MB = MSC$$

Che è proprio la condizione di equilibrio per cui la quantità prodotta Q è pari a Q^* (vedi figura 2.1).

Dunque, le due parti raggiungono un accordo e viene prodotta la quantità ottima Q^* , senza che sia necessario l'intervento dello Stato.

Diritti detenuti dalla vittima

In questo caso i diritti di proprietà sull'aria appartengono alla vittima, dunque l'inquinatore deve pagare per poter inquinare. In tal caso il prezzo di equilibrio si raggiunge a partire dalle seguenti considerazioni:

- la vittima è disposta a vendere parte dei suoi diritti e consentire all'impresa di emettere gas nocivi fino ad un livello massimo, tale per cui il beneficio ottenuto dalla "vendita dei diritti" (ovvero il prezzo pagato dall'impresa per inquinare) è pari al danno marginale che la vittima subisce dall'inquinamento, ovvero MD ;
- L'inquinatore, invece, è disposto a pagare per inquinare solo nella misura in cui il prezzo non supera i profitti che ottiene producendo; tali profitti equivalgono a $MB - MPC$;

Seguendo i medesimi passaggi effettuati nel caso precedente, si perviene allo stesso risultato: un equilibrio di mercato in cui la quantità prodotta è quella socialmente ottima (Q^*).

Dunque, se i diritti di proprietà sono ben delineati ed allocati e i costi di transazione sono nulli, si otterrà la soluzione socialmente ottima indipendentemente da chi detiene i diritti di proprietà. Tale risultato, noto appunto come “Teorema di Coase”, implica che, se sussistono le due condizioni sopracitate, non è necessario l'intervento dello Stato per far sì che si raggiunga un equilibrio.

Tuttavia, le assunzioni su cui si basa la soluzione proposta da Coase sono estremamente stringenti e difficili da rispettare, rendendo la sua applicazione nel mondo reale molto difficoltosa. Per fenomeni estesi ed importanti quali l'inquinamento, infatti, vi sono milioni di attori coinvolti nelle potenziali transazioni di mercato e definire ed allocare i diritti di proprietà diventa estremamente complesso; inoltre, con un così grande numero di soggetti coinvolti, è molto difficile che i costi di transazione siano nulli, o perlomeno sufficientemente bassi da non scoraggiare le parti.

Nonostante ciò, il Teorema di Coase rimane un risultato fondamentale nell'ambito della mitigazione delle esternalità ed è la base da cui traggono ispirazione i sistemi cap-and-trade, meglio noti come Emission Trading Systems, che verranno approfonditi più avanti.

2.2.2 Fusioni

Per internalizzare il costo sociale delle esternalità, un altro possibile metodo che possono adottare i soggetti economici privati è quello di effettuare una fusione tra il soggetto che causa l'esternalità negativa e colui che la subisce. In tal modo la causa e la conseguenza dell'esternalità vengono assorbite da un singolo soggetto, che necessariamente è costretto a considerare il costo sociale generato come un costo privato, da momento che di fatto lo diventa.

Anche in questo caso la soluzione, per quanto teoricamente semplice ed efficace, diventa impraticabile quando il numero di attori coinvolti è molto grande, come nel caso del fenomeno dell'inquinamento, che ha un'estensione globale.

2.3 Soluzioni pubbliche alle esternalità negative

Per esternalità negative legate a fenomeni estesi come l'inquinamento, le soluzioni private risultano di difficile applicazione, come sottolineato in precedenza. Per arginare tali problematiche, visto il

gran numero di attori coinvolti e l'importanza del tema, è necessario l'intervento di autorità governative; dunque, le soluzioni pubbliche sono più efficaci e sono largamente diffuse nella pratica, come vedremo nei prossimi paragrafi.

2.3.1 Imposte pigouviane

L'economista Arthur C. Pigou propose una soluzione alle esternalità negative nel paper "*The Economics of Welfare*", pubblicato nel 1920. Egli sosteneva che per internalizzare i costi sociali delle esternalità fosse necessario l'intervento dello Stato, attraverso l'imposizione di un'imposta sulla produzione degli agenti economici responsabili delle esternalità negative.

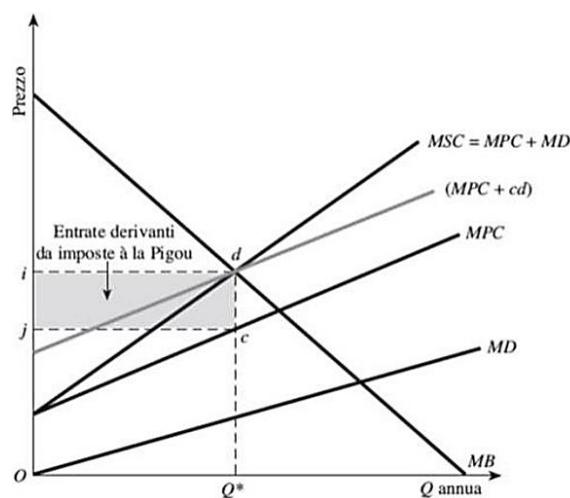


Figura 2.2 Funzionamento delle imposte pigouviane. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

Il funzionamento di tale tassa può essere rappresentato graficamente come in figura 2.2: l'imposta agisce innalzando la curva di costo del soggetto che genera un'esternalità negativa (MPC) di una quantità pari al danno marginale prodotto in corrispondenza del livello di output socialmente efficiente (segmento cd in figura 2.2); la nuova curva di costo ($MPC + cd$) interseca la curva di beneficio marginale (MB) proprio nel punto di ottimo sociale.

Con l'applicazione di una tassa pigouviana, dunque, il soggetto che genera un'esternalità è costretto a considerare il costo sociale che genera come se fosse un costo privato di produzione e riduce le quantità prodotte per massimizzare il suo profitto.

La soluzione di Pigou presenta delle limitazioni che rendono complessa la sua applicazione nel mondo reale. È infatti molto difficile quantificare economicamente il danno sociale prodotto da un'esternalità, specialmente se si tratta di fenomeni estesi come l'inquinamento, il che genera

problemi nel definire il corretto valore della tassa da applicare alla produzione dei soggetti che generano esternalità.

In ogni caso, sebbene sia quasi impossibile giungere al livello di produzione socialmente ottimo nel mondo reale, l'applicazione di imposte pigouviane porta comunque un notevole beneficio a livello di riduzione delle emissioni ed è una soluzione che è stata spesso adottata dai governi per limitare l'inquinamento.

2.3.2 Imposte sulle emissioni

Le imposte pigouviane sono indubbiamente efficaci nella riduzione dell'inquinamento, ma non generano incentivi per le imprese a dotarsi di tecnologie innovative che consentano di limitare le emissioni senza dover necessariamente ridurre l'output.

Un possibile metodo per generare questi incentivi è quello di imporre una tassa non sull'output delle aziende, ma sulle loro emissioni di gas inquinanti. Questo tipo di imposta, chiamata anche *carbon tax*, è uno degli strumenti implementati seguendo il "*Polluter Pays Principle*" (PPP), ovvero "chi inquina paga", adottato e implementato dall'OECD nel 1972 al fine di allocare correttamente i costi dell'inquinamento e farli ricadere sui responsabili delle emissioni. Oltre alla carbon tax vi sono altri strumenti previsti per l'implementazione di tale principio, alcuni dei quali verranno trattati in questo elaborato nei prossimi paragrafi: trattasi dei *sistemi cap-and trade* e dei *sistemi command-and-control*.

Imponendo una tassa sulle emissioni anziché sull'output, le aziende saranno costrette ad internalizzare il costo sociale generato dall'inquinamento che producono, ma non solo: per evitare di dover ridurre il loro output, saranno incentivate ad implementare tecnologie a basse emissioni e migliorare la propria efficienza energetica in modo da ridurre, a parità di output, le emissioni generate, e di conseguenza diminuire l'impatto della carbon tax.

Per spiegare il funzionamento teorico delle imposte sulle emissioni, vediamo un esempio simile a quello del paragrafo 2.2.1, ma supponiamo che in questo caso vi siano due soggetti inquinatori, A e B, ed una vittima. Ipotizziamo che lo Stato imponga una tassa su ogni unità di CO₂ emessa dagli inquinatori; in questo modo si pone un incentivo affinché questi ultimi si adoperino per ridurre le loro emissioni.

Il valore di questa tassa deve fare in modo che A e B riducano le emissioni di una quantità che consenta di raggiungere l'ottimo sociale. Tale valore corrisponde al punto in cui il beneficio marginale della vittima dato dalla riduzione delle emissioni eguaglia il costo marginale totale che gli inquinatori devono sostenere per ottenere tale riduzione (punto e^* in figura 2.3).

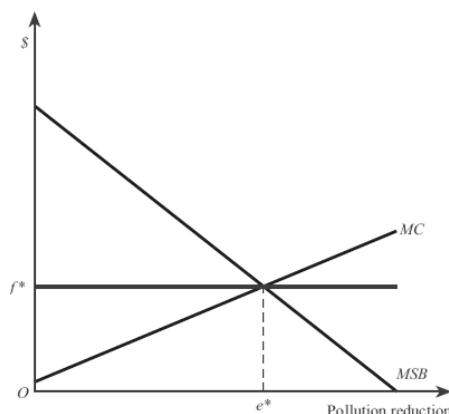


Figura 2.3 Riduzione di emissioni socialmente ottima. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

Il valore che deve avere l'imposta in questo caso è dunque f^* .

Supponiamo poi che il costo marginale di riduzione delle emissioni di A sia minore di quello di B, come illustrato in figura 2.4.

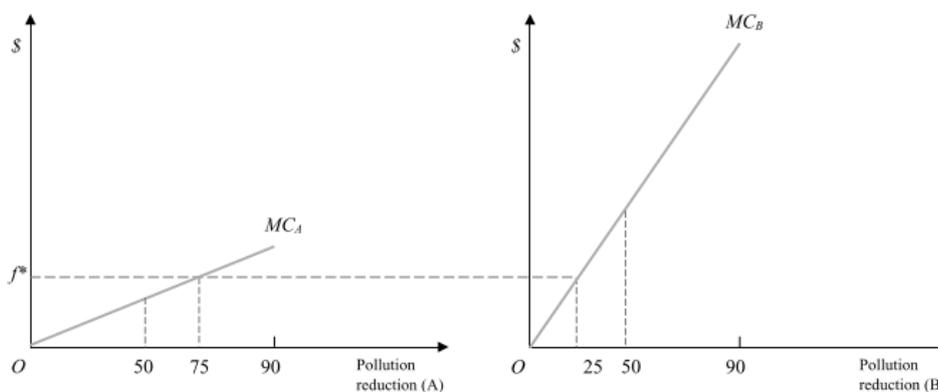


Figura 2.4 Curve di costo marginale di riduzione delle emissioni di A e B. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

Inizialmente, sia A che B emettono una quantità di gas inquinanti pari a 90, quindi in totale vengono immesse in atmosfera 180 unità. Supponiamo che la quantità di emissioni socialmente ottima, corrispondente al punto e^* in figura 2.3, sia pari a 80; ciò significa che, complessivamente, A e B devono ridurre le emissioni di 100 unità.

Lo Stato può ovviamente raggiungere tale risultato imponendo a entrambe le imprese di ridurre le emissioni di 50 unità, ma questa soluzione non sarebbe efficiente a livello di costi: per B il costo di

tale riduzione è molto più alto rispetto a quello di A. Se A riducesse le sue emissioni di un'unità in più mentre B le riducesse di un'unità in meno, si otterrebbe lo stesso risultato, ma ad un costo complessivo minore, e così via fino al punto in cui il costo complessivo è il minimo possibile. Tale risultato si raggiunge nel momento in cui il costo marginale di riduzione delle emissioni è uguale per A e per B ($MC_A = MC_B$), ovvero quando A riduce le emissioni di 75 unità mentre B le riduce di 25, e ciò può essere conseguito se lo Stato impone una carbon tax del valore di f^* , che corrisponde alla linea tratteggiata orizzontale in figura 2.4. In questo modo, infatti, ciascuna impresa ridurrà le sue emissioni fino al punto in cui il costo marginale della riduzione eguaglia il valore dell'imposta.

Le imposte sulle emissioni sono quindi uno strumento che, oltre ad essere efficace nel conseguimento della riduzione dell'inquinamento, fornisce anche i giusti incentivi all'implementazione di tecnologie green e innovative.

Come nel caso delle imposte pigouviane, tuttavia, si presenta il problema della definizione del valore della tassa: anche in questo caso il valore che consente di giungere all'ottimo è quello che rispecchia esattamente il danno economico generato dalle emissioni, che è tutt'altro che semplice da calcolare. Una possibile soluzione per tale problematica è stata proposta da Baumol e Oates (1971): anziché tentare di ricavare il valore socialmente ottimo dell'imposta sulle emissioni, si può imporre una tassa che consenta di raggiungere un obiettivo di riduzione dell'inquinamento che sia ritenuto socialmente accettabile dai governi, attraverso approssimazioni successive.

2.3.3 Sistemi cap-and-trade

Un'altra soluzione adottata dai governi seguendo il *Polluter Pays Principle* è l'introduzione dei sistemi cap-and-trade, anche detti Emission Trading Schemes (ETS). In questo caso le autorità, anziché prezzare l'inquinamento attraverso una tassa, impongono un tetto massimo di emissioni, detto "cap", che si riduce nel corso del tempo, ed emettono un numero di *permessi di emissione* – che danno diritto alle imprese di immettere in atmosfera un certo quantitativo di gas serra – tali da non superare il suddetto limite. I permessi vengono poi distribuiti alle imprese, gratuitamente o dietro pagamento, e si genera un mercato all'interno del quale le imprese possono scambiarsi i permessi liberamente in base ai propri costi di abbattimento e livelli attuali di emissioni. Se, ad esempio, un'impresa ha bassi costi di riduzione delle emissioni, può decidere di ridurle di un quantitativo maggiore rispetto a quello che consentirebbero i permessi che ha acquistato, e vendere i diritti di emissione rimanenti ad altre imprese; al contrario, se un'altra azienda ha dei costi di

riduzione molto alti e non dispone di sufficienti permessi per poter emettere quanto gli converrebbe, può acquistarne da altre imprese che hanno costi di riduzione più bassi. All'interno di questo mercato va a delinarsi quindi il prezzo delle emissioni attraverso la creazione di una domanda e di un'offerta di *tradeable permits*.

I diritti di emissione possono essere distribuiti dalle autorità in due modi: attraverso un'asta, oppure gratuitamente in base a diversi fattori, quali il rischio di carbon leakage (che vedremo più avanti), lo storico delle emissioni dei vari Paesi o in base a parametri di valutazione ben definiti, detti "*benchmark*", che si basano sul 10% di aziende che performano meglio all'interno di ciascun settore di riferimento. Le imprese che rientrano in questi parametri di valutazione ricevono tutti i permessi di cui hanno bisogno gratuitamente, mentre le altre imprese riceveranno meno permessi e saranno costrette ad acquistare quelli aggiuntivi di cui necessitano sul mercato. Questo secondo metodo di distribuzione dei permessi è detto *grandfathering*.

Il funzionamento teorico dei sistemi cap-and-trade può essere spiegato riprendendo l'esempio del paragrafo precedente. I soggetti coinvolti sono sempre la vittima e le due imprese A e B, con le medesime curve di costo viste in precedenza.

Supponiamo che il cap imposto dallo Stato sia pari a 80 unità di emissioni, come nel caso già visto in precedenza; il livello di riduzione delle emissioni che ciascuna delle due imprese dovrà raggiungere dipende dal numero di permessi che possiede. Tuttavia, come già anticipato dal teorema di Coase, la soluzione socialmente ottima può essere raggiunta indipendentemente da come vengono distribuiti i permessi.

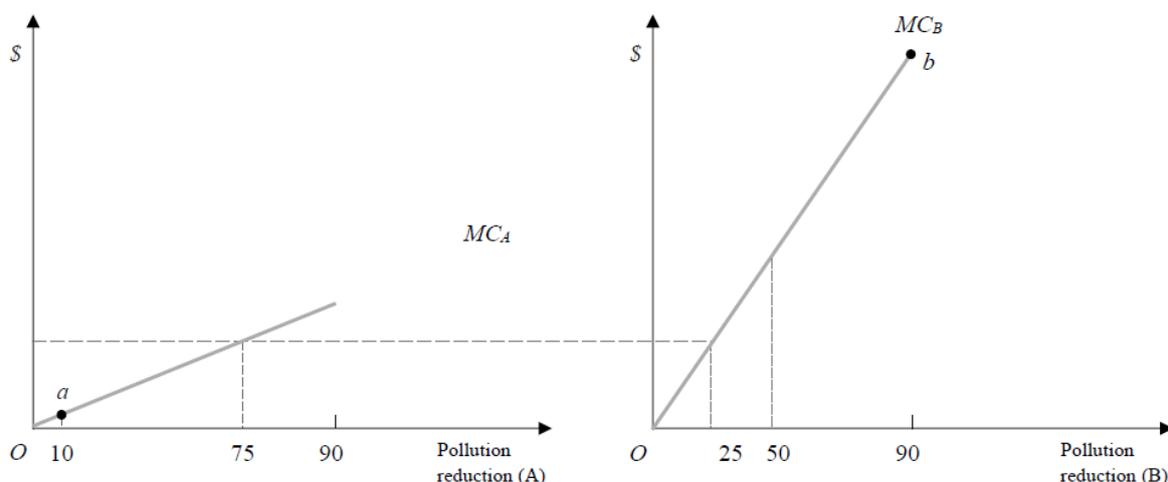


Figura 2.5 Funzionamento dei sistemi cap-and-trade. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

Facendo riferimento alla figura 2.5, ipotizziamo che inizialmente lo Stato allochi tutti gli 80 permessi (uno per ogni unità di CO₂ emessa) all'impresa A. Dal momento che, nella situazione precedente all'imposizione del cap, sia A che B emettevano 90 unità, la prima dovrà ridurre le sue emissioni di 10 unità (punto *a*), mentre la seconda, non possedendo permessi, dovrà azzerarle (punto *b*). Tale situazione è ovviamente inefficiente a livello di costi, ma dal momento che le imprese possono liberamente scambiarsi i diritti di emissione, A può decidere di vendere a B una certa quantità di permessi. B sarà disposta a pagare per essi una cifra che non sia superiore al suo costo marginale di riduzione delle emissioni; d'altra parte, A sarà disposta a vendere ad una cifra non inferiore al suo costo marginale MC_A . L'equilibrio si raggiunge nel punto in cui le due curve di costo MC_A ed MC_B si eguagliano, esattamente come accadeva nel caso della carbon tax, e il prezzo dei permessi di emissione sarà proprio pari ad f^* . Come prima, A riduce le sue emissioni di 75 unità, avendo a disposizione 15 permessi, mentre B le riduce di 25 unità grazie ai 65 permessi in suo possesso.

Lo stesso risultato si sarebbe ottenuto se tutti i diritti di emissione fossero stati allocati inizialmente a B, o partendo da qualunque altra distribuzione iniziale dei permessi.

Anche sistemi cap-and-trade, dunque, permettono di raggiungere l'efficienza di costo, motivo per cui sono largamente utilizzati nella pratica, come vedremo nel Capitolo 3 ad essi dedicato.

2.3.4 Sistemi command-and-control

Un approccio più tradizionale alla regolamentazione del fenomeno dell'inquinamento è costituito dall'implementazione di *sistemi command-and-control*. Contrariamente alle imposte sulle emissioni e ai sistemi cap-and-trade, che si configurano come strumenti flessibili e basati sugli incentivi, i sistemi command-and-control sono delle vere e proprie imposizioni da parte delle autorità. Essi possono assumere diverse forme, tutte meno flessibili degli strumenti market-based e in generale più costose.

Uno dei provvedimenti che rientra in questa definizione è l'imposizione di *standard tecnologici*, attraverso cui l'autorità obbliga le imprese a dotarsi di determinate tecnologie per la riduzione delle emissioni. Le imprese sono costrette ad implementare esclusivamente le innovazioni indicate da questi standard, anche se risultano meno economiche di altre altrettanto efficaci.

Se da un lato tale provvedimento è più costoso e meno flessibile rispetto ai sistemi basati sugli incentivi visti in precedenza, è anche vero che una tale imposizione consente di monitorare più

facilmente gli sforzi delle imprese verso la riduzione delle emissioni rispetto alla misurazione di queste ultime, che in alcuni casi non è così semplice. È infatti sufficiente verificare che tutte le imprese abbiano aderito agli standard ed eventualmente multare quelle che non lo hanno fatto. Inoltre, imporre uno standard a tutte le aziende di una nazione consente di ridurre le emissioni in maniera più uniforme, poiché questo “taglio” avviene indipendentemente dalle funzioni di costo marginale delle singole imprese; dunque, non ci sarà un’azienda che riduce l’inquinamento in misura minore rispetto ad un’altra, e saranno tutte dotate della medesima tecnologia.

Un altro possibile provvedimento che rientra nella categoria dei sistemi command-and-control è la definizione di *standard di performance*. Le autorità impongono alle imprese di rientrare in un determinato limite di emissioni, oltre il quale vengono sanzionate. Tale soluzione è più flessibile rispetto a quella precedente in quanto i soggetti coinvolti non hanno vincoli nella scelta del metodo per ridurre le emissioni; tuttavia, non raggiunge l’efficienza di costo in quanto non considera le funzioni di costo marginale delle singole imprese – come avviene invece nel caso delle carbon tax o dei sistemi cap-and-trade – costringendo tutti i soggetti a ridurre le proprie emissioni per rientrare nello stesso limite, il che può risultare più costoso per certe imprese rispetto ad altre. Tale situazione impedisce di raggiungere la soluzione di costo minimo.

2.4 Strumenti di Carbon Pricing

2.4.1 Definizione di Carbon Pricing

Rientrano nella definizione di “strumenti di Carbon Pricing” quelle policies che impongono un prezzo alle emissioni di carbonio per ridurre le quantità di gas inquinanti immesse in atmosfera. Tali strumenti sono anche detti *market-based*, in quanto si affidano a meccanismi di mercato anziché imporre un obiettivo di riduzione delle emissioni prefissato ed obbligare le imprese a rispettarlo. In tale definizione rientrano le *carbon taxes* e i *sistemi cap-and-trade*, già analizzati in precedenza, che rappresentano l’oggetto dello studio del presente elaborato – in particolare i secondi, che saranno analizzati nel dettaglio attraverso delle analisi di regressione.

Essi si basano dunque sulla creazione, attraverso segnali di prezzo, di incentivi per le imprese e per i consumatori a modificare i loro comportamenti verso un uso più ecologico delle loro risorse. Questi incentivi spingono a ridurre i consumi e la produzione di per sé, oltre che ad investire in innovazioni tecnologiche ecosostenibili.

Inoltre, in alcuni casi questi meccanismi generano delle entrate per lo Stato – come nel caso delle imposte sulle emissioni e dei sistemi cap-and-trade in cui i permessi vengono venduti attraverso un’asta – che possono essere utilizzate per investimenti in sostenibilità, per dare un supporto alle famiglie in difficoltà o per altri obiettivi di rilevanza sociale.

2.4.2 Confronto tra imposte sulle emissioni e schemi di emission trading

Gli schemi di emission trading e le imposte sulle emissioni sono strumenti simmetrici: idealmente, per ogni imposta sulle emissioni, esiste un ETS corrispondente che raggiunge lo stesso obiettivo di riduzione delle emissioni ed il medesimo prezzo della CO₂. Nella pratica, tuttavia, vi sono delle differenze strutturali che portano a preferire uno strumento piuttosto che l’altro a seconda delle condizioni al contorno esistenti.

2.4.2.1 Cambiamenti nelle condizioni economiche

Quando l’economia di un Paese si trova in un periodo di alta inflazione, i sistemi cap-and-trade sono più stabili delle carbon taxes. Se infatti il valore della tassa sulle emissioni rimane costante e non viene ricalibrato sulla base del livello di inflazione, il valore reale dell’imposta diminuisce, portando ad una minore riduzione delle emissioni da parte delle imprese. Gli schemi di emission trading, invece, non subiscono variazioni di questo genere: dal momento che le autorità fissano un cap sulle quantità di emissioni totali, il livello di inflazione non influisce sulle quantità di gas serra emesse dalle imprese. I due strumenti, in questi casi, sono parimenti efficaci solo nel caso in cui il valore della tassa sulle emissioni venga modificata periodicamente per adattarsi al livello di inflazione.

Lo stesso discorso vale nel caso in cui vi siano delle variazioni nella curva di costo di riduzione delle emissioni, il che accade frequentemente nella pratica. Se infatti, a seguito della definizione del valore dell’imposta sulle emissioni, le curve di costo delle imprese variano, il livello di riduzione delle emissioni da parte di queste sarà differente, poiché le imprese ridurranno le emissioni fino al livello in cui il valore della tassa eguaglia il loro costo marginale di riduzione delle emissioni. Ciò non accade per i sistemi cap-and-trade, che, come sottolineato prima, fissano la quantità massima di gas serra oltre il quale le imprese non possono spingersi.

Riassumendo, contrariamente agli schemi di emission trading, le imposte sulle emissioni risultano molto sensibili alle variazioni dello stato dell'economia, portando a cambiamenti nel livello di emissioni prodotte.

2.4.2.2 Incertezza nella definizione del costo marginale di riduzione

Come sottolineato più volte in precedenza, i costi sociali dell'inquinamento sono estremamente difficili da calcolare, dunque sono soggetti a grande incertezza. I due strumenti di carbon pricing rispondono in modo diverso a tale variabilità, portando a risultati differenti.

Per effettuare un'analisi della risposta dei due meccanismi, è necessario distinguere due possibili situazioni: il caso in cui il beneficio sociale marginale dato dalla riduzione di emissioni è *inelastico* e il caso in cui è *elastico*.

Prima di effettuare l'analisi grafica delle due casistiche, è doveroso definire cosa si intenda per elasticità. Facendo riferimento alla figura 2.6, che riporta le curve di costo marginale e di beneficio marginale di riduzione delle emissioni viste nel paragrafo 2.3.2, si può intuire come la curva di costo MC sia una curva di offerta, dal momento che ha un'inclinazione positiva (all'aumentare dei prezzi aumentano le quantità che le imprese sono disposte ad offrire). La curva di beneficio marginale MB , invece, è una curva di domanda: a prezzi più alti corrispondono quantità domandate inferiori, ovvero la curva ha inclinazione negativa.

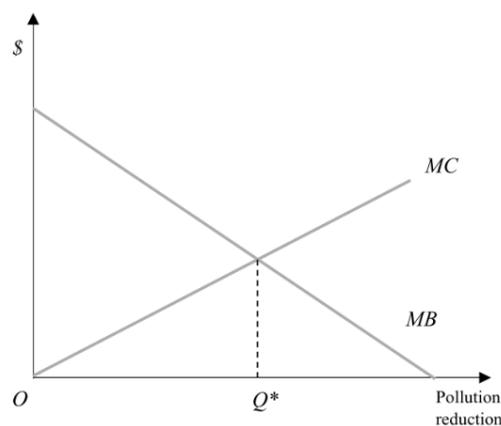


Figura 2.6 Curve di domanda e offerta di riduzione delle emissioni. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

Si definisce *elasticità della domanda rispetto al prezzo* la sensibilità di questa alle variazioni di prezzo del bene domandato. In formule, si ha:

$$\text{elasticità della domanda } (\varepsilon) = \frac{\frac{\partial Q}{Q}}{\frac{\partial p}{p}}$$

Tale grandezza varia da punto a punto all'interno della curva di domanda. L'elasticità puntuale non è altro che la derivata prima della curva di domanda in un determinato punto, come suggerisce la formula riscritta come segue:

$$\text{elasticità della domanda } (\varepsilon) = \frac{\partial Q}{\partial p} \cdot \frac{p}{Q}$$

Nel caso di una curva di domanda lineare (retta), quindi, l'elasticità è costante in ogni punto. Per semplicità consideriamo questa casistica nelle nostre analisi.

L'elasticità della domanda rispetto al prezzo ha chiaramente segno negativo (all'aumentare del prezzo, diminuiscono le quantità domandate); tuttavia, per convenzione si considera il valore assoluto di tale grandezza e si omette il segno negativo.

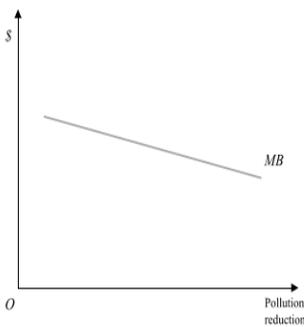


Figura 2.7 Domanda elastica

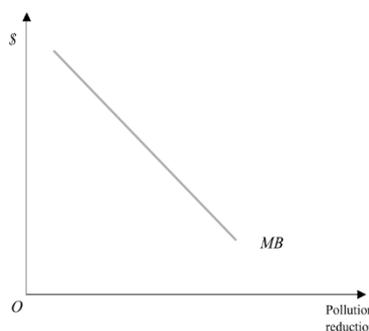


Figura 2.8 Domanda ad elasticità unitaria

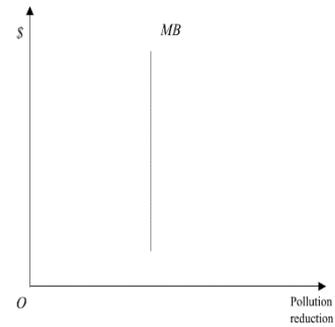


Figura 2.9 Domanda rigida

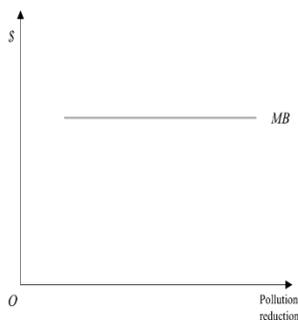


Figura 2.10 Domanda perfettamente inelastica

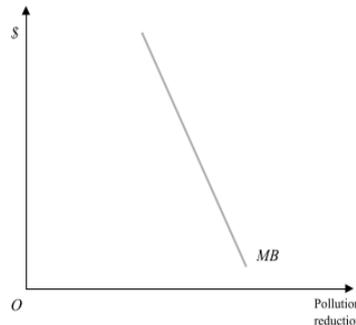


Figura 2.11 Domanda inelastica

Si distinguono cinque possibili casi:

- *Domanda inelastica*: il coefficiente di elasticità ϵ è inferiore a 1; Dunque, una variazione unitaria di prezzo provoca una variazione di quantità inferiore a uno (figura 2.11). Tale caratteristica è tipica dei beni di prima necessità e di quelli che non hanno beni sostituti.
- *Domanda elastica*: il coefficiente di elasticità ϵ è superiore a 1; ciò significa che all'aumentare del prezzo, le quantità diminuiscono in maniera più che proporzionale (figura 2.7). È questo il caso dei beni di lusso o di quelli che hanno dei beni sostituti.
- *Domanda ad elasticità unitaria*: in tal caso il coefficiente di elasticità ϵ è pari a 1. Vi è quindi una relazione esattamente proporzionale tra le variazioni di prezzo e le variazioni di quantità domandate (figura 2.8).
- *Domanda rigida*: si tratta di un caso limite, in cui il coefficiente di elasticità ϵ è nullo; dunque, al variare del prezzo non cambiano le quantità domandate (figura 2.9).
- *Domanda perfettamente elastica*: anche questo è un caso limite, per cui il coefficiente di elasticità ϵ è infinito, ovvero la quantità domandata varia infinitamente ad ogni minima variazione di prezzo (figura 2.10).

Di seguito andremo ad analizzare come si comportano le carbon taxes e gli schemi di emission trading in presenza di incertezza nella definizione delle curve di costo, analizzando prima il caso in cui la curva di beneficio marginale è elastica e poi quello in cui essa è inelastica.

Il beneficio marginale della riduzione di emissioni è elastico

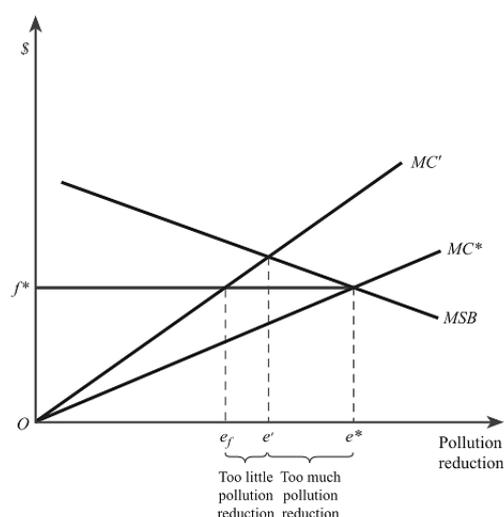


Figura 2.12 Confronto tra carbon tax e sistemi cap-and-trade con beneficio marginale elastico. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

In figura 2.12 è rappresentata una curva di beneficio marginale di riduzione delle emissioni *elastica* (curva *MSB*). Ciò significa che, al variare del costo di riduzione delle emissioni, la domanda di riduzione aumenta – o diminuisce – più che proporzionalmente.

Partendo dal caso delle carbon tax, supponiamo che il governo sia incerto sul costo di riduzione delle emissioni e stimi che la curva di costo per le imprese sia MC^* , imponendo di conseguenza una tassa del valore di f^* . Ipotizziamo poi che la reale curva di costo sia invece MC' : cosa accade?

In questa situazione, la quantità ottimale di riduzione delle emissioni sarebbe e' , che corrisponde al punto in cui domanda e offerta si equivalgono; tuttavia, avendo fissato una tassa pari ad f^* , alle imprese non conviene ridurre le emissioni più di e_f , in quanto oltre tale livello il costo di riduzione supera il valore dell'imposta; si avrà quindi un livello di riduzione pari ad e_f .

Nel caso di un sistema cap-and-trade, invece, non è il prezzo ad essere fissato, ma le quantità, ovvero i permessi di emissione che vengono emessi dalle autorità. Ciò significa che, qualunque cosa accada, le imprese dovranno obbligatoriamente ridurre le emissioni almeno di una certa quantità, che nel caso in analisi è pari ad e^* (dal momento che il governo ha stimato una curva di costo pari ad MC^*). Anche se la reale curva di costo è MC' , dunque, le imprese saranno costrette a raggiungere un livello di riduzione pari ad e^* , indipendentemente dai costi che dovranno sostenere.

Come possiamo notare dalla figura 3.12, la differenza di riduzione delle emissioni tra il punto e' – che rappresenta la riduzione ottima data la curva di costo reale MC' – e il valore di riduzione realmente osservato, è maggiore nel caso dei sistemi cap-and-trade ($e^* - e' > e' - e_f$). In conclusione, in caso di incertezza nella definizione del costo di riduzione delle emissioni e di curva di beneficio marginale elastica, le carbon tax sono più efficaci dei sistemi cap-and-trade, in quanto permettono di raggiungere un livello di riduzione delle emissioni più vicino a quello ottimale.

Il beneficio marginale della riduzione di emissioni è inelastico

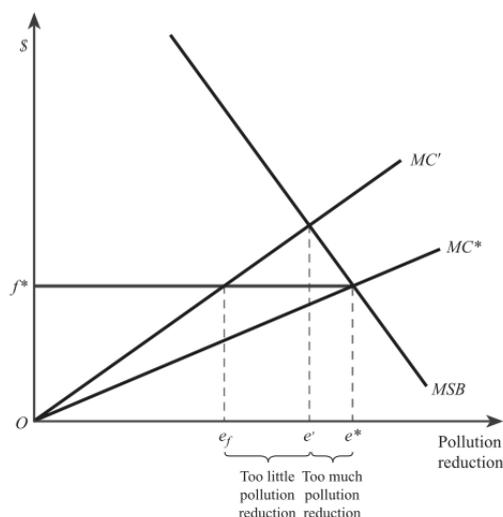


Figura 2.13 Confronto tra carbon tax e sistemi cap-and-trade con beneficio marginale inelastico. Fonte: Rosen e Gayer, 2009

Nel caso in cui la curva di beneficio marginale sia inelastica, come in figura 2.13, i due strumenti si comportano esattamente nello stesso modo visto nel caso precedente, ma il risultato finale è opposto. Infatti, si può osservare come il livello effettivo di riduzione delle emissioni nel caso di imposizione di una carbon tax sia pari ad e_r , mentre raggiunga il livello e^* nel caso di imposizione di schemi di emission trading (come già visto prima); tuttavia, notiamo come in questa situazione il divario tra la quantità ottima di riduzione delle emissioni e' e le quantità realmente osservate sia minore nel caso in cui venga imposto un sistema cap-and-trade ($e^* - e' < e' - e_r$).

Quando la curva di beneficio marginale è inelastica, dunque, gli schemi di emission trading sono più efficaci delle imposte sul carbonio.

2.4.3 Problemi e sfide relative agli strumenti di Carbon Pricing

In questo paragrafo si andranno a descrivere le principali problematiche degli strumenti di carbon pricing, le quali devono essere affrontate e tenute in considerazione quando si vanno a delineare le caratteristiche e il funzionamento di questi meccanismi.

Livello dei prezzi ed efficacia

Indipendentemente dal tipo di meccanismo utilizzato, è fondamentale che il livello di prezzo della CO_2 sia sufficientemente alto da cambiare i comportamenti delle imprese e indurle a tagliare le loro emissioni. Infatti, le imprese riterranno conveniente fare investimenti finalizzati alla riduzione

dell'inquinamento che producono solo se il costo di tali investimenti fosse inferiore al prezzo del carbonio, altrimenti troverebbero più conveniente comprare più dritti di emissione o pagare le imposte sulle emissioni.

Fortunatamente, almeno per quanto riguarda il prezzo dei tradeable permits all'interno degli schemi di emission trading, negli ultimi anni si è potuto osservare un andamento crescente in quasi tutti i sistemi esistenti, soprattutto nel caso dell'EU ETS, che ha raggiunto il picco più alto, pari a € 64,32 tCO₂e, nel 2021 (figura 2.14).



Figura 2.14 Prezzi dei tradeable permits da marzo 2008 a settembre 2021. Fonte: <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices>

L'IEA (*International Energy Agency*), un'organizzazione internazionale intergovernativa fondata nel 1974 che si occupa di coordinare i vari Paesi del mondo nella gestione delle politiche energetiche, ha formulato un modello, detto *WEM (World Energy Model)* finalizzato ad effettuare proiezioni sui futuri sviluppi delle politiche energetiche nel mondo. All'interno di tale modello vengono effettuate diverse simulazioni, di cui due hanno lo scopo di mostrare le linee guida da seguire per ottenere uno sviluppo sostenibile (*Sustainable Development Scenario*) e il raggiungimento della soglia di zero emissioni nette nel 2050 (*Net Zero Emissions by 2050 Scenario*).

All'interno di questi due scenari sono stati calcolati i prezzi del carbonio necessari per raggiungere i suddetti obiettivi, che sono:

- *Sustainable Development Scenario*: € 100 tCO₂e nel 2030 e € 140 tCO₂e nel 2040 per le economie avanzate; € 35 tCO₂e nel 2040 per le economie emergenti.

- Net Zero Emissions by 2050 Scenario: € 130 tCO₂e nel 2030 e € 205 tCO₂e nel 2040 per le economie avanzate; € 90 tCO₂e nel 2030 e € 160 tCO₂e nel 2040 per le maggiori economie emergenti.³

Dunque, per quanto i prezzi del carbonio all'interno dei sistemi di scambio delle quote di emissioni siano aumentati negli ultimi anni, sono ancora molto lontani dai livelli necessari per fermare il cambiamento climatico.

Copertura del Carbon Pricing

Oltre al livello del prezzo del carbonio, è anche molto importante considerare la portata degli strumenti di Carbon Pricing, ovvero la percentuale di emissioni totali che vengono coperte da questi meccanismi. All'interno dell'Unione Europea, ad esempio, solamente il 40% delle emissioni viene coperta dall'EU ETS; inoltre, l'85% delle quote per il trasporto aereo e il 43% di quelle non aeronautiche sono distribuite gratuitamente, il che riduce notevolmente l'incentivo a tagliare le emissioni. Infine, l'EU ETS (ma anche tutti gli altri sistemi cap-and-trade nel mondo) non comprende tutti i tipi di gas a effetto serra, tralasciando, ad esempio, le emissioni di gas metano, che hanno un alto potenziale di riscaldamento globale.

Oltre a questo aspetto, è importante anche considerare la questione delle importazioni: non è infatti la sola produzione di gas inquinanti a generare il problema del riscaldamento globale, ma anche e soprattutto il suo consumo. Se non si regolano le importazioni di beni ad alto contenuto di carbonio, tutti gli sforzi compiuti in direzione della riduzione dell'inquinamento diventano inefficaci.

Carbon leakage

Quando si parla di rischio di *carbon leakage*, che tradotto significa "rilocalizzazione delle emissioni di carbonio", si intende il rischio che la produzione di beni ad alto contenuto di carbonio sia trasferita in Paesi in cui vi è meno attenzione alla riduzione delle emissioni – o in cui semplicemente il prezzo della CO₂ è più basso – o, in alternativa, il rischio che si preferisca l'importazione di prodotti a più alto contenuto di carbonio piuttosto che la loro produzione, per approfittare dei prezzi delle emissioni più bassi. Questo porta ad un aumento della concentrazione di inquinamento nelle zone in cui i costi di quest'ultimo sono inferiori.

³ <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/macro-drivers#prices>

Per arginare tale fenomeno, una delle soluzioni adottate dall'UE è quella di distribuire i permessi di emissione gratuitamente alle imprese appartenenti a settori ad alto rischio di carbon leakage, di modo che abbiano un più ampio margine di manovra e non debbano ricorrere alla rilocalizzazione per tagliare i costi.

Un altro strumento proposto dall'UE, nell'ambito del Green Deal, per ridurre il fenomeno del carbon leakage, è il cosiddetto "*Carbon Border Adjustment Mechanism*", che utilizza una serie di provvedimenti per evitare la rilocalizzazione delle emissioni di carbonio. Alcuni di questi sono:

- L'imposizione di una carbon tax su prodotti selezionati, sia importati che prodotti internamente;
- Un nuovo dazio doganale sulle importazioni;
- L'estensione dell'EU ETS anche alle importazioni;

Tuttavia, tale strumento è ancora in fase di definizione e non è ancora entrato in vigore, anche a causa di opposizione da parte di alcuni Paesi esterni all'Unione Europea, come Cina e Stati Uniti, i quali vedono questo meccanismo come una forma di protezionismo più che una misura di decarbonizzazione.

3 IL CARBON PRICING NEL MONDO

Nel 2021 il numero di strumenti di carbon pricing operativi al mondo è pari a 64, ovvero 6 in più rispetto al 2020. Inoltre, vi sono 3 strumenti programmati per l'attuazione (vedi figura 3.1).

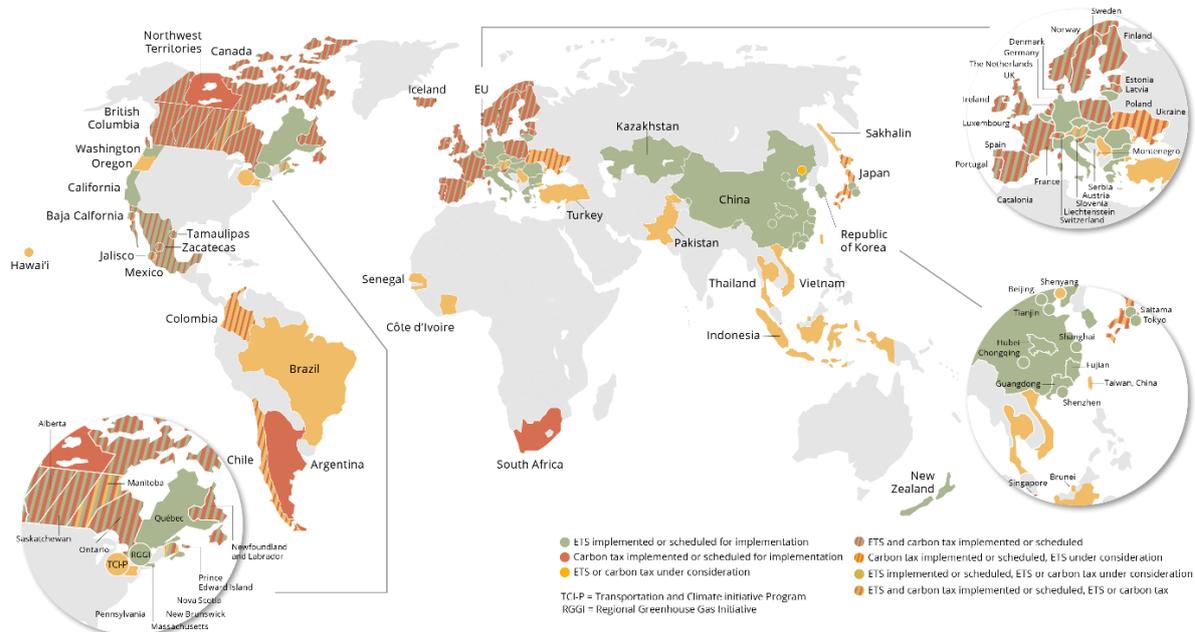


Figura 3.1 Strumenti di Carbon Pricing implementati o schedulati nel 2021. Fonte: World Bank. 2021. *State and Trends of Carbon Pricing 2021*.

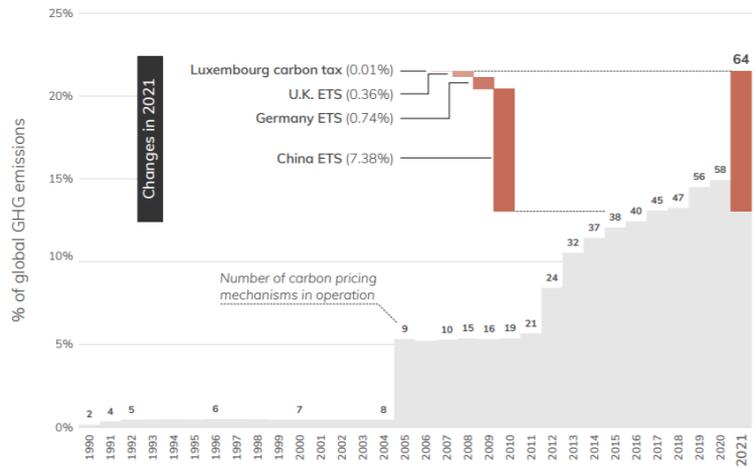
Come mostrato in figura 3.2, questi strumenti coprono il 21,5% delle emissioni di gas serra globali (GHG), ben 6,4 punti percentuali in più rispetto al 2020. Tale incremento è dovuto principalmente all'introduzione dello schema di emission trading in Cina, che rappresenta il principale produttore di CO₂ al mondo (figura 3.3); tale meccanismo è stato lanciato nel febbraio del 2021 ed è il più ampio sistema cap-and-trade esistente al mondo ad oggi.

Altra importante novità rispetto al 2020 è l'uscita della Gran Bretagna dall'EU ETS avvenuta il 1° gennaio 2021; tuttavia, nello stesso giorno, è stato lanciato lo U.K. ETS, ovvero lo schema di emission trading nazionale britannico, dal funzionamento molto simile alla Fase 4 dell'EU ETS.

Anche la Germania ha lanciato un sistema nazionale di emission trading, finalizzato a coprire la quota di emissioni di gas serra che non ricadono nel raggio d'azione dell'EU ETS, a cui il Paese continua a aderire.

Si aggiungono infine nel 2021 due imposte sulle emissioni in Messico a livello subnazionale, una carbon tax in Olanda ed una in Lussemburgo.

FIGURE 2.3
Share of global greenhouse gas emissions covered by carbon taxes and emissions trading systems

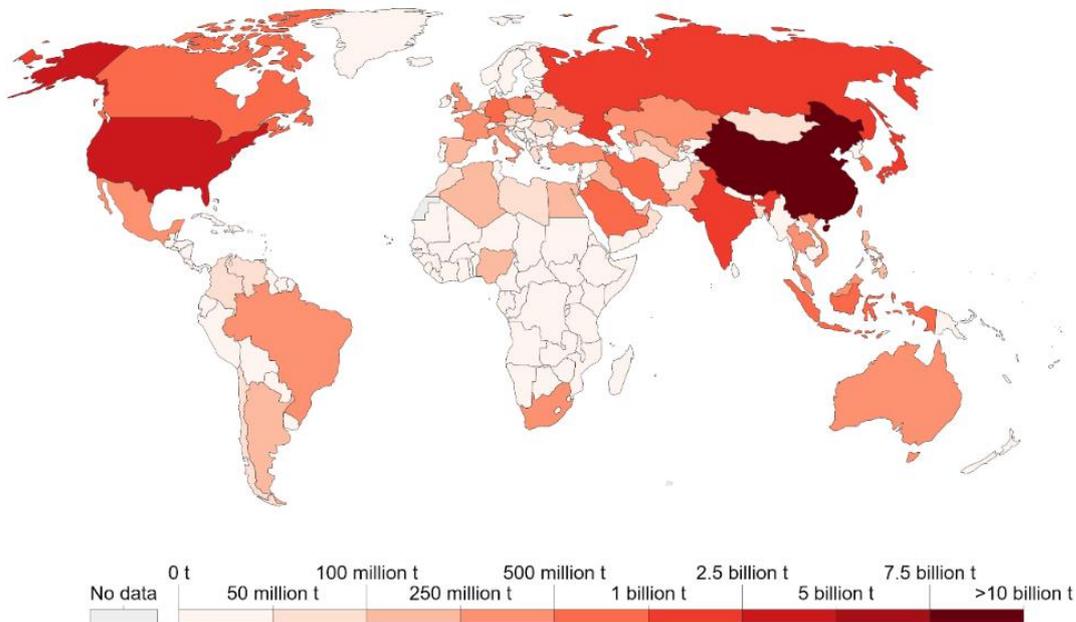


The share of annual global GHG emissions for 1990 - 2015 is based on data from the Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) version 5.0 including biofuels emissions. From 2015 onward, the share of global GHG emissions is based on 2015 emissions from EDGAR.

Figura 3.2 Quota di emissioni di gas serra (GHG) coperte dagli strumenti di carbon pricing esistenti. Fonte: World Bank. 2021. *State and Trends of Carbon Pricing 2021*.

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.



Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not adjust for emissions embedded in traded goods.

Figura 3.3 Emissioni di CO₂ nel mondo nel 2020. Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

In questo capitolo si andranno ad elencare e descrivere brevemente i principali schemi di Emission Trading e le carbon taxes implementate nel mondo ad oggi.

3.1 Emission Trading Systems

3.1.1 EU Emission Trading System

L'EU ETS è il sistema di scambio di quote di emissioni dell'Unione Europea. Esso nacque nel 2005, rappresentando il primo meccanismo di questo genere mai creato, ed è tuttora uno degli strumenti più importanti per la lotta al cambiamento climatico dell'Unione Europea. Ad oggi rappresenta il secondo sistema cap-and-trade per estensione, dopo quello cinese, e comprende i 27 Paesi dell'Unione Europea e i 3 Paesi membri dell'EEA-EFTA (Area Economica Europea – Associazione Europea del Libero Scambio): Norvegia, Liechtenstein e Islanda.

L'EU ETS copre il 40% delle emissioni di gas serra dell'Unione Europea, comprendendo diversi settori, quali quello energetico, quello manifatturiero e l'aviazione. Esso regola le emissioni di CO₂ (anidride carbonica), N₂O (biossido di azoto) e PFCs (perfluorocarburi), e si estende a 10.569 impianti dei Paesi coinvolti nell'ETS.

Nel corso del tempo, lo schema di emission trading europeo è diventato gradualmente più restrittivo, attraverso diverse riforme – l'ultima delle quali è stata discussa nel luglio del 2021 nell'ambito del Green Deal europeo – e si trova oggi nella sua quarta fase commerciale (2021-2030).

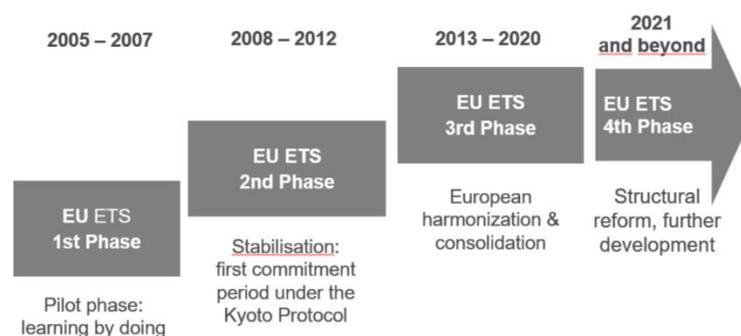


Figura 3.4 Fasi dell'EU ETS. Fonte: *Carbon Pricing: Implementation & Challenges (EU ETS/Germany)*, 2018

Le regole del meccanismo sono state riviste nel 2018 per consentire di raggiungere gli obiettivi posti dall'accordo di Parigi del 2015, tra questi la riduzione delle emissioni al 43% in meno rispetto ai livelli del 2005. Per fare ciò, il tasso di diminuzione del cap è stato aumentato dall' 1,74% al 2,20% annuo a partire dal 2021, come mostrato in figura 3.5.

Nel luglio del 2021, tuttavia, la Commissione Europea ha pubblicato il pacchetto "Fit for 55" ponendo un nuovo e più restrittivo obiettivo di riduzione delle emissioni, nonché imponendo il raggiungimento del livello di zero emissioni nette entro il 2050. Ciò ha portato a considerare una

nuova revisione, non ancora ufficializzata, dei target dell'EU ETS, che dovrà conseguire una riduzione delle emissioni pari al 55% in meno rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030; di conseguenza, il tasso di riduzione delle emissioni sarà ulteriormente innalzato al 4,20%.

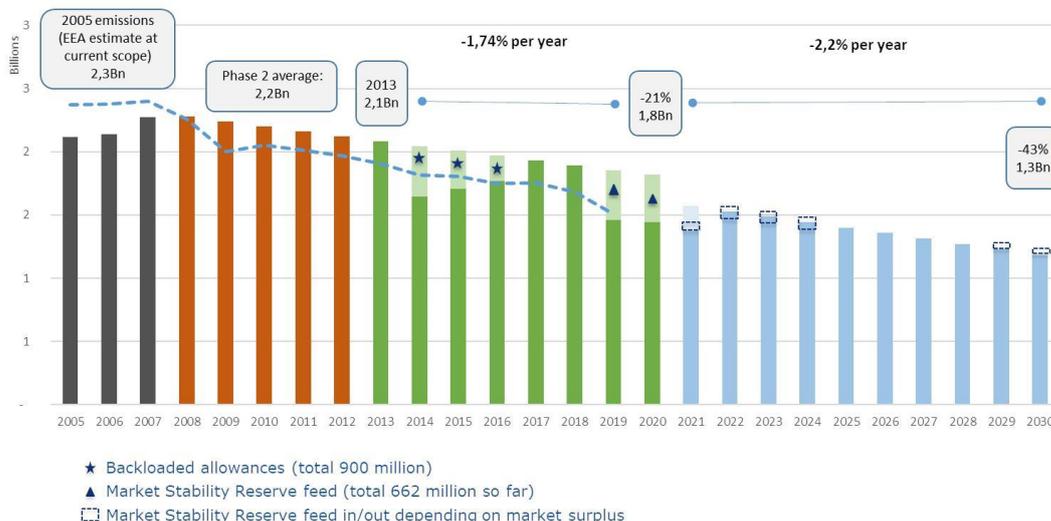


Figura 3.5 Diminuzione del cap di emissioni dell'EU ETS dal 2005 al 2030. Fonte: Commissione Europea, *Report from the Commission to the European Parliament and the Council. Report on the functioning of the European carbon market*, 2020.

In figura 3.5 è mostrato l'andamento del tetto massimo di emissioni dalla prima fase, avviata nel 2005, al termine dell'ultima fase nel 2030. Si è partiti con un cap pari a 2,096 MtCO₂e nella prima fase fino ad arrivare, nel 2021, ad un limite impostato di 1,572 MtCO₂e.

La distribuzione delle quote di emissione avviene, come già detto, in due modi: attraverso un'asta oppure gratuitamente sulla base di alcuni parametri e/o serie storiche. Nella quarta fase, più del 18% delle quote legate all'aviazione e il 57% delle quote generiche verrà messa all'asta, mentre la restante parte sarà distribuita gratuitamente. Per quanto riguarda il settore energetico, invece, l'obiettivo è quello di mettere all'asta il 100% delle quote, salvo alcune eccezioni in determinati Paesi per consentire la modernizzazione del settore.

3.1.2 China National ETS

Il mercato del carbonio nazionale in Cina è diventato operativo nel gennaio 2021, dopo tre anni di preparazione a partire dal suo annuncio nel 2017, a seguito del successo dei progetti pilota portati avanti in diverse regioni cinesi negli anni precedenti.

Esso rappresenta il sistema di scambio di quote delle emissioni più esteso al mondo, nonostante riguardi solamente la CO₂ e solamente nel settore energetico. Si stima, infatti, che l'ETS coprirà più

di 4 miliardi di tCO₂, ovvero circa il 40% delle emissioni nazionali, estendendosi a 2.225 impianti energetici.

Gli obiettivi imposti all'interno del meccanismo di scambio sono i seguenti:

- Raggiungere il picco di emissioni di CO₂ entro il 2030, nonché ridurre le emissioni per unità di PIL di oltre il 65% rispetto ai livelli del 2005 entro la stessa data;
- Raggiungere la neutralità delle emissioni entro il 2050.

Il tetto massimo di emissioni, a differenza dell'EU ETS, è calcolato con un metodo bottom-up, ovvero si ottiene come somma del numero totale di quote effettivamente allocate, dunque non viene imposto a priori. Inoltre, si tratta di un limite intensity-based, ovvero calcolato sulla base degli effettivi livelli di produzione.

L'allocazione delle quote è per il momento esclusivamente gratuita, ma vi è l'intenzione di introdurre la metodologia di distribuzione tramite asta nei prossimi anni. Le quote sono assegnate principalmente sulla base di 4 benchmark: centrali a carbone convenzionali con potenza inferiore a 300 MW, centrali a carbone convenzionali con potenza superiore a 300 MW, centrali a carbone non convenzionali e centrali a gas naturale.

3.1.3 Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)

La Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) rappresenta il primo ETS sulle emissioni di gas serra degli Stati Uniti. Esso è entrato in vigore nel 2009 in dieci Stati e riguarda solamente le emissioni di CO₂ nel settore energetico. Dal 2021 è entrato a far parte dell'iniziativa anche lo Stato della Virginia, mentre la Pennsylvania ha in programma di aderire nel 2022.

Una particolarità di questo schema di Emission Trading rispetto agli altri è il fatto che ciascuno Stato membro può decidere il proprio obiettivo di riduzione delle emissioni autonomamente.

Dal 2012 ad oggi l'ETS ha subito due riforme che hanno reso più stringente il cap di emissioni; una terza revisione è stata poi effettuata recentemente nel 2021 con l'obiettivo di ridurre le emissioni del 30% rispetto ai livelli del 2020 entro il 2030.

L'RGGI copre attualmente circa il 10% delle emissioni (58.5 MtCO₂e) degli Stati partecipanti, coinvolgendo 203 impianti dalla capacità uguale o superiore ai 25 MW.

La distribuzione delle quote all'interno dell'iniziativa avviene esclusivamente tramite aste trimestrali regionali, all'interno delle quali le parti interessate possono fare offerte per non più del 25% delle quote totali messe all'asta.

Il cap complessivo di emissioni nel 2021 si attesta a 108.9 MtCO₂, con l'obiettivo di raggiungere un livello pari a 70.0 MtCO₂ nel 2030.

3.1.4 Korea Emission Trading System

L'ETS nazionale della Corea del Sud nacque nel gennaio del 2015 e fu il primo sistema cap-and-trade mai fondato in Asia orientale. Esso copre una moltitudine di gas serra (CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs, SF₆) e diversi settori, ovvero:

- Settore energetico
- Settore edilizio
- Settore manifatturiero
- Trasporto aereo
- Settore dei rifiuti

Le emissioni coperte sono pari a ben il 74% delle emissioni nazionali, estendendosi a 685 degli impianti più inquinanti del Paese.

L'obiettivo dell'ETS per il 2030 è quello di raggiungere un livello di emissioni del 24,4% inferiore rispetto ai livelli del 2017; come per molti altri schemi di emission trading, poi, punta a raggiungere la neutralità delle emissioni entro il 2050.

L'ETS coreano si trova attualmente nella sua terza fase, cominciata nel 2021, con un cap più restrittivo rispetto alle fasi precedenti, pari a 589.3 MtCO₂e. Nel 2015, in realtà, il tetto massimo si attestava a 540.1 MtCO₂e, ma dal 2021 partecipano al sistema di scambio anche gli intermediari finanziari e sono stati inclusi nella copertura dell'ETS anche i settori dell'edilizia e dei trasporti, prima esclusi dal meccanismo; l'effettiva riduzione delle emissioni è dunque di 4,7 punti percentuali rispetto alla baseline del periodo 2017-2019.

L'allocazione delle quote di emissioni, a partire dalla terza fase, avviene per circa il 90% gratuitamente; il restante 10% è venduto all'asta.

3.1.5 New Zealand Emissions Trading Scheme

Il sistema di scambio di quote di emissioni neozelandese fu lanciato nel 2008 ed ha attualmente una copertura decisamente più ampia rispetto agli altri ETS esistenti; i settori inclusi all'interno del meccanismo sono infatti:

- Settore energetico
- Settore edilizio
- Settore manifatturiero
- Trasporto aereo
- Settore dei rifiuti
- Settore agricolo
- Settore forestale
- Settore dei trasporti

Il totale delle emissioni coperte, tuttavia, è inferiore a quello dell'ETS coreano, attestandosi ad un 51% delle emissioni totali nazionali, che equivalgono a 40.3 MtCO₂e, per un totale di 2.398 entità coinvolte.

Gli obiettivi dell'ETS neozelandese sono la riduzione delle emissioni fino ad un livello del 30% inferiore ai livelli del 2005 entro il 2030 e il raggiungimento delle emissioni nette pari a zero entro il 2050.

Il sistema di emission trading neozelandese si configurava, alla data del suo lancio, come un sistema molto differente dagli altri ETS esistenti, in quanto non imponeva un limite fisso di emissioni a livello nazionale. Le entità partecipanti, infatti, potevano disporre di un numero limitato di unità di emissione neozelandesi (NZUs), ma avevano la facoltà di acquistare altre quote di emissione da sistemi di scambio esterni alla Nuova Zelanda senza alcun limite. Ciò consentiva una maggiore connessione con gli altri schemi di emission trading; tuttavia, a seguito delle critiche ricevute riguardo a tale tema, con il "*Climate Change Response (Emissions Trading Reform) Amendment Act*" del 2020 è stato imposto di definire un limite massimo di quote di emissione allocabili all'interno dell'ETS al governo neozelandese, che ha provvisoriamente imposto un limite di 354 MtCO₂e in attesa di una definizione ufficiale del cap da parte della Climate Change Commission nazionale.

Altra importante novità introdotta nel 2021 è la distribuzione delle quote tramite asta, mai sperimentata prima, dal momento che in precedenza tutti i diritti di emissione erano distribuiti gratuitamente.

3.1.6 Mexico ETS

L'ETS messicano è un sistema di scambio delle quote di emissione pilota, lanciato nel 2020, che riguarda le emissioni della sola CO₂ nei settori energetico e manifatturiero. Esso copre intorno al 40% delle emissioni nazionali, che equivale a 273.1 MtCO₂e, e si estende a circa 300 impianti.

Gli obiettivi del meccanismo per il 2030 e il 2050 sono, rispettivamente:

- Riduzione delle emissioni fino al 22% in meno rispetto alla *BAU GHG emission baseline*, ovvero rispetto alla previsione del quantitativo di emissioni nel 2030 nel caso in cui non venisse presa alcuna contromisura per limitare il cambiamento climatico;
- Riduzione delle emissioni di gas serra fino al 50% in meno rispetto ai livelli del 2000.

Il cap impostato per l'ETS pilota è pari alla quantità di emissioni coperte dal meccanismo, ovvero 273.1 MtCO₂e, e le quote di emissione sono per il momento distribuite gratuitamente sulla base dello storico delle emissioni di ciascun partecipante.

3.1.7 UK Emission Trading System

Il Regno Unito, conseguentemente alla Brexit avvenuta definitivamente il 31 gennaio 2020, ha formalmente annunciato la sua uscita anche dall'EU ETS il 1° gennaio 2021. Il periodo di transizione è terminato il 31 dicembre 2020, ma già il 1° gennaio 2021 è stato ufficialmente lanciato il sistema di scambio delle quote di emissione britannico, il UK ETS. Tale meccanismo ha diversi punti in comune con la quarta fase dell'EU ETS: esso copre i medesimi tipi di gas serra (CO₂, N₂O, PFCs) e riguarda gli stessi settori, ovvero quello energetico, quello manifatturiero e l'aviazione. Tutte le entità britanniche già soggette all'EU ETS in precedenza, ovvero circa 1.000, sono dunque ora regolate dal UK ETS.

La percentuale di emissioni nazionali coperte è pari a circa il 31%, equivalente a 141.9 MtCO₂e.

Gli obiettivi del meccanismo, similmente agli altri ETS, sono:

- Riduzione delle emissioni di gas serra fino al 68% in meno rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030;
- Neutralità delle emissioni nette entro il 2050.

L'attuale organizzazione dell'ETS britannico è suddivisa in due fasi, la prima che va dal 2021 al 2025 e la seconda che copre il periodo 2026-2030.

Nella prima fase, il cap imposto è pari a 736.0 MtCO₂e in 5 anni, ma diventerà più stringente nella seconda fase, raggiungendo 630.1 MtCO₂e. Il tetto massimo per il 2021 è fissato a 155.7 MtCO₂e, e verrà ridotto di 4.2 MtCO₂e ogni anno, con un tasso di diminuzione pari a 2,7% nel primo anno.

La maggior parte delle quote di emissione è distribuita tramite aste, mentre solo una piccola parte di queste viene distribuita gratuitamente sulla base di tre fattori:

- Alcuni parametri definiti da un benchmark industriale;
- La serie storica delle emissioni;
- Un parametro che determina il rischio di carbon leakage (CLEF).

3.2 Carbon Taxes

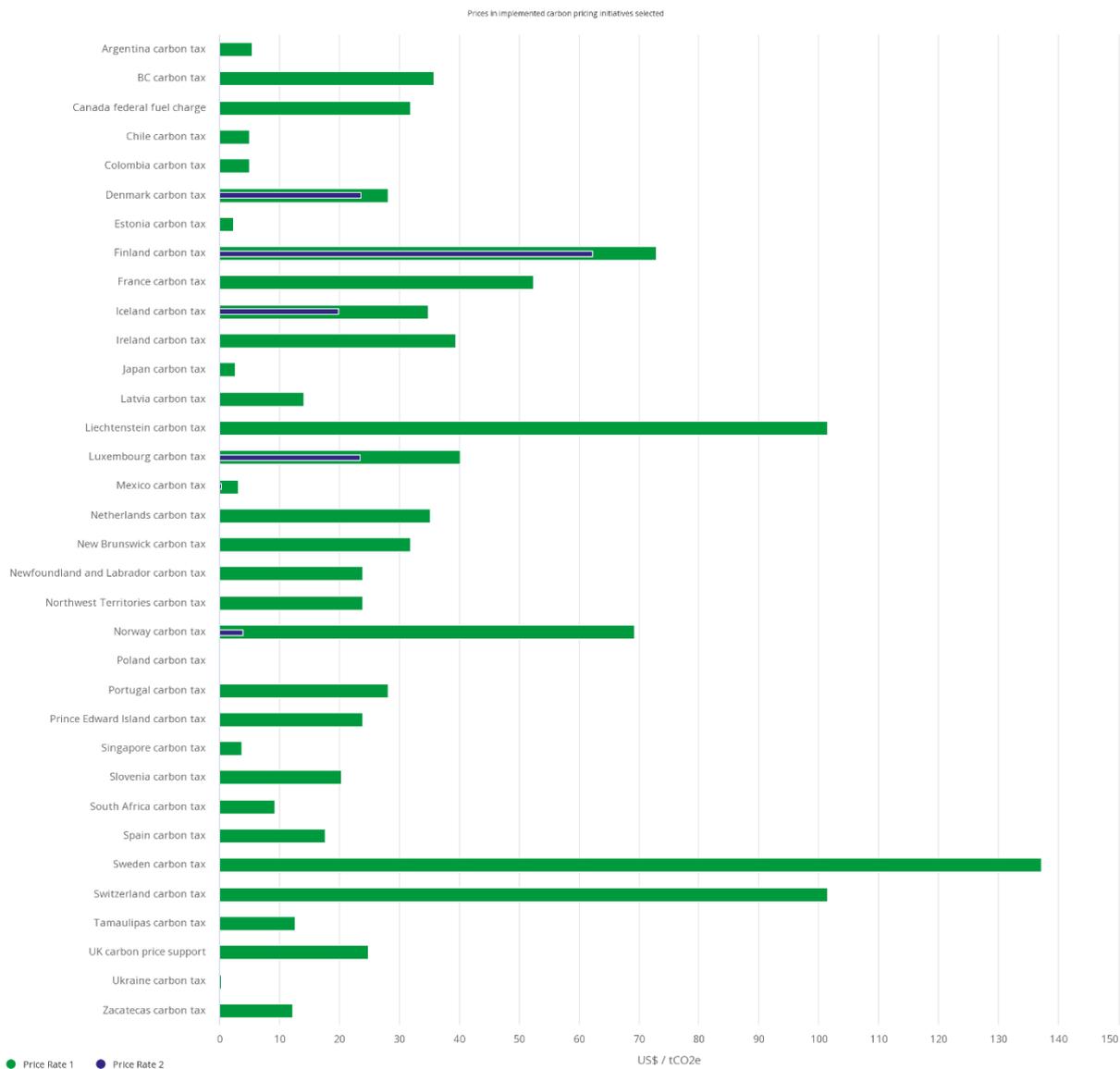


Figura 3.6 Livello dei prezzi delle imposte sul carbonio nel mondo, aprile 2021. Fonte:

https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data

In figura 3.6 sono rappresentati i livelli dei prezzi delle carbon tax esistenti ad aprile del 2021. Come si può notare, i prezzi più alti si riscontrano in Svezia, Svizzera, Liechtenstein e Finlandia; in questo paragrafo andremo ad analizzare questi casi particolari – ad eccezione del Liechtenstein –, oltre alla carbon tax della British Columbia (BC carbon tax in figura), che rappresenta un caso di tassa sulle emissioni particolarmente efficace.

3.2.1 British Columbia carbon tax

Uno dei casi più emblematici e di successo di imposte sulle emissioni è quello della British Columbia, in Canada. Essa fu implementata nel 2008 ed ha rappresentato fin dall'inizio l'ecotassa più completa al mondo. Infatti, essa copre circa il 78% delle emissioni di gas serra della provincia a cui si applica e si estende a tutti i settori – con alcune eccezioni per l'aviazione, i trasporti, il settore agricolo e quello manifatturiero –.

La carbon tax in questione ha inoltre la caratteristica di essere *fiscalmente neutra*: la totalità delle entrate generate dalla tassa sul carbonio viene restituita ai cittadini attraverso tagli sulle imposte sul reddito e crediti di imposta.

Il prezzo iniziale della tassa nel 2008 era pari a 10 CAN\$/tCO₂e, per poi crescere di 5 CAN\$/tCO₂e ogni anno; attualmente il prezzo della carbon tax è pari a 45 CAN\$/tCO₂e.

La carbon tax è stata accolta con favore ed ha portato notevoli benefici nella provincia. Infatti, secondo una ricerca pubblicata nel 2015 da Murray e Rivers, la tassa avrebbe ridotto le emissioni della British Columbia fino al 15% rispetto al livello che avrebbero raggiunto in assenza dell'imposta. Inoltre, la tassa avrebbe avuto effetti trascurabili sull'economia della provincia, come dimostrato dalla crescita del PIL, più rapida della media canadese, con un tasso di crescita del 12,5% tra il 2007 e il 2014.

3.2.2 Finland carbon tax

La Finlandia è stato il primo paese al mondo ad introdurre una tassa sul carbonio. Essa fu adottata nel 1990 per limitare il cambiamento climatico ed era inizialmente estesa solo ai combustibili fossili e ad alcuni specifici settori. Nel corso degli anni è stata più volte modificata e integrata, e oggi è parte della più ampia tassa sull'energia.

Essa copre circa il 36% delle emissioni del Paese, con una percentuale di sovrapposizione del 37% con l'EU ETS, cui la Finlandia partecipa. Oggi l'imposta si applica alle emissioni di CO₂ dei settori manifatturiero, edilizio e dei trasporti e copre tutti i tipi di carburanti ad eccezione della torba.

L'attuale prezzo della tassa sul carbonio finlandese è pari a 53 €/tCO₂e, uno dei più alti al mondo.

3.2.3 Sweden carbon tax

La carbon tax svedese fu introdotta nel 1991, parallelamente alla già esistente tassa sull'energia. Essa riguarda la totalità dei combustibili fossili e si applica principalmente ai settori dell'edilizia e del trasporto, con una copertura del 40% delle emissioni totali del Paese.

Il prezzo di tale imposta è il più alto al mondo, raggiungendo il valore di 1.200 SEK/tCO_{2e}, che corrispondono a circa 117 €/tCO_{2e}. Tuttavia, la misura è stata ben accolta dalla popolazione in quanto l'aumento del valore della tassa è avvenuto gradualmente, partendo da un'aliquota pari a 250 SEK/tCO_{2e} (circa 24 €/tCO_{2e}) alla data della sua implementazione.

Secondo uno studio di Jonsson, Ydstedt & Asen (2020), la carbon tax svedese è stata efficace nella riduzione delle emissioni, poiché queste sono diminuite del 27% tra il 1990 e il 2018; tuttavia, a causa delle numerose esenzioni concesse, l'imposta non è stata sufficientemente aggressiva nei confronti dei più grandi emettitori del Paese, che potrebbero non aver diminuito affatto la quantità di gas inquinanti emessi. Sarebbe dunque auspicabile una maggiore copertura settoriale, anche a discapito del prezzo, per favorire una più ampia partecipazione nella riduzione delle emissioni di gas serra.

3.2.4 Switzerland carbon tax

L'imposta sulle emissioni svizzera (chiamata "*CO₂ levy*") è stata implementata nel 2008, con un prezzo iniziale di 12 CHF/tCO₂, che corrispondono a circa 11.5 €/tCO₂.

Oggi la tassa copre circa il 33% delle emissioni nazionali, ovvero 55 MtCO_{2e} e si applica a tutti i combustibili fossili in diversi settori, quali quello manifatturiero, quello energetico, edilizio e dei trasporti. Il valore della tassa oggi è tra i più alti al mondo, raggiungendo la cifra di 101.5 US\$/tCO_{2e}, ovvero circa 89.7 €/tCO_{2e}.

La carbon tax svizzera è uno dei capisaldi della lotta contro il cambiamento climatico portato avanti dal governo, insieme all'ETS svizzero, due sistemi di tipo command-and-control e alcuni programmi di sostegno per l'installazione di fonti di energia rinnovabile e per l'isolamento degli edifici.

I proventi della tassa sulle emissioni sono così suddivisi:

- Un terzo è destinato ad un programma edilizio che fornisce delle sovvenzioni per ristrutturazioni e conversioni da combustibili fossili a fonti di energia rinnovabile;

- I rimanenti due terzi vengono restituiti alla popolazione sulla base del reddito pro capite e alle imprese in base al livello delle retribuzioni corrisposte ai dipendenti.

Uno studio effettuato da Ecoplan nel 2017⁴ stima che l'introduzione della carbon tax in Svizzera abbia consentito di ridurre le emissioni nazionali di 6,8 milioni di tonnellate di CO₂ tra il 2008 e il 2015, ovvero circa il 4,4% delle emissioni in tale arco di tempo.

⁴ Ecoplan (2017), *Wirkungsabschätzung CO₂-Abgabe*, Bern, Kurzbericht

4 LETTERATURA

Da un'analisi della letteratura esistente riguardante gli schemi di emission trading, emerge una grande quantità di studi che utilizzano diverse metodologie per verificare se l'introduzione di tali meccanismi abbia effettivamente generato una riduzione delle emissioni di CO₂, specialmente per quanto riguarda l'EU ETS e i progetti pilota avviati in Cina in vista dell'introduzione, nel 2021, dell'ETS nazionale.

Negli ultimi anni, tuttavia, si evidenzia una mancanza di aggiornamenti in tal senso, nonostante la disponibilità di una maggiore quantità di dati; inoltre, vi è una carenza di studi che approfondiscano l'effetto del livello dei prezzi delle quote di emissione sulla riduzione dei gas inquinanti immessi in atmosfera. Infine, la maggior parte degli studi esistenti analizza un singolo schema di Emission Trading, anche per via del fatto che alcuni degli ETS oggi esistenti sono stati introdotti molto di recente, impedendo una raccolta di dati sufficientemente ampia ed esaustiva.

Questa tesi si pone dunque l'obiettivo di proporre un aggiornamento sull'efficacia degli ETS implementati nel mondo, basato sui recenti e più solidi dati disponibili, ampliando la base geografica ed includendo il maggior numero possibile di ETS, nei limiti della disponibilità di dati. Inoltre, si vuole verificare se, oltre alla semplice introduzione del meccanismo, anche il prezzo che le quote assumono all'interno dei mercati del carbonio possa influire in maniera incisiva sul livello di abbattimento della CO₂.

In questo capitolo si andranno ad esporre i risultati di alcuni degli studi analizzati in fase di revisione della letteratura. In particolare, sono stati selezionati tre paper, di cui:

- Il primo, pubblicato da Bel e Joseph nel 2015, analizza l'effetto dell'introduzione dell'EU ETS sulle emissioni di CO₂ attraverso un'analisi di regressione con dati panel;
- il secondo, pubblicato nel 2021 da Zheng Y., Sun X., Zhang C., Wang D. e Mao J., tratta l'efficacia dell'introduzione degli schemi di Emission Trading pilota cinesi, implementati a livello regionale, nella riduzione delle emissioni, utilizzando un modello Difference-In-Difference;
- Il terzo, scritto e pubblicato da Olivier Gloaguen ed Emilie Alberola nel 2013, si concentra invece sull'effetto del *prezzo della CO₂* all'interno dell'EU ETS, per verificare se questo sia determinante nella riduzione delle emissioni. Analizza inoltre diversi altri driver di riduzione delle emissioni per stimare quale quota sia attribuibile a ciascuno di questi fattori.

4.1 Emission abatement: Untangling the impacts of the EU ETS and the economic crisis

In questo paper, pubblicato da Germà Bel e Stephan Joseph nel 2015, gli autori stimano l'effetto dell'EU ETS – nelle sue prime due fasi – sulla riduzione delle emissioni di gas serra nell'Unione Europea, tentando di separare tale effetto da quello generato dalla crisi finanziaria scoppiata nel 2008.

Come sottolineato dagli autori, tutti gli studi precedenti tentavano di rilevare l'impatto dell'ETS utilizzando analisi di tipo previsionale, confrontando la situazione reale con un ipotetico scenario BAU (Business-As-Usual), ovvero una "simulazione" del caso in cui l'ETS non fosse mai stato implementato. Ciò è dovuto al fatto che nei primi anni di funzionamento dell'EU ETS i dati a disposizione non erano sufficienti per effettuare un'analisi ex-post; nel caso del paper in esame, invece, la quantità di informazioni disponibili era decisamente superiore, e ciò ha consentito di effettuare per la prima volta un'analisi a posteriori – dunque più attendibile – basata su dati storici riguardanti le emissioni di CO₂ nei settori e negli impianti coinvolti nel mercato del carbonio europeo.

Lo studio si basa su una serie di dati riguardanti 30 Paesi (i 27 stati membri dell'UE più il Liechtenstein, la Norvegia e l'Islanda) in un arco temporale che va dal 2005, anno della fondazione dell'EU ETS, al 2012. Questi vengono utilizzati all'interno di un modello di regressione dinamico basato, appunto, su dati panel.

Inizialmente gli autori presentano una stima di riduzione delle emissioni in ciascuno dei 30 Paesi analizzati, calcolata semplicemente come differenza di emissioni complessive tra un anno e l'altro, da cui emerge una generale diminuzione media del 14,21% per ciascuno Stato; tuttavia, tale stima non è certamente sufficiente a catturare l'impatto dell'EU ETS piuttosto che della crisi finanziaria, in quanto vi sono innumerevoli fattori che influiscono su tali variazioni e devono quindi essere presi in considerazione. Viene quindi formulato un modello di regressione che tiene conto di diverse variabili, ovvero:

- L'indice di settore del settore energetico;
- I dati sul consumo di gas naturale, carbone ed elettricità;
- I dati sui prezzi di gas naturale, carbone ed elettricità;

Tali fattori sono classiche variabili di controllo, introdotte nel modello per evitare distorsioni da variabile omessa. Oltre a queste, vi sono poi la variabile dipendente, ovvero le emissioni di gas

serra delle industrie coinvolte nell'EU ETS, e le variabili di interesse, oggetto dello studio di Bel e Joseph, che sono:

- Variabile "*policy*", che indica l'effetto dell'ETS;
- Variabile "*GDP_growth*", che rappresenta la crescita del PIL;
- Variabile "*crisis*", ovvero una variabile dummy che rappresenta la presenza/assenza della crisi economica;

La variabile *policy*, chiaramente, fa riferimento alla presenza dell'ETS, mentre gli ultimi due fattori dell'elenco sono utilizzati per indicare l'effetto della crisi finanziaria (nel caso della crescita del PIL, una crescita negativa sta a indicare che la crisi ha colpito il Paese, influenzando sul suddetto indicatore macroeconomico).

Gli autori effettuano in totale 10 analisi di regressione, le prime 5 utilizzando come variabili di controllo i consumi di gas naturale, carbone ed elettricità e le restanti 5 utilizzando invece i rispettivi prezzi. Le analisi sono così strutturate:

- Stima 1: utilizza tutte le variabili di controllo e un'unica variabile dipendente, ovvero la crescita del PIL (*GDP_growth*);
- Stima 2: utilizza tutte le variabili di controllo e un'unica variabile dipendente, ovvero la variabile dummy *crisis*;
- Stima 3: utilizza tutte le variabili di controllo e un'unica variabile dipendente, ovvero la variabile *policy*, che cattura l'effetto dell'ETS;
- Stima 4: utilizza tutte le variabili di controllo e le variabili *GDP_growth* e *policy* congiuntamente;
- Stima 5: utilizza tutte le variabili di controllo e le variabili *crisis* e *policy* congiuntamente;

Tale strategia consente di effettuare due importanti osservazioni: da un lato, permette di individuare quale dei due fattori (la crisi finanziaria o l'introduzione dell'ETS) abbia contribuito maggiormente alla riduzione delle emissioni; dall'altro permette di restringere la gamma di quote di abbattimento attribuibili all'una piuttosto che all'altra causa, facendo sì che tali effetti non vengano sovrastimati.

Dai risultati delle analisi effettuate emerge che:

- Prese singolarmente, le tre variabili *policy*, *GDP_growth* e *crisis* sono statisticamente significative al 5%, e mostrano una correlazione negativa con la variabile dipendente, come ci si aspettava;

- Nel modello che utilizza come variabili di controllo i prezzi delle commodities, quando si introducono congiuntamente le variabili *GDP_growth* e *policy*, si ottengono nuovamente dei coefficienti statisticamente significativi al 5% con i segni attesi; in questo caso, tuttavia, i valori assoluti dei coefficienti sono inferiori a quelli che si ottengono considerando le due variabili separatamente. Ciò significa che, quando vengono considerate singolarmente, tali variabili assorbono l'effetto di quella non considerata nell'analisi, dunque si osserva una sovrastima del loro effetto sulla variabile dipendente.

Per estrapolare l'effetto dell'EU ETS, espresso come diminuzione percentuale delle emissioni in presenza del meccanismo, gli autori confrontano le prime due analisi (Stima 1 e Stima 2) – in cui vengono considerate singolarmente le variabili legate alla crisi economica –, con, rispettivamente, la stima 4 e la stima 5, dove viene introdotta la variabile *policy* oltre a quella legata alla crisi. Se, come abbiamo detto, i fattori considerati singolarmente assorbono anche l'effetto delle variabili omesse, la differenza percentuale tra i coefficienti della variabile crisi nelle due configurazioni (singolarmente o congiuntamente alla variabile *policy*) restituisce l'effetto dell'EU ETS sulla variabile dipendente.

Da tali considerazioni emerge che l'Emission Trading System europeo è responsabile di una percentuale compresa tra l'11,47% e il 13,84% della riduzione totale delle emissioni di gas serra dell'Unione Europea tra il 2005 e il 2012. Traducendo in valori assoluti, l'EU ETS ha permesso una riduzione compresa tra le 33.78 e le 40.76 MgT di gas serra sulle 294,5 MgT totali eliminate dall'UE nel periodo considerato.

4.2 Can Emission Trading Scheme Improve Carbon Emission Performance? Evidence From China

“*Can Emission Trading Scheme Improve Carbon Emission Performance? Evidence From China*” è uno studio cinese pubblicato nel 2021 da Zheng Y., Sun X., Zhang C., Wang D. e Mao J., nel quale gli autori rilevano l'efficacia degli ETS pilota cinesi, implementati a livello provinciale, sulla riduzione delle emissioni di carbonio e sull'innovazione tecnologica. Tali sistemi di scambio delle quote di emissione sono stati implementati tra il 2013 e il 2014 in 7 città o province cinesi (Shenzhen, Shanghai, Beijing, provincia di Guangdong, Tianjin, provincia di Hubei e Chongqing), in preparazione

all'introduzione dell'ETS nazionale cinese, avvenuta nel gennaio del 2021. Nel 2016 si è poi aggiunta Fujian, ma non è stata inclusa nelle analisi portate avanti dagli autori.

Questo paper, a differenza dei precedenti, è effettuato a livello microeconomico, concentrandosi dunque sulle singole imprese facenti parte dei meccanismi di scambio delle quote di emissione. Per effettuare le analisi viene utilizzato un modello Difference-In-Difference, ovvero si confrontano due gruppi di imprese:

- Un *treatment group*, ovvero l'insieme delle imprese che ricevono il "trattamento" (in questo caso quelle che aderiscono all'ETS);
- Un *control group*, ovvero un insieme di imprese che invece non vengono trattate, e che dunque non aderiscono all'ETS;

Il modello, come suggerisce il nome, rileva le differenze nelle emissioni e nelle innovazioni tra i due gruppi prima e dopo l'introduzione dell'ETS, che rappresenta il "trattamento", per verificare se quest'ultimo abbia un effetto o meno sulle variabili dipendenti osservate.

Le due ipotesi che gli autori si ripropongono di verificare sono:

1. Gli ETS pilota cinesi migliorano le performance a livello di emissioni di CO₂ nelle imprese quotate che vi aderiscono;
2. Gli ETS pilota cinesi migliorano le performance a livello di emissioni di CO₂ nelle imprese quotate che vi aderiscono attraverso incentivi all'innovazione aziendale;

Il dataset utilizzato per effettuare le analisi è composto da 105 imprese quotate in borsa (Shanghai Stock Exchange e Shenzhen Stock Exchange), nel periodo che va dal 2008 al 2018.

Il modello utilizzato è costruito come segue:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 Treat \times T + \sum Control + year + industry + province + \varepsilon$$

Dove:

- *Treat* è una variabile dummy regionale che è pari a 1 se la provincia è parte del gruppo trattato, 0 altrimenti.
- *T* è una variabile dummy che assume il valore 1 se l'ETS è implementato, 0 altrimenti.
- *Control* sta ad indicare le variabili di controllo, che riguardano informazioni specifiche sulle imprese del dataset, come dimensione, tasso di crescita, leva finanziaria, anno di quotazione, cash flow, ecc.

- *Year, industry e province*, rappresentano gli effetti fissi dell'anno, del settore e della provincia.

La variabile di interesse, come è facilmente intuibile, è *Treat X T*, che indica se una determinata impresa fa parte del gruppo trattato, che corrisponde alla situazione in cui essa fa parte di una provincia sottoposta all'ETS e partecipa a quest'ultimo.

Le variabili dipendenti, come già accennato, sono le emissioni di CO₂ e l'innovazione tecnologica, denominate rispettivamente CO₂ e R&D.

Dalle analisi effettuate emergono i seguenti risultati:

- All'interno del modello che utilizza come variabile dipendente le emissioni di CO₂, il coefficiente di *Treat X T* è statisticamente significativo al 10%, ed ha segno negativo. Ciò significa che si può rifiutare l'ipotesi nulla che l'introduzione dell'ETS non abbia generato una riduzione delle emissioni di CO₂.
- All'interno del modello che utilizza come variabile dipendente l'innovazione aziendale (R&D), il coefficiente di *Treat X T* è statisticamente significativo al 5%, ed ha segno positivo. Ciò significa che si può rifiutare l'ipotesi nulla che l'introduzione dell'ETS non abbia generato un aumento delle innovazioni aziendali all'interno delle imprese che vi partecipano.

Dunque, gli schemi di Emission Trading pilota introdotti in Cina hanno avuto l'effetto sperato, ed hanno contribuito alla riduzione delle emissioni di gas inquinanti in atmosfera anche grazie agli incentivi all'introduzione di innovazioni e miglioramenti di processo nelle imprese.

4.3 Assessing the factors behind CO₂ emissions changes over the phases 1 and 2 of the EU ETS: an econometric analysis

“*Assessing the factors behind CO₂ emissions changes over the phases 1 and 2 of the EU ETS: an econometric analysis*” è uno studio pubblicato nell'ottobre del 2018 da Olivier Gloaguen ed Emilie Alberola che cerca di identificare i fattori che influiscono sulle emissioni di CO₂ e quantificare il loro impatto. Il perimetro dello studio è limitato a tutti quei settori ed impianti che partecipano all'EU ETS, e uno dei driver che viene analizzato all'interno dello studio è il prezzo della CO₂ che si forma all'interno del mercato europeo del carbonio, motivo per cui il paper è di particolare interesse per gli scopi di questa tesi.

Il metodo utilizzato dagli autori consiste nell'effettuare un'analisi di regressione con dati panel a effetti fissi per individuare i fattori che hanno significativamente influito sulle quantità di CO₂ immesse in atmosfera nel periodo analizzato; successivamente viene generato un modello BAU (Business-As-Usual), che simula una situazione nella quale non vengano presi provvedimenti di alcun tipo per ridurre le emissioni di gas serra, per verificare la differenza tra le emissioni osservate e quelle previste dal modello di simulazione.

L'analisi viene effettuata su un campione di 21 Paesi dell'Unione Europea nel periodo che va dal 2005 al 2011.

A seguito di un'approfondita revisione della letteratura, Gloaguen ed Alberola individuano tutte le possibili variabili rilevanti per il modello, che sono:

- Il PIL dei Paesi presi in considerazione, ricalcolato sui soli settori inclusi nell'EU ETS;
- I volumi di output dei settori energetico ed industriale;
- Il costo di commutazione da carbone a gas naturale;
- I prezzi di carbone e gas naturale;
- La percentuale di energie rinnovabili per la generazione di energia elettrica;
- Il consumo di energia elettrica rapportato al PIL;
- Il consumo totale di energia rapportato al PIL;
- Il prezzo della CO₂ nell'ambito dell'EU ETS;

Le analisi di regressione ad effetti fissi vengono elaborate in 4 varianti, ma in nessuna di queste il prezzo della CO₂ che si genera all'interno dell'EU ETS risulta statisticamente significativo.

Successivamente gli autori ipotizzano uno scenario BAU e confrontano quest'ultimo con i dati realmente osservati per ciascuno dei fattori presi in considerazione all'interno dell'analisi.

Lo scenario ipotetico viene calcolato ipotizzando un andamento lineare coerente con l'andamento medio di ciascuno degli indicatori nei due decenni precedenti al 2005; fanno eccezione il prezzo della CO₂, che viene fissato a 1 €/tonnellata e mantenuto costante, e l'energy ratio (che comprende le variabili legate ai consumi totali di energia e ai consumi di energia elettrica), che viene mantenuto invariato rispetto ai livelli del 2005 negli anni successivi.

Da questi confronti emergono i seguenti risultati:

- La stima di riduzione globale di emissioni di CO₂ tra il 2005 e il 2011, calcolata come differenza di tale grandezza tra lo scenario BAU e le osservazioni reali, si attesta tra 1.1 GtCO₂ e 1.2 GtCO₂;
- Di questi, tra i 600 e i 700 MtCO₂ sono attribuibili all'aumento della percentuale di fonti rinnovabili per la produzione di energia, che corrisponde ad una percentuale compresa tra il 50% e il 70% della riduzione totale;
- Una percentuale più contenuta, tra il 20% e il 30%, che corrisponde a circa 300 MtCO₂, è attribuibile alla crisi economica iniziata nel 2008;
- Circa 200 MtCO₂ sono invece imputabili agli effetti di sostituzione dei prezzi di carbone e gas naturale;
- Nuovamente, si osserva che il prezzo della CO₂ ha avuto effetti minimi, o inesistenti, sulla riduzione delle emissioni in atmosfera;

Gli autori concludono che i segnali di prezzo della CO₂ generati dall'EU ETS non sono stati sufficienti, nelle prime due fasi del meccanismo, per raggiungere gli effetti sperati; sottolineano, tuttavia, che tali prezzi possano essere stati influenzati da diversi fattori, quali la crisi economica e lo sviluppo delle energie rinnovabili, che hanno impedito di raggiungere un livello adeguato agli obiettivi imposti dall'EU ETS.

5 ANALISI DI REGRESSIONE

Come già accennato, l'obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di verificare se l'introduzione degli Emission Trading System e, in seconda battuta, i prezzi dei diritti di emissione all'interno di questi mercati, contribuiscano a ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera nei Paesi che li hanno implementati.

Per fare ciò, si è deciso di utilizzare dei modelli di regressione lineare multipla con dati panel, servendosi del software Stata 12, per verificare l'effetto sulla variabile dipendente (le emissioni di CO₂) di una variazione unitaria delle variabili di interesse (l'introduzione di un ETS nazionale nella prima analisi, i prezzi dei diritti di emissione nella seconda). In particolare, si è scelto il modello di regressione a effetti fissi, di modo da rimuovere gli effetti delle caratteristiche individuali (invarianti nel tempo) di ciascun Paese. Per ciascuna regressione in STATA è inoltre stata utilizzata l'opzione *cluster*, in modo da ottenere stime degli errori standard robuste all'eteroschedasticità e all'autocorrelazione.

I modelli possono essere scritti come segue:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1,it} + \sum_j \beta_j X_{j,it} + \alpha_i + u_{it}$$

Dove:

- i e t rappresentano rispettivamente il Paese e l'anno;
- Y_{it} è la variabile dipendente, nel nostro caso le emissioni di CO₂;
- β_i sono i coefficienti di regressione, stimati con stimatori OLS;
- $X_{1,it}$ è la variabile di interesse, ovvero la dummy ETS per la prima analisi e il prezzo dei diritti di emissione per la seconda;
- $X_{j,it}$ sono le variabili di controllo utilizzate nel modello;
- α_i è l'effetto fisso del Paese i
- u_{it} è l'errore di regressione

Nei prossimi paragrafi saranno descritte le variabili selezionate e i criteri alla base della scelta del campione utilizzato nelle analisi; verranno infine illustrate le analisi e i risultati ottenuti.

5.1 Costruzione dei modelli di regressione

5.1.1 Campione

L'obiettivo di questo studio, come già accennato in precedenza, è quello di fornire un aggiornamento sull'efficacia degli Emission Trading Systems nella riduzione delle emissioni inquinanti basato sui più recenti dati disponibili. Si vuole inoltre utilizzare una base geografica ampia, in modo da includere anche i mercati del carbonio che sono stati introdotti negli ultimi anni e verificare se un simile strumento sia effettivamente efficace per gli scopi descritti finora.

Si è deciso, dunque, di utilizzare un campione composto dai 38 Paesi dell'OECD più la Cina, in modo da coprire una vasta e variegata area geografica. Si è scelto inoltre di coprire un periodo che va dal 2001 al 2018, che rappresenta il più ampio intervallo di tempo utile sulla base della disponibilità dei dati: dopo il 2018 e prima del 2001, infatti, i dati disponibili non erano sufficienti a condurre un'analisi solida.

5.1.2 Variabili

A seguito di un'accurata revisione della letteratura disponibile in merito ai mercati del carbonio, è stata effettuata una selezione delle variabili ritenute più rilevanti per l'analisi. Di seguito sarà illustrata e brevemente descritta ciascuna di queste variabili, mentre i database utilizzati per la costruzione del dataset completo sono illustrati in appendice.

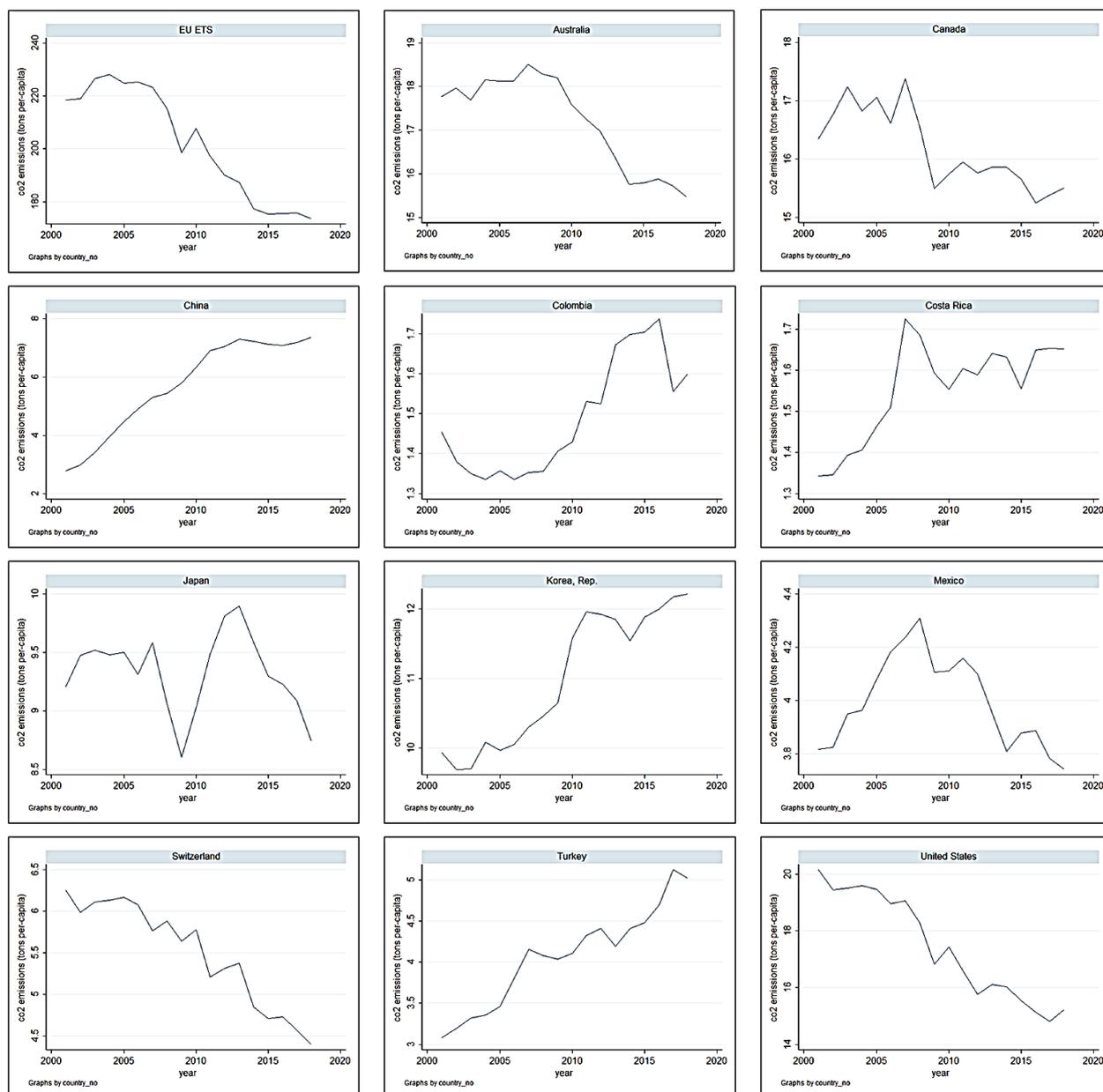
5.1.2.1 Emissioni di CO₂

Il livello di emissioni di CO₂ è la variabile dipendente che si vuole analizzare nello studio. I dati sono stati estratti dal database fornito dalla World Bank e sono espressi in tonnellate pro-capite.

La World Bank definisce la CO₂, ovvero l'anidride carbonica o biossido di carbonio, come segue: *“L'anidride carbonica (CO₂) è un gas naturale fissato dalla fotosintesi nella materia organica. È un sottoprodotto della combustione di combustibili fossili e della combustione della biomassa e viene anche emesso dai cambiamenti nell'uso del suolo e da altri processi industriali. È il principale gas serra di origine antropica che influenza l'equilibrio radiativo della Terra. È il gas di riferimento rispetto al quale vengono misurati gli altri gas serra, avendo quindi un potenziale di riscaldamento globale di 1”.*

Chiaramente, l'anidride carbonica non è il solo gas inquinante che contribuisce al surriscaldamento globale; vi sono, infatti, altri gas serra che vengono regolarmente monitorati dalle autorità e che sono regolati all'interno di alcuni mercati del carbonio. Si è scelto, tuttavia, di concentrarsi esclusivamente sulla CO₂ poiché si tratta dell'unico gas inquinante che viene regolato da tutti gli ETS considerati all'interno delle analisi, mentre solo alcuni mercati del carbonio si estendono anche agli altri gas serra.

Di seguito si riportano i grafici che mostrano l'andamento nel tempo delle emissioni di CO₂ per ciascun Paese; i Paesi facenti parte dell'EU ETS sono stati aggregati in un singolo grafico.



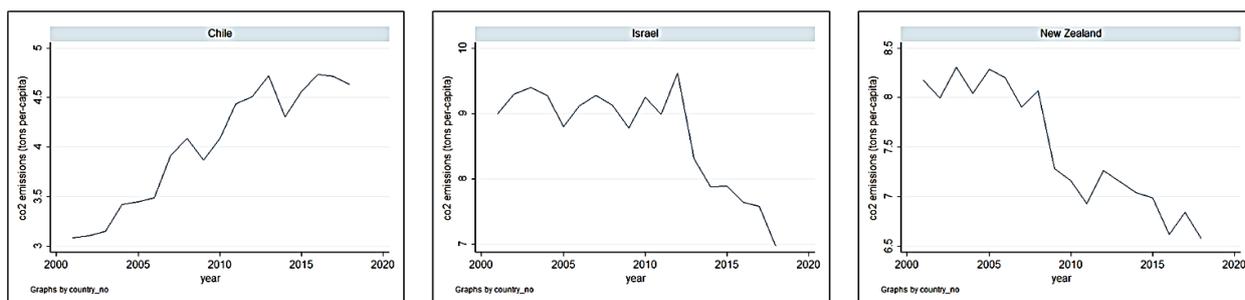


Figura 5.1 Emissioni di CO₂ per Paese

5.1.2.2 Variabile dummy che indica l'implementazione di un ETS

La prima variabile di interesse che viene analizzata in questo studio è l'implementazione di un Emission Trading System. Si è dunque deciso di utilizzare una variabile dummy che assume valore 1 se un Paese in un determinato anno è coperto da un mercato del carbonio, 0 altrimenti.

La mappatura dei Paesi e degli anni per cui la variabile assume valore 1 è stata effettuata manualmente in Excel, basandosi sulle informazioni fornite sul sito ufficiale dell'International Carbon Action Partnership (ICAP), un organismo internazionale creato per facilitare la cooperazione tra i Paesi, le giurisdizioni e le istituzioni sovranazionali che hanno deciso di implementare un sistema cap-and-trade per la regolazione delle emissioni di gas serra.

5.1.2.3 Prezzi dei permessi di emissione all'interno degli ETS

La seconda variabile di interesse che si vuole analizzare nel presente elaborato è il prezzo dei diritti di emissione all'interno dei vari ETS presi in considerazione, per verificare se vi sia una correlazione tra questi e il livello di emissioni di CO₂ in atmosfera. Il database completo è stato estratto dal sito ufficiale dell'International Carbon Action Partnership, e copre un periodo che va dal 2008 al 2018. Tale database mostra i prezzi giornalieri dei diritti di emissione in ciascun ETS; dunque, è stato manipolato attraverso il software Microsoft Excel in modo da ricavare i prezzi medi annui per ciascun Paese. I dati sono espressi in dollari statunitensi.

Di seguito illustreremo le variabili di controllo che sono state selezionate per il modello e che si ritiene possano spiegare buona parte dell'errore residuo del modello di regressione.

5.1.2.4 Entrate generate da imposte ambientali

Si è scelto di inserire le entrate fiscali legate all'ambiente come variabile di controllo, poiché queste potrebbero contribuire a spiegare parte delle riduzioni di emissioni di CO₂ in ciascun Paese grazie ai segnali di prezzo che tali imposte generano. In questa categoria rientrano, ad esempio, le carbon taxes, analizzate nei paragrafi precedenti. Queste imposte hanno lo scopo di internalizzare i costi dell'inquinamento, secondo il principio già citato del "chi inquina paga", o "*Polluter Pays Principle*", e non si limitano al solo ambito delle emissioni di gas serra, ma comprendono un variegato spettro di campi di applicazione, quali la tutela della biodiversità, l'inquinamento degli oceani e la lotta al cambiamento climatico.

I dati sono stati estratti da un database fornito dall'OECD e sono espressi in dollari statunitensi pro-capite.

5.1.2.5 Consumo di energia proveniente da fonti rinnovabili

L'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile per la produzione di energia è un importante driver per la riduzione delle emissioni, in quanto rappresenta un'alternativa all'utilizzo dei combustibili fossili, che sono una delle principali fonti di gas serra.

Si è deciso dunque di includere tra le variabili di controllo il consumo pro-capite di energia primaria proveniente da fonti rinnovabili, espressa in TWh, facendo riferimento ad un database fornito da *Our World In Data*.

5.1.2.6 Consumo di energia proveniente da combustibili fossili

In contrapposizione con il consumo di energia primaria proveniente da fonti rinnovabili, si è deciso di inserire il consumo pro-capite di energia proveniente da combustibili fossili, dal momento che questi ultimi sono alcuni dei maggiori responsabili delle emissioni di gas inquinanti in atmosfera; ci si aspetta, in questo caso, di ottenere un coefficiente di regressione positivo.

Anche per questa variabile si è fatto riferimento al database fornito da *Our World In Data*, e i dati sono espressi in TWh.

5.1.2.7 *Environmental Stringency Index*

Un'altra variabile che è stata presa in considerazione come variabile di controllo per le analisi è l'Environmental Stringency Index. Esso è un indicatore composto che misura il livello di severità della regolamentazione relativa a temi ambientali all'interno di ciascun Paese, ed è calcolato dall'OECD come score che può variare in un range compreso tra 0 e 6.

Esso è costruito aggregando più punteggi individuali relativi a una moltitudine di strumenti di regolamentazione ambientale, suddivisi in due grandi categorie: gli strumenti market-based e quelli non-market-based. Tali punteggi vengono poi aggregati in un unico score.

Sfortunatamente, si è reso necessario escludere la variabile in questione per due ragioni principali: da un lato, la serie temporale ridotta (2001-2012 per la maggioranza dei Paesi, 2001-2015 solo per alcuni) portava ad un numero eccessivamente basso di osservazioni nelle analisi di regressione, dall'altro, uno dei sotto-indicatori compresi nell'ESI è calcolato proprio sulla base dell'efficacia degli Emission Trading Systems dei vari Paesi, portando ad un potenziale problema di collinearità con la variabile di interesse; per queste ragioni, la variabile è stata esclusa dal campione.

5.1.2.8 *Fossil fuel subsidies*

Come nel caso del consumo di combustibili fossili per la produzione di energia, i sussidi per i combustibili fossili rappresentano un incentivo non alla riduzione delle emissioni, bensì al loro aumento.

La fonte dei dati utilizzati è *The Fossil Fuel Subsidy Tracker*, un progetto nato dalla collaborazione tra OECD e IISD (International Institute for Sustainable Development) che ha lo scopo di raccogliere annualmente i dati sui sussidi ai combustibili fossili di 192 economie mondiali.

I dati sono espressi in milioni di dollari statunitensi e comprendono tutti i contributi finanziari forniti dal governo o da enti pubblici nazionali.

Sfortunatamente si è reso necessario escludere questa variabile dalle analisi per via della ridotta serie temporale (2010-2018), che portava il numero di osservazioni a ridursi drasticamente nelle analisi di regressione.

5.1.2.9 PIL pro-capite e crescita percentuale del PIL

Oltre ai fattori legati all'ambiente, si è ritenuto opportuno includere nell'analisi anche due fattori macroeconomici legati all'economia dei Paesi considerati. In particolare, si è deciso di utilizzare come variabili di controllo il PIL e la sua crescita percentuale.

Tale scelta è determinata dall'assunzione che sia più probabile che le grandi potenze economiche e i Paesi emergenti abbiano più facile accesso a strumenti di riduzione delle emissioni come i mercati del carbonio, le fonti di energia rinnovabile e le innovazioni tecnologiche mirate a ridurre l'impatto ambientale delle attività umane; d'altro canto, i Paesi più ricchi sono tendenzialmente più industrializzati, dunque è probabile che producano un maggiore quantitativo di gas inquinanti. Si è giunti quindi alla conclusione che la ricchezza e lo sviluppo economico di un Paese siano importanti driver da tenere in considerazione quando si effettuano analisi sul livello di emissioni di CO₂.

La fonte dei dati è anche in questo caso la World Bank; il PIL è espresso in dollari pro-capite, mentre la crescita del PIL è espressa in percentuale.

5.1.2.10 Qualità della democrazia

Oltre agli indicatori macroeconomici descritti precedentemente, si è pensato di includere un ulteriore fattore legato alla politica dei Paesi del campione utilizzato, ovvero la qualità della democrazia. L'indicatore scelto per rappresentare tale driver deriva dalla disaggregazione di un più ampio indicatore, ovvero l'SGI (*Sustainable Government Indicator*), finalizzato a fornire una panoramica della complessiva sostenibilità sociale, politica ed ambientale di un Paese. Esso è suddiviso in diverse sottocategorie cui è assegnato uno score compreso tra 1 e 10; tali punteggi vengono poi aggregati per fornire il valore dell'indicatore complessivo.

Una delle sottocategorie dell'SGI è appunto la qualità della democrazia, anch'essa espressa come punteggio compreso tra 1 e 10; per gli obiettivi della nostra analisi si è ritenuto opportuno estrarre tale sottocategoria e utilizzarla come indicatore del livello di democrazia di un Paese.

Il motivo per cui si è preso in considerazione questo fattore è la seguente assunzione: nei Paesi più democratici si ha tendenzialmente una libera circolazione delle informazioni, dunque è più probabile che i cittadini siano maggiormente consci del cambiamento climatico e delle sue conseguenze e possano organizzare proteste e manifestazioni – come peraltro sta accadendo frequentemente negli ultimi anni – che possano spingere i governi ad attivarsi in tal senso.

Sfortunatamente, come nel caso dei sussidi ai combustibili fossili e dell'Environmental Stringency Index, si è reso necessario escludere la variabile relativa al livello di democrazia a causa della ristretta serie temporale (2014-2018) e la conseguente riduzione del numero di osservazioni utilizzabili per l'analisi di regressione.

Variabile	Descrizione	# Osservazioni	Media	Dev. Standard	Minimo	Massimo
<i>co2</i>	Emissioni di CO ₂ pro-capite	702	8,10	4,30	1,34	25,67
<i>ets_dummy</i>	Variabile binaria che indica presenza/assenza di ETS	702	0,55	0,50	0,00	1,00
<i>price</i>	Prezzo dei diritti di emissione	272	13,65	8,07	2,26	33,25
<i>env_tax_rev</i>	Entrate fiscali da imposte ambientali	648	895,63	503,57	-267,21	2.972,78
<i>gdp</i>	PIL pro-capite	702	32.645,12	22.845,40	1.053,11	123.514,20
<i>gdp_growth</i>	Crescita del PIL %	702	0,03	0,03	-0,15	0,25
<i>foss_cons</i>	Consumo pro-capite di energia da combustibili fossili	702	3.334,52	2.524,50	5,58	10.289,36
<i>ren_cons</i>	Consumo pro-capite di energia da fonti rinnovabili	702	3.728,34	8.369,37	3,30	57.655,79

Figura 5.2 Statistiche descrittive delle variabili incluse nel modello.

Variabile	Descrizione	# Osservazioni	Media	Dev. Standard	Minimo	Massimo
<i>esi</i>	Environmental Stringency Index	332	2,38	0,76	0,65	4,13
<i>f_f_subs</i>	Sussidi per l'utilizzo di combustibili fossili	350	3.370.000.000	5.720.000.000	0	37.000.000.000
<i>dem</i>	Indice di democrazia (estratto d SGI)	180	7,13	1,41	2,69	9,29

Figura 5.3 Statistiche descrittive delle variabili prese in considerazione ma successivamente escluse dai modelli.

5.2 Effetto dell'introduzione di un ETS sulle emissioni di CO₂

In questa prima parte di analisi, si vuole verificare se esista una significativa influenza della presenza di un ETS nazionale sulle emissioni di CO₂. A tal fine sono state effettuate diverse analisi di regressione, aggiungendo passaggio dopo passaggio le variabili di controllo precedentemente descritte per registrare eventuali variazioni nei coefficienti di regressione. In un secondo momento tali analisi sono state ripetute aggiungendo un'importante assunzione: è possibile che, a seguito dell'introduzione ufficiale di un ETS, i Paesi abbiano avuto bisogno di un certo periodo di tempo per assimilare le nuove normative e adeguarvisi; tale ipotesi è stata implementata nell'analisi inserendo un lag temporale di un anno sulla variabile d'interesse *ets_dummy*, attraverso il comando “*l.*” in STATA.

Di seguito si riporta l'output delle analisi effettuate.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>ets_dummy</i>	-0.93039*** (0.20)	-1.09503*** (0.19)	-0.54713*** (0.11)	-0.44280 (0.24)	-0.57342*** (0.12)	-0.67084** (0.21)	-0.30061 (0.16)	-0.28847 (0.17)
<i>env_tax_rev</i>		0.00322* (0.00)			0.00058 (0.00)	0.00304* (0.00)		0.00048 (0.00)
<i>ren_cons</i>			-0.00005*** (0.00)		-0.00005*** (0.00)		-0.00005*** (0.00)	-0.00004*** (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00118*** (0.00)		0.00110*** (0.00)		0.00116*** (0.00)	0.00109*** (0.00)
<i>gdp</i>				-0.00003* (0.00)		-0.00003* (0.00)	-0.00002* (0.00)	-0.00002* (0.00)
<i>gdp_growth</i>				1.53884 (1.37)		0.79354 (1.23)	1.49196 (0.83)	1.23778 (0.67)
<i>constant</i>	8.60679*** (0.11)	5.85084*** (1.33)	4.65691*** (0.28)	9.31988*** (0.35)	4.45319*** (0.57)	6.64914*** (1.29)	5.03938*** (0.31)	4.99007*** (0.56)
<i>R-sqr</i>	0.102	0.270	0.778	0.141	0.778	0.300	0.788	0.792
<i>F</i>	22	17	108	9	77	10	88	67
<i>obs</i>	702.0	648.0	702.0	702.0	648.0	648.0	702.0	648.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.4 Analisi di regressione con variabile d'interesse *ets_dummy*

Prendendo in considerazione il modello *m8*, che contiene tutte le variabili di controllo e mostra un R^2 particolarmente elevato, si può notare che le variabili statisticamente significative sono quelle relative al mix energetico (*ren_cons* e *foss_cons*) e la variabile legata al PIL nazionale, seppure con un coefficiente di regressione molto ridotto in valore assoluto.

Per quanto riguarda le variabili legate al mix energetico, tale risultato era prevedibile, dal momento che la produzione di energia è notoriamente una delle maggiori responsabili dell'immissione di gas inquinanti in atmosfera. È da sottolineare, inoltre, la differenza nei coefficienti di regressione di tali variabili: i segni sono ovviamente opposti, ma si può notare come il coefficiente legato al consumo di combustibili fossili sia, in valore assoluto, molto superiore a quello legato al consumo di energia proveniente da fonti rinnovabili. Tale risultato sembra evidenziare che l'impatto negativo dei combustibili fossili sull'ambiente sia molto più elevato rispetto a quello positivo derivante dall'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia.

Passando ad analizzare le altre variabili incluse nel modello, possiamo notare che la variabile *env_tax_rev*, che indica i ricavi provenienti da tasse legate all'ambiente, è significativa solamente nel modello *m2* e nel modello *m6*, ma porta ad un aumento dell' R^2 , ovvero della variabilità spiegata dal modello, quando viene introdotta. La variabile *gdp_growth*, invece, mostra un coefficiente di regressione positivo, ma non risulta significativa in nessuno dei modelli analizzati.

Passando poi alla nostra variabile di interesse, *ets_dummy*, vediamo che essa risulta statisticamente significativa in quasi tutti i modelli, tranne che in *m4*, *m7* e *m8*. Nel modello più completo (*m8*), essa mostra un coefficiente di regressione negativo pari a -0,28847, ad indicare che l'introduzione di un ETS è correlata con una diminuzione di circa 0,29 tonnellate pro-capite di CO₂; tuttavia, tale relazione non risulta statisticamente significativa. Notiamo inoltre che essa risulta significativa solo nei modelli in cui non viene presa in considerazione la variabile *gdp*.

I risultati cambiano quando viene introdotto il lag temporale di un anno sulla variabile ETS dummy; di seguito si riporta l'output ottenuto.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>L.ets_dummy</i>	-1.07640*** (0.21)	-1.13237*** (0.17)	-0.54576*** (0.10)	-0.73332** (0.23)	-0.55365*** (0.10)	-0.81526*** (0.20)	-0.42518** (0.14)	-0.40278* (0.15)
<i>env_tax_rev</i>		0.00320* (0.00)			0.00048 (0.00)	0.00308* (0.00)		0.00044 (0.00)
<i>ren_cons</i>			-0.00005*** (0.00)		-0.00004*** (0.00)		-0.00005*** (0.00)	-0.00004*** (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00120*** (0.00)		0.00113*** (0.00)		0.00119*** (0.00)	0.00112*** (0.00)
<i>gdp</i>				-0.00003 (0.00)		-0.00002 (0.00)	-0.00001 (0.00)	-0.00001 (0.00)
<i>gdp_growth</i>				0.57676 (1.39)		0.10687 (1.25)	1.03284 (0.83)	0.82776 (0.70)
<i>constant</i>	8.65164*** (0.11)	5.83185*** (1.38)	4.55670*** (0.32)	9.35297*** (0.45)	4.39486*** (0.58)	6.61044*** (1.28)	4.78779*** (0.39)	4.75517*** (0.67)
<i>R-sqr</i>	0.142	0.305	0.813	0.167	0.813	0.327	0.816	0.818
<i>F</i>	26	21	133	10	86	12	96	70
<i>obs</i>	663.0	611.0	663.0	663.0	611.0	611.0	663.0	611.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.5 Analisi di regressione con variabile d'interesse *ets_dummy* con un lag temporale di 1 anno.

Considerando un lag temporale di un anno vediamo che la variabile *ets_dummy* risulta significativa in tutte le analisi, compreso il modello *m8* che tiene conto di tutte le variabili di controllo. Il segno del coefficiente di regressione è negativo, come nel caso precedente, ad indicare una diminuzione delle emissioni quando la variabile dummy assume valore 1, ovvero quando il Paese implementa un ETS. In particolare, facendo riferimento all'ultimo modello, che contiene tutte le variabili al suo interno e mostra un R^2 molto elevato, vediamo che l'introduzione di un ETS è correlata con una riduzione di emissioni pari a 0,40278 tonnellate di CO_2 pro-capite.

Rispetto al caso precedente, vediamo che le significatività di *gdp* ed *ets_dummy* si invertono: mentre nella prima analisi, che non teneva in considerazione il lag temporale sulla variabile di interesse, il coefficiente di *gdp* era sempre statisticamente significativo, in questo caso non lo è in nessuno dei modelli.

Possiamo quindi affermare che vi sia una buona probabilità che l'introduzione di un sistema di scambio delle quote di emissione porti ad un'effettiva riduzione dei gas inquinanti introdotti in atmosfera, se si tiene conto di un lag temporale che possa consentire ai Paesi di adeguarsi alle nuove norme imposte dall'introduzione di un sistema di scambio delle quote di emissione.

5.3 Effetto del prezzo delle quote di carbonio sulle emissioni di CO₂

Dopo aver verificato che esiste una significativa correlazione tra l'introduzione di un sistema cap-and-trade e la riduzione delle emissioni di CO₂, si vuole verificare se queste ultime siano o meno influenzate, e in che misura, dall'andamento dei prezzi dei diritti di emissione all'interno degli ETS. Per fare ciò sono state effettuate delle analisi di regressione in diversi step, inserendo man mano tutte le variabili di controllo.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>price</i>	0.05103*** (0.01)	0.05079*** (0.01)	0.01886*** (0.00)	0.04681*** (0.01)	0.01891*** (0.00)	0.04699*** (0.01)	0.01588*** (0.00)	0.01632*** (0.00)
<i>env_tax_rev</i>		0.00265 (0.00)			0.00044 (0.00)	0.00281 (0.00)		0.00045 (0.00)
<i>ren_cons</i>			0.00001 (0.00)		0.00001 (0.00)		-0.00002 (0.00)	-0.00002 (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00107*** (0.00)		0.00104*** (0.00)		0.00106*** (0.00)	0.00103*** (0.00)
<i>gdp</i>				0.00002 (0.00)		0.00001 (0.00)	0.00002** (0.00)	0.00001** (0.00)
<i>gdp_growth</i>				-1.83178 (1.76)		-3.02412 (2.48)	-0.64013 (0.59)	-0.88097 (0.60)
<i>constant</i>	6.92512*** (0.14)	4.05254 (2.45)	4.21166*** (0.44)	6.20870*** (0.44)	3.95294*** (0.86)	3.57857 (2.47)	3.80865*** (0.49)	3.57145*** (0.91)
<i>R-sqr</i>	0.248	0.341	0.852	0.260	0.858	0.354	0.859	0.863
<i>F</i>	26	18	72	11	82	10	59	79
<i>obs</i>	272.0	257.0	272.0	272.0	257.0	257.0	272.0	257.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.6 Analisi di regressione con variabile d'interesse *price*

Per quanto riguarda i coefficienti di regressione delle variabili di controllo, i risultati non differiscono eccessivamente rispetto all'analisi relativa all'introduzione degli ETS; per quanto riguarda i prezzi, invece, si ottiene un risultato decisamente controintuitivo e inaspettato: i coefficienti di regressione sono sempre significativi, ma di segno positivo, ad indicare che un aumento dei prezzi dei diritti di emissione è correlato con un aumento delle emissioni – ad esempio, nel modello *m8*, ad una variazione positiva unitaria del prezzo corrisponde un aumento delle emissioni pari a 0,01675 tonnellate pro-capite –.

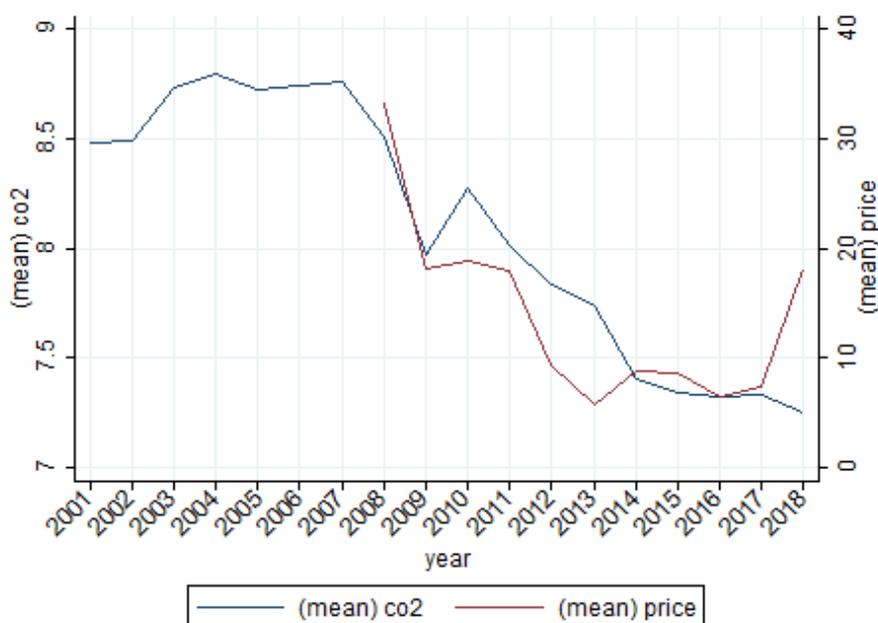


Figura 5.7 Emissioni medie di CO₂ (linea blu) vs prezzi medi dei diritti di emissione (linea rossa)

Per quanto inaspettata, tale relazione sembra essere confermata dalla rappresentazione grafica dei dati mostrata in figura 5.7, dove viene mostrato l'andamento delle emissioni complessive medie di CO₂ (di tutti i 39 Paesi appartenenti al campione) rispetto all'andamento medio dei prezzi di tutti gli ETS considerati nell'analisi.

Come si può notare, la relazione sembra essere direttamente proporzionale per buona parte del periodo considerato, ad eccezione degli ultimi anni, in cui le due curve tendono a divergere. Questa anomalia può essere causata da diversi fattori, una possibile spiegazione potrebbe essere legata alla crisi del 2008, insorta successivamente allo scoppio della bolla immobiliare nel mercato statunitense, che ha causato gravi ripercussioni a livello economico in tutto il mondo (si può infatti notare dal grafico come il crollo dei prezzi e del livello delle emissioni si verifichi proprio a partire dal 2008). Tale crisi ha infatti generato una stagnazione dell'attività produttiva, che ha certamente

contribuito a diminuire la quantità di emissioni causate da tali attività. Una tale diminuzione può aver generato una notevole riduzione della domanda di diritti di emissione, che a sua volta causa una riduzione dei prezzi di tali allowancies. Potrebbe esserci dunque una distorsione generata dallo shock dovuto alla crisi, che non consente di estrapolare la reale correlazione tra le variabili che si stanno studiando. Altri fattori, quali ad esempio la necessità da parte dei Paesi di un certo periodo di tempo per poter assimilare le variazioni di prezzo e reagire di conseguenza, possono inoltre aver influito sui risultati.

Per tentare di “ripulire” le analisi da tali fattori esogeni, si è deciso di ripetere le analisi effettuando alcune trasformazioni sulle variabili, nel tentativo di verificare se tale risultato imprevisto fosse effettivamente dovuto all’omissione di alcune importanti assunzioni di base, quali ad esempio la presenza di anomalie dovute alla crisi del 2008, oltre che alla limitata disponibilità di dati relativi ai prezzi dei diritti di emissione dal punto di vista della serie temporale.

In particolare, sono state effettuate tre ulteriori analisi, secondo il seguente schema:

- In un primo momento, analogamente a quanto fatto nell’analisi con *ets_dummy*, si è deciso di introdurre un lag temporale di un anno nella variabile *price*, utilizzando la funzione “l.” in STATA, supponendo che fosse necessario un certo periodo di tempo per assimilare le variazioni di prezzo e organizzarsi di conseguenza nell’acquisto dei diritti di emissione e nella conseguente riduzione o aumento di emissioni;
- Successivamente si è tentato di verificare quale fosse l’impatto delle variazioni di prezzo, senza alcun lag temporale, sulla *variazione* delle emissioni di CO₂ (utilizzando il comando “d.” in STATA), anziché sul loro valore assoluto, nel tentativo di depurare il reale effetto delle variazioni di prezzo sulle emissioni da tutti gli altri effetti secondari che possono disturbare l’analisi influenzando sul livello di emissioni complessivo;
- Infine, nell’ultima analisi, sono state considerate congiuntamente le assunzioni delle analisi precedenti, utilizzando quindi come variabile dipendente la variazione delle emissioni e come variabile di interesse i prezzi con un lag temporale di un anno;

I risultati sono cambiati in maniera sostanziale nei 3 step sopra descritti; si riportano di seguito gli output ottenuti.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>L.price</i>	0.04228*** (0.01)	0.04773*** (0.01)	0.00807* (0.00)	0.05772*** (0.01)	0.00826* (0.00)	0.05963*** (0.01)	0.01013* (0.00)	0.01025* (0.00)
<i>env_tax_rev</i>		0.00322 (0.00)			0.00032 (0.00)	0.00295 (0.00)		0.00031 (0.00)
<i>ren_cons</i>			0.00002 (0.00)		0.00002 (0.00)		-0.00001 (0.00)	-0.00001 (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00105*** (0.00)		0.00103*** (0.00)		0.00103*** (0.00)	0.00101*** (0.00)
<i>gdp</i>				0.00002* (0.00)		0.00002* (0.00)	0.00001** (0.00)	0.00001* (0.00)
<i>gdp_growth</i>				5.33445* (2.58)		4.27928 (2.63)	0.54341 (0.63)	0.50400 (0.61)
<i>constant</i>	6.95928*** (0.15)	3.40984 (2.45)	4.33136*** (0.39)	5.79939*** (0.56)	4.12935*** (0.73)	2.83899 (2.63)	3.98340*** (0.39)	3.84050*** (0.80)
<i>R-sqr</i>	0.221	0.352	0.857	0.282	0.865	0.388	0.864	0.870
<i>F</i>	14	12	75	5	71	6	55	98
<i>obs</i>	246.0	233.0	246.0	246.0	233.0	233.0	246.0	233.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.8 Analisi di regressione con variabile d'interesse *price* con lag temporale di un anno.

Prendendo in considerazione solamente il lag temporale della variabile *price*, i risultati non mostrano differenze significative rispetto all'analisi precedente: i coefficienti dei prezzi restano positivi e statisticamente significativi, anche se il valore del p-value si riduce nel modello *m8* rispetto al caso senza lag temporale.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>price</i>	-0.00755* (0.00)	-0.00730* (0.00)	-0.01113* (0.01)	-0.00034 (0.00)	-0.01150* (0.01)	-0.00021 (0.00)	-0.00477 (0.00)	-0.00550 (0.00)
<i>env_tax_rev</i>		0.00024 (0.00)			-0.00019 (0.00)	-0.00006 (0.00)		-0.00055 (0.00)
<i>ren_cons</i>			0.00006 (0.00)		0.00007 (0.00)		0.00002 (0.00)	0.00004 (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00016 (0.00)		0.00019 (0.00)		0.00017 (0.00)	0.00021 (0.00)
<i>gdp</i>				-0.00002** (0.00)		-0.00002* (0.00)	-0.00002* (0.00)	-0.00002* (0.00)
<i>gdp_growth</i>				5.44798*** (1.30)		5.67575*** (1.43)	5.55227*** (1.20)	5.98558*** (1.35)
<i>constant</i>	-0.07049 (0.04)	-0.33555* (0.14)	-0.84247 (0.61)	0.45800* (0.22)	-0.72609 (0.52)	0.54214 (0.34)	-0.05635 (0.47)	0.35768 (0.39)
<i>R-sqr</i>	0.016	0.017	0.056	0.147	0.059	0.147	0.191	0.201
<i>F</i>	7	3	2	7	2	7	5	4
<i>obs</i>	272.0	257.0	272.0	272.0	257.0	257.0	272.0	257.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.9 Analisi di regressione con variabile d'interesse *price* considerando la variazione delle emissioni di CO₂ anziché il loro valore assoluto.

Passando all'analisi che fa riferimento alla variazione delle emissioni di CO₂ invece che al loro valore assoluto, notiamo una prima variazione dei risultati: i coefficienti di regressione della variabile *price* cambiano di segno, indicando una relazione inversamente proporzionale tra i valori oggetto dello studio. Si deduce quindi che un aumento dei prezzi dei diritti di emissione sia correlato con una variazione negativa della differenza di emissioni di CO₂ tra l'anno t e l'anno $t-1$. Tuttavia, si riscontra una non significatività di tale coefficiente nella maggior parte dei modelli, compreso il modello *m8*, che tiene conto di tutte le variabili di controllo considerate.

Altro risultato notevole in questa variante è il coefficiente di regressione della variabile *gdp_growth*: mentre in tutte le analisi precedenti esso non risultava significativo, in questo caso si riscontra un p-value inferiore all'1%, mostrando una forte significatività. Inoltre, il segno si inverte rispetto alla prima analisi di regressione relativa ai prezzi: in questo caso si riscontra una correlazione positiva

tra la crescita del PIL e la variazione delle emissioni di CO₂, indicando che una crescita dell'1% del PIL nazionale è correlata con una variazione positiva del divario di emissioni di CO₂ rispetto all'anno precedente pari a 5,98 tonnellate pro-capite (nel caso del modello *m8*).

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>L.price</i>	-0.01505*** (0.00)	-0.01491*** (0.00)	-0.02521*** (0.01)	-0.00301 (0.00)	-0.02890*** (0.01)	-0.00306 (0.00)	-0.01494** (0.00)	-0.01846** (0.01)
<i>env_tax_rev</i>		0.00005 (0.00)			-0.00091 (0.00)	-0.00017 (0.00)		-0.00100 (0.00)
<i>ren_cons</i>			-0.00004 (0.00)		-0.00002 (0.00)		-0.00001 (0.00)	-0.00000 (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00027 (0.00)		0.00034* (0.00)		0.00025 (0.00)	0.00032* (0.00)
<i>gdp</i>				-0.00002** (0.00)		-0.00002** (0.00)	-0.00002* (0.00)	-0.00002* (0.00)
<i>gdp_growth</i>				5.02220** (1.57)		5.33639** (1.75)	3.85843** (1.07)	4.15528** (1.22)
<i>constant</i>	0.04172 (0.03)	-0.00836 (0.23)	-0.39985 (0.55)	0.52398* (0.20)	0.40932 (0.59)	0.73912 (0.38)	0.13776 (0.54)	1.04352 (0.59)
<i>R-sqr</i>	0.065	0.063	0.171	0.150	0.194	0.151	0.232	0.257
<i>F</i>	38	20	10	17	7	13	8	7
<i>obs</i>	246.0	233.0	246.0	246.0	233.0	233.0	246.0	233.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.10 Analisi di regressione con variabile d'interesse *price* con lag temporale di un anno e considerando la variazione delle emissioni di CO₂ anziché il loro valore assoluto.

Infine, introducendo sia la variazione di emissioni che il lag temporale sui prezzi, si ottiene un coefficiente di regressione relativo alla variabile *price* di segno negativo e statisticamente significativo, indicando che un aumento unitario dei prezzi dei diritti di emissione sia correlato con una diminuzione del divario di emissioni tra un anno e il precedente pari a 0,01846 tonnellate di CO₂ pro-capite nel caso del modello *m8*.

Si è infine deciso di ripetere tutti i passaggi delle analisi sui prezzi sostituendo alle variabili *co2* e *price* i loro logaritmi naturali, di modo da ricavare un coefficiente di regressione che indichi l'elasticità, ovvero la variazione percentuale delle emissioni al variare percentuale del prezzo.

A livello di significatività e segni, i coefficienti di regressione della variabile di interesse (in questo caso *log_price*) sono praticamente identici a quelli trovati nelle analisi precedenti, in cui non veniva utilizzato il logaritmo naturale. Di seguito si riportano gli output ottenuti da queste nuove analisi.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>log_price</i>	0.08223*** (0.01)	0.07950*** (0.01)	0.03960*** (0.01)	0.07470*** (0.01)	0.03522*** (0.01)	0.07410*** (0.01)	0.03336*** (0.01)	0.03088*** (0.01)
<i>env_tax_rev</i>		0.00011 (0.00)			-0.00009 (0.00)	0.00012 (0.00)		-0.00010 (0.00)
<i>ren_cons</i>			-0.00001 (0.00)		-0.00001 (0.00)		-0.00002* (0.00)	-0.00001* (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00009*** (0.00)		0.00009*** (0.00)		0.00009*** (0.00)	0.00009*** (0.00)
<i>gdp</i>				0.00000* (0.00)		0.00000* (0.00)	0.00000** (0.00)	0.00000** (0.00)
<i>gdp_growth</i>				-0.21628 (0.20)		-0.20747 (0.22)	-0.06753 (0.10)	0.02227 (0.09)
<i>constant</i>	1.75282*** (0.03)	1.62995*** (0.14)	1.66110*** (0.08)	1.65222*** (0.06)	1.73600*** (0.07)	1.56035*** (0.14)	1.59745*** (0.07)	1.69157*** (0.06)
<i>R-sqr</i>	0.297	0.305	0.739	0.322	0.752	0.318	0.759	0.768
<i>F</i>	42	20	43	19	46	12	35	49
<i>obs</i>	272.0	257.0	272.0	272.0	257.0	257.0	272.0	257.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.11 Analisi di regressione con variabile d'interesse *log_price* e variabile dipendente *log_co2*.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>L.log_price</i>	0.07799*** (0.01)	0.07979*** (0.01)	0.03330** (0.01)	0.09700*** (0.02)	0.02564* (0.01)	0.09680*** (0.02)	0.04172** (0.01)	0.03583* (0.01)
<i>env_tax_rev</i>		0.00018 (0.00)			-0.00007 (0.00)	0.00015 (0.00)		-0.00008 (0.00)
<i>ren_cons</i>			-0.00000 (0.00)		-0.00000 (0.00)		-0.00001 (0.00)	-0.00001 (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00008*** (0.00)		0.00009*** (0.00)		0.00008*** (0.00)	0.00008*** (0.00)
<i>gdp</i>				0.00000* (0.00)		0.00000** (0.00)	0.00000** (0.00)	0.00000** (0.00)
<i>gdp_growth</i>				0.46358* (0.21)		0.44807* (0.22)	0.18060 (0.13)	0.24167 (0.13)
<i>constant</i>	1.75410*** (0.04)	1.54597*** (0.12)	1.64997*** (0.08)	1.57310*** (0.08)	1.72724*** (0.10)	1.43206*** (0.13)	1.57191*** (0.07)	1.66532*** (0.09)
<i>R-sqr</i>	0.348	0.374	0.727	0.423	0.737	0.434	0.755	0.763
<i>F</i>	27	16	27	11	30	9	25	34
<i>obs</i>	246.0	233.0	246.0	246.0	233.0	233.0	246.0	233.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.12 Analisi di regressione con variabile d'interesse *log_price* con lag temporale di un anno e variabile dipendente *log_co2*.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>log_price</i>	-0.01396** (0.00)	-0.01356** (0.00)	-0.02009** (0.01)	-0.00180 (0.01)	-0.02039** (0.01)	-0.00194 (0.01)	-0.00940 (0.01)	-0.01056 (0.01)
<i>env_tax_rev</i>		0.00005** (0.00)			0.00000 (0.00)	0.00001 (0.00)		-0.00004 (0.00)
<i>ren_cons</i>			0.00001 (0.00)		0.00001 (0.00)		0.00000 (0.00)	0.00000 (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00002 (0.00)		0.00002 (0.00)		0.00002* (0.00)	0.00002* (0.00)
<i>gdp</i>				-0.00000** (0.00)		-0.00000* (0.00)	-0.00000* (0.00)	-0.00000* (0.00)
<i>gdp_growth</i>				0.64351*** (0.12)		0.65787*** (0.13)	0.65982*** (0.12)	0.69600*** (0.13)
<i>constant</i>	0.01367 (0.01)	-0.03609 (0.02)	-0.05684 (0.05)	0.05481* (0.02)	-0.05763 (0.05)	0.04784 (0.04)	0.01770 (0.05)	0.05266 (0.05)
<i>R-sqr</i>	0.022	0.030	0.065	0.174	0.068	0.176	0.223	0.229
<i>F</i>	9	7	4	12	3	13	9	7
<i>obs</i>	272.0	257.0	272.0	272.0	257.0	257.0	272.0	257.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.13 Analisi di regressione con variabile d'interesse *log_price* considerando la variazione della variabile *log_co2* anziché il suo valore assoluto.

	m1 b/se	m2 b/se	m3 b/se	m4 b/se	m5 b/se	m6 b/se	m7 b/se	m8 b/se
<i>L.log_price</i>	-0.02007*** (0.00)	-0.01835*** (0.00)	-0.03696*** (0.01)	0.00042 (0.01)	-0.04015*** (0.01)	0.00038 (0.01)	-0.01751* (0.01)	-0.02157* (0.01)
<i>env_tax_rev</i>		0.00004 (0.00)			-0.00006 (0.00)	0.00001 (0.00)		-0.00007 (0.00)
<i>ren_cons</i>			-0.00000 (0.00)		-0.00000 (0.00)		-0.00000 (0.00)	-0.00000 (0.00)
<i>foss_cons</i>			0.00003* (0.00)		0.00003* (0.00)		0.00003* (0.00)	0.00003** (0.00)
<i>gdp</i>				-0.00000** (0.00)		-0.00000** (0.00)	-0.00000* (0.00)	-0.00000* (0.00)
<i>gdp_growth</i>				0.66872*** (0.15)		0.68780*** (0.16)	0.57470*** (0.13)	0.61037*** (0.14)
<i>constant</i>	0.02957** (0.01)	-0.01844 (0.03)	0.00864 (0.06)	0.05651 (0.03)	0.06463 (0.07)	0.05246 (0.05)	0.05189 (0.06)	0.13043 (0.07)
<i>R-sqr</i>	0.047	0.049	0.145	0.182	0.151	0.184	0.254	0.265
<i>F</i>	23	15	9	18	6	16	14	12
<i>obs</i>	246.0	233.0	246.0	246.0	233.0	233.0	246.0	233.0

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 5.14 Analisi di regressione con variabile d'interesse *log_price* con lag temporale di un anno e considerando la variazione della variabile *log_co2* anziché il suo valore assoluto.

Al termine dei 4 step di analisi, si ottiene il coefficiente di regressione di *log_price*, che in questo caso rappresenta un'elasticità: come si può vedere dall'output del modello più completo (*m8*), una crescita dell'1% dei prezzi dei diritti di emissioni genera, nell'anno successivo a tale aumento, un decremento di 0,02157 punti percentuali sulla variazione delle emissioni di CO₂ da un anno al successivo.

6 CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si poneva l'obiettivo di verificare se, e in che misura, l'introduzione di un Emission Trading System porti una riduzione delle emissioni complessive di un Paese.

A seguito di una breve introduzione sui principali concordati in materia di cambiamento climatico, è stato spiegato il funzionamento dei vari strumenti di riduzione delle emissioni e il loro impatto sulle quantità di CO₂ emesse da un punto di vista macroeconomico. Successivamente, sono stati illustrati i principali sistemi di Emission Trading e le più importanti imposte sulle emissioni esistenti. Infine, sono state effettuate le analisi di regressione, suddividendole in due parti: in prima battuta si è voluto verificare se la sola introduzione di un sistema di Emission Trading porti ad un abbassamento del livello di emissioni di CO₂; i risultati mostrano una correlazione negativa tra livello di emissioni e introduzione di un ETS, in particolare si parla di una riduzione di circa 0,4 tonnellate di CO₂ pro-capite dopo un anno dall'introduzione dello strumento. Dopodiché è stata effettuata una seconda analisi, suddivisa in più passaggi, per verificare se vi sia una correlazione tra i prezzi dei diritti di emissione e il livello di emissioni di CO₂. In questo caso si è trovato che esiste una correlazione negativa tra il prezzo delle allowancies e la variazione annua di emissioni; in particolare, un aumento unitario del prezzo porta ad una diminuzione della variazione delle emissioni pari a 0,02 tonnellate di CO₂ pro-capite, nell'anno successivo all'aumento del prezzo. Ripetendo poi l'analisi con i logaritmi delle variabili *price* e *CO2*, di modo da ottenere un coefficiente di regressione espresso come elasticità, si è trovato che un incremento dell'1% dei prezzi dei diritti di emissione genera un decremento dello 0,02157% sulla variazione delle emissioni di CO₂, sempre nell'anno successivo all'aumento del prezzo.

In conclusione, i risultati delle analisi mostrano che l'introduzione di sistemi cap-and-trade ha complessivamente sortito un effetto positivo sulla riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera. Tuttavia, la strada da percorrere è ancora lunga, e per poter raggiungere gli obiettivi imposti dai principali concordati in materia di cambiamento climatico, primo fra tutti l'Accordo di Parigi, sarebbe auspicabile che i più grandi emettitori di gas serra – quali Cina, India, Stati Uniti e Russia – facessero un passo avanti in tal senso e si dotassero degli adeguati strumenti per ridurre il più possibile l'inquinamento che generano. La Cina, come già spiegato nel presente lavoro di tesi, ha fortunatamente implementato un ETS a livello nazionale entrato in vigore nel 2021, ma i limiti imposti da tale strumento sono ancora poco stringenti, più blandi rispetto a quelli imposti da tutti gli altri ETS esistenti, e probabilmente non sufficienti per fermare l'incontrollato livello di

inquinamento generato da tale Paese. Per quanto riguarda gli Stati Uniti, vi sono diversi ETS già in vigore da molti anni, ma tutti a livello regionale e/o subnazionale: essi ricoprono le emissioni solamente di una minima area della superficie del Paese; perciò, sarebbe auspicabile l'introduzione di un ETS a livello nazionale o, in alternativa, di una serie di sistemi cap-and-trade sufficienti a coprire le emissioni di tutto il Paese o perlomeno di buona parte di esso. Altri grandi emettitori come India e Russia non hanno invece nessun tipo di strumento market-based atto a ridurre l'inquinamento dato dai gas serra, né hanno in programma di implementarlo.

Un altro problema emerso dalle analisi effettuate nel presente lavoro di tesi è il ridotto livello dei prezzi dei diritti di emissione, dovuto a diversi fattori, quali lo shock economico dato dalla crisi del 2008 e la conseguente riduzione della domanda di allowances, ma anche, probabilmente, il livello troppo alto dei cap di emissione imposti all'interno degli ETS. Una riduzione annua più stringente di tali cap sarebbe quindi auspicabile per far sì che i prezzi aumentino più rapidamente e forniscano un maggiore incentivo ad abbassare il livello di inquinamento globale.

Ovviamente, parallelamente agli strumenti market-based oggetto di questa tesi, vi sono innumerevoli altri modi per combattere il cambiamento climatico, dall'utilizzo di fonti di energia rinnovabile, all'introduzione di innovazioni tecnologiche verdi, e molto altro ancora. È necessario, dunque, uno sforzo su tutti i fronti da parte dei governi mondiali per tentare di evitare di giungere al cosiddetto "*punto di non ritorno*", ed è necessario che queste azioni abbiano la massima priorità, perché disponiamo di un solo pianeta, e dobbiamo prendercene cura al meglio delle nostre possibilità.

7 BIBLIOGRAFIA

- Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1971). *The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment*. The Swedish Journal of Economics, Vol. 73, No. 1, Environmental Economics (Mar., 1971), pp. 42-54 (13 pages).
- Bel, G., & Joseph, S. (2015). *Emission abatement: Untangling the impacts of the EU ETS and the economic crisis*. Energy Economics, 49, issue C, p. 531-539.
- Botta, E., & Koźluk, T. (2014). *Measuring Environmental Policy Stringency in OECD Countries: A Composite Index Approach*. OECD Economics Department Working Papers No. 1177.
- Coase, R. (1960). *The Problem of Social Cost*. The Journal of Law & Economics, Vol. 3 (Oct., 1960), pp. 1-44 (44 pages).
- Dasi, G. F. (1972). *La presa di coscienza della crisi ecologica come approccio verso un nuovo internazionalismo*. Verucchio: Centro internazionale ricerche suite strutture ambientali "Pio Manzu".
- European Commission. (2015). *EU ETS Handbook*.
- Gloaguen, O., & Alberola, E. (2013). *Assessing the factors behind CO2 emissions changes over the phases 1 and 2 of the EU ETS: an econometric analysis*. CDC CLIMAT RESEARCH, WORKING PAPER No, 2013-15.
- Görlach, B. (2013). *What constitutes an optimal climate policy mix? Defining the concept of optimality, including political and legal framework conditions*. CECILIA2050 WP1 Deliverable 1.1. Berlin: Ecologic Institute.
- Hintermann, B., & Zarkovic, M. (2020). *Carbon Pricing in Switzerland: A Fusion of Taxes, Command-and-Control, and Permit Markets*. ifo DICE Report, ifo Institute - Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich, vol. 18(01), pages 35-41, April.
- ICAP. (2021). *Emissions Trading Worldwide: Status Report 2021*. Berlin: International Carbon Action Partnership.
- IPCC. (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan,

- S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)).
- Jonsson, S., Ydstedt, A., & Asen, E. (2020). *Looking Back on 30 Years of Carbon Taxes in Sweden*. Tax Foundation, FISCAL FACT n.727.
- Meadows, D., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *I limiti dello sviluppo*.
- Murray, B., & Rivers, N. (2015). *British Columbia's revenue-neutral carbon tax: A review of the latest "grand experiment" in environmental policy*. *Energy Policy*, Volume 86, 2015, Pages 674-683, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.011>.
- Barnes, A. (2021). *The challenges and prospects for carbon pricing in Europe*. Oxford Institute for Energy Studies.
- Partnership for Market Readiness (PMR). (2017). *Carbon Tax Guide: A Handbook for Policy Makers. Appendix: Carbon Tax Case Studies*. Washington, DC: World Bank, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26300> License: CC BY 3.0 IGO.
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*.
- Rosen, H. S., & Gayer, T. (2009). *Public Finance*.
- United Nations. (1972). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Stoccolma: UN Library, UN/SA collection.
- United Nations. (1992). *United Nations framework Convention on Climate Change*. New York: United Nations, General Assembly.
- World Bank. (2021). *State and Trends of Carbon Pricing 2021*. Washington, DC: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620> License: CC BY 3.0 IGO.
- Zheng, Y., Sun, X., Zhang, C., Wang, D., & Mao, J. (2021). *Can Emission Trading Scheme Improve Carbon Emission Performance? Evidence From China*. *Frontiers in Energy Research*, 9, [759572]. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.759572>.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R.

Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

8 SITOGRAFIA

- <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/global-warming-effects>
- <https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate-change/causes-of-climate-change>
- https://www.europarl.europa.eu/infographic/climate-negotiations-timeline/index_en.html
- <https://www.ipcc.ch/about/history/>
- https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations_en
- <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>
- https://unfccc.int/kyoto_protocol
- https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_it#ecl-inpage-689
- <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_it
- <https://www.consob.it/web/area-pubblica/il-green-deal-europeo>
- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip_19_6691
- <https://www.thefederalist.eu/site/index.php/it/note/2390-la-tassazione-delle-attivita-inquinanti-e-il-problema-della-sovrانazionalita>
- https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_it
- <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/macro-drivers#prices>
- <https://icapcarbonaction.com/en/ets-map>
- <https://www.iea.org/reports/implementing-effective-emissions-trading-systems>
- <https://www.newsroom.co.nz/cap-finally-added-to-nzs-cap-and-trade-scheme>
- <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/financing-for-climate-friendly/revenue-neutral-carbon-tax>
- <https://icapcarbonaction.com/en/>
- <https://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/environmentaltaxation.htm>
- <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EPS>
- <https://www.sgi-network.org/2020/>

- https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data
- <https://fossilfuelsubsidytracker.org/>
- <https://data.worldbank.org/indicator/>
- <https://www.worldbank.org/en/programs/pricing-carbon>
- <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/what-carbon-pricing>

9 APPENDICE

9.1 Costruzione del database

Il database utilizzato per effettuare le analisi all'interno del software STATA è stato costruito attraverso l'unione di diversi dataset, provenienti da più fonti, con l'ausilio dello strumento Power Query all'interno del software Microsoft Excel.

Di seguito saranno illustrati tutti i dataset utilizzati per la costruzione del database finale da inserire in STATA per effettuare le regressioni, già filtrati sulla base del campione selezionato.

Emissioni di CO₂

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	17,8	18,0	17,7	18,1	18,1	18,1	18,5	18,3	18,2	17,6	17,3	17,0	16,4	15,8	15,8	15,9	15,7	15,5
Austria	8,4	8,6	9,2	9,3	9,3	9,0	8,6	8,5	7,7	8,4	8,1	7,7	7,8	7,3	7,3	7,3	7,5	7,1
Belgium	11,5	10,7	11,1	10,9	10,6	10,3	9,8	10,0	9,2	9,8	8,7	8,5	8,7	8,0	8,4	8,3	8,2	8,2
Canada	16,3	16,8	17,2	16,8	17,1	16,6	17,4	16,5	15,5	15,7	16,0	15,8	15,9	15,9	15,7	15,2	15,4	15,5
Chile	3,1	3,1	3,1	3,4	3,4	3,5	3,9	4,1	3,9	4,1	4,4	4,5	4,7	4,3	4,6	4,7	4,7	4,6
China	2,8	3,0	3,4	4,0	4,5	4,9	5,3	5,4	5,8	6,3	6,9	7,0	7,3	7,2	7,1	7,1	7,2	7,4
Colombia	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6
Costa Rica	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7
Czech Republic	12,0	11,6	12,0	12,1	11,8	11,8	12,0	11,4	10,6	10,9	10,6	10,2	9,8	9,5	9,6	9,7	9,8	9,6
Denmark	10,0	10,0	11,0	10,0	9,3	10,7	9,8	9,1	8,7	8,7	7,7	6,8	7,1	6,3	5,9	6,2	5,8	5,8
Estonia	11,0	10,8	12,3	12,4	12,6	11,8	14,8	13,7	11,2	14,2	13,6	12,7	14,6	13,6	11,7	11,9	12,4	12,1
Finland	11,8	12,2	13,8	12,9	10,6	12,7	12,3	10,7	10,1	11,7	10,2	9,1	9,2	8,5	7,8	8,3	7,8	8,0
France	6,1	6,0	6,1	6,0	6,0	5,8	5,7	5,6	5,3	5,4	5,1	5,1	5,1	4,6	4,7	4,7	4,7	4,6
Germany	10,3	10,1	10,1	9,9	9,7	9,9	9,5	9,6	9,0	9,5	9,3	9,4	9,6	9,1	9,1	9,1	8,9	8,6
Greece	8,9	8,9	9,2	9,1	9,3	9,1	9,4	9,1	8,5	7,9	7,6	7,3	6,6	6,4	6,3	6,2	6,2	6,1
Hungary	5,5	5,5	5,7	5,6	5,5	5,5	5,4	5,3	4,8	4,8	4,7	4,4	4,1	4,1	4,4	4,5	4,8	4,7
Iceland	7,6	7,8	7,7	7,9	7,7	7,7	7,6	6,9	6,6	6,2	5,9	5,8	6,3	6,3	6,2	6,2	6,3	6,2
Ireland	11,6	11,2	11,1	11,0	11,2	11,2	10,7	10,3	9,0	8,9	7,9	8,1	7,7	7,6	7,9	8,1	7,8	7,6
Israel	9,0	9,3	9,4	9,3	8,8	9,1	9,3	9,1	8,8	9,2	9,0	9,6	8,3	7,9	7,9	7,6	7,6	7,0
Italy	7,7	7,8	8,1	8,2	8,2	8,0	7,9	7,6	6,7	6,8	6,7	6,3	5,8	5,4	5,6	5,5	5,4	5,4
Japan	9,2	9,5	9,5	9,5	9,5	9,3	9,6	9,1	8,6	9,0	9,5	9,8	9,9	9,6	9,3	9,2	9,1	8,7
Korea, Rep.	9,9	9,7	9,7	10,1	10,0	10,1	10,3	10,5	10,7	11,6	12,0	11,9	11,9	11,5	11,9	12,0	12,2	12,2
Latvia	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,7	3,9	3,7	3,4	4,1	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	3,7	4,0
Lithuania	3,2	3,3	3,3	3,5	3,9	4,0	4,1	4,1	3,7	4,1	3,9	4,0	3,8	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1
Luxembourg	20,7	22,1	22,7	25,5	25,7	24,8	23,2	22,6	21,0	21,8	21,1	20,1	18,7	17,3	16,0	15,2	15,1	15,3
Mexico	3,8	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,1	4,1	4,2	4,1	4,0	3,8	3,9	3,9	3,8	3,7
Netherlands	10,4	10,4	10,5	10,6	10,3	10,0	10,0	10,1	9,7	10,3	9,5	9,4	9,3	8,9	9,3	9,3	9,1	8,8
New Zealand	8,2	8,0	8,3	8,0	8,3	8,2	7,9	8,1	7,3	7,2	6,9	7,3	7,1	7,0	7,0	6,6	6,8	6,6
Norway	7,7	7,6	8,1	8,2	7,9	8,0	8,1	7,8	7,8	8,6	8,1	7,8	7,5	7,5	7,4	7,2	7,0	7,0
Poland	7,7	7,5	7,8	7,9	7,9	8,2	8,2	8,1	7,8	8,2	8,2	8,0	7,8	7,5	7,6	7,9	8,2	8,2
Portugal	5,9	6,3	5,8	5,9	6,2	5,7	5,6	5,4	5,3	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4	4,8	4,7	5,2	4,8
Slovak Republic	7,2	7,1	7,1	7,0	7,2	7,0	6,9	6,9	6,3	6,6	6,3	6,0	6,1	5,6	5,7	5,8	6,2	6,1
Slovenia	7,7	7,8	7,7	7,9	8,0	8,1	8,1	8,6	7,6	7,7	7,7	7,4	7,1	6,4	6,4	6,7	6,8	6,8
Spain	7,2	7,5	7,6	7,8	8,0	7,7	7,8	7,1	6,2	5,9	5,9	5,8	5,2	5,2	5,5	5,3	5,7	5,5
Sweden	5,9	6,1	6,2	6,0	5,6	5,4	5,2	5,0	4,6	5,1	4,7	4,4	4,2	4,0	4,0	3,9	3,8	3,5
Switzerland	6,2	6,0	6,1	6,1	6,2	6,1	5,8	5,9	5,6	5,8	5,2	5,3	5,4	4,9	4,7	4,7	4,6	4,4
Turkey	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,8	4,2	4,1	4,0	4,1	4,3	4,4	4,2	4,4	4,5	4,7	5,1	5,0
United Kingdom	9,2	8,9	9,1	9,0	9,0	8,9	8,6	8,3	7,5	7,7	7,0	7,3	7,1	6,4	6,1	5,8	5,5	5,4
United States	20,2	19,4	19,5	19,6	19,5	19,0	19,1	18,3	16,8	17,4	16,6	15,8	16,1	16,0	15,5	15,1	14,8	15,2

Figura 9.1 Emissioni di CO₂ in tonnellate pro-capite. Fonte: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>; 29.01.2022

Variabile dummy presenza/assenza ETS

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Austria	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Belgium	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Canada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
China	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colombia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costa Rica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Czech Republic	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Denmark	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estonia	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Finland	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
France	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Germany	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hungary	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Iceland	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ireland	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Israel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Italy	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Japan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Korea, Rep.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Latvia	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lithuania	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Luxembourg	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mexico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Netherlands	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
New Zealand	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Norway	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Poland	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Portugal	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Slovak Republic	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Slovenia	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Spain	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sweden	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Switzerland	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Turkey	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
United Kingdom	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
United States	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 9.2 Variabile dummy che indica presenza/assenza di un ETS. Fonte: <https://icapcarbonaction.com/en/ets-map>; 20.10.2021

Prezzi dei diritti di emissione

Country	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia											
Austria	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Belgium	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Canada											
Chile											
China											
Colombia											
Costa Rica											
Czech Republic	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Denmark	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Estonia	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Finland	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
France	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Germany	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Greece	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Hungary	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Iceland	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Ireland	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Israel											
Italy	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Japan											
Korea, Rep.								9,28	14,87	18,96	20,65
Latvia	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Lithuania	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Luxembourg	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Mexico											
Netherlands	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
New Zealand		13,14	14,16	13,39	4,43	2,26	3,29	4,69	10,83	12,75	15,69
Norway	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Poland	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Portugal	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Slovak Republic											
Slovenia	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Spain	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Sweden	33,25	18,41	18,98	18,08	9,49	5,94	7,89	8,52	5,92	6,63	18,55
Switzerland							33,04	11,99	8,17	7,02	6,83
Turkey											
United Kingdom											
United States											

Figura 9.3 Prezzi medi annui delle allowancies nei vari ETS, espressi in USD. Fonte: <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices>;

29.01.2022

Entrate fiscali legate alle imposte ambientali

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	1.009,1	1.009,6	1.004,4	999,6	929,1	914,6	908,2	827,6	870,5	833,8	825,5	1.065,0	1.055,9	851,2	870,3	823,9		
Austria	1.195,6	1.228,7	1.262,0	1.271,1	1.283,1	1.220,3	1.229,9	1.235,2	1.183,3	1.193,9	1.264,4	1.256,0	1.238,4	1.243,7	1.238,8	1.234,6	1.281,7	1.241,1
Belgium	966,3	954,7	975,6	1.044,6	1.061,5	978,4	1.000,5	951,1	960,2	990,2	1.023,6	971,8	932,4	941,8	957,7	1.003,0	1.044,4	1.044,2
Canada	513,9	530,5	538,2	520,5	507,8	501,9	496,1	466,4	483,0	491,7	495,4	500,0	500,3	492,9				
Chile	241,4	241,0	233,7	213,5	222,2	192,2	213,5	181,0	177,0	205,7	226,9	247,8	256,6	275,7	273,6	280,5	285,0	307,2
China																		
Colombia	89,6	81,2	90,1	89,1	101,3	100,7	105,1	110,5	111,2	102,3	108,6	105,2	104,4	106,0	110,0	109,4	82,3	80,6
Costa Rica	147,5							338,0	350,8	351,8	352,7	354,5	385,4	375,7	402,1	411,4	423,5	418,4
Czech Republic	597,6	598,6	643,1	698,0	755,3	773,4	824,4	829,4	799,3	813,3	828,7	802,4	797,3	795,5	833,2	858,4	883,0	945,2
Denmark	2.237,6	2.329,7	2.230,6	2.382,4	2.417,6	2.377,1	2.406,8	2.118,8	1.895,5	1.938,9	1.962,8	1.911,9	1.924,5	1.931,1	1.955,9	1.970,0	1.905,4	1.899,7
Estonia	377,1	382,7	394,4	469,8	560,4	596,6	639,9	641,7	705,0	718,0	721,2	749,9	769,0	761,5	850,0	932,2	987,8	1.219,5
Finland	1.131,8	1.186,0	1.256,5	1.318,8	1.272,3	1.294,2	1.241,7	1.212,5	1.080,5	1.171,7	1.346,1	1.304,6	1.267,1	1.244,1	1.231,5	1.343,3	1.329,3	1.332,3
France	897,7	944,7	931,4	950,9	935,4	933,1	907,3	899,5	886,3	883,1	914,9	918,7	955,3	940,5	951,6	979,6	1.017,9	1.054,9
Germany	1.026,0	1.038,6	1.068,6	1.031,2	1.010,6	1.016,8	974,0	973,3	969,2	954,5	1.002,0	978,8	952,2	937,0	912,7	902,0	802,2	884,7
Greece																		
Hungary	527,7	539,2	568,8	660,0	667,8	804,8	740,4	759,5	685,8	687,8	675,5	696,9	675,9	615,3	684,5	720,0	720,9	727,1
Iceland	1.121,6	979,7	1.096,9	1.193,6	1.360,7	1.286,2	1.306,8	977,7	799,4	890,8	898,7	939,8	909,7	919,2	950,6	975,8	1.090,3	836,1
Ireland	1.092,5	1.144,5	1.147,6	1.308,2	1.364,9	1.378,2	1.435,2	1.262,8	1.163,6	1.248,1	1.263,7	1.215,7	1.278,3	1.329,8	1.338,2	1.321,4	1.263,7	1.283,9
Israel	777,5	765,7	774,5	889,4	917,9	943,7	1.029,8	1.019,6	990,1	1.113,4	1.124,6	1.066,9	1.033,7	1.097,5	1.036,7	1.165,9	1.033,4	1.037,5
Italy	1.193,0	1.180,4	1.200,2	1.148,0	1.175,0	1.176,6	1.131,3	1.054,6	1.085,3	1.104,0	1.203,5	1.324,7	1.279,2	1.324,3	1.267,0	1.308,2	1.264,2	1.265,0
Japan	608,8	613,9	625,5	629,1	639,1	635,5	632,6	599,6	589,3	585,7	582,9	584,5	582,8	557,0	547,5	554,4	557,1	559,9
Korea, Rep.	618,7	602,8	625,4	616,1	705,2	714,2	794,2	786,6	705,5	844,3	907,5	962,1	951,3	989,6				
Latvia	289,2	325,1	374,7	429,5	485,8	485,7	494,9	491,9	682,0	648,1	639,7	683,1	754,2	825,4	906,1	960,7	987,7	988,7
Lithuania	403,4	476,3	481,9	506,2	469,1	403,0	438,9	409,3	437,5	417,7	425,5	433,9	469,2	508,1	559,5	605,1	635,9	679,1
Luxembourg	2.462,6	2.506,7	2.631,3	2.951,9	2.972,8	2.730,4	2.819,8	2.742,6	2.500,7	2.438,8	2.416,5	2.361,8	2.194,1	2.041,5	1.929,6	1.832,9	1.800,8	1.857,5
Mexico	242,5	284,2	219,4	138,0	65,2	-28,3	-32,5	-267,2	41,4	-34,9	-135,9	-197,3	-60,6	17,9	250,6	290,4	219,5	181,7
Netherlands	1.560,2	1.501,0	1.521,6	1.605,0	1.688,4	1.752,6	1.704,8	1.765,9	1.708,6	1.742,7	1.722,6	1.605,5	1.623,6	1.674,9	1.719,8	1.760,9	1.815,5	1.884,4
New Zealand	415,3	501,3	496,5	466,4	468,3	459,9	470,3	431,2	433,5	456,7	452,1	460,7	469,9	493,5	523,3	524,5	516,2	557,4
Norway	1.590,8	1.640,5	1.616,9	1.688,6	1.624,8	1.598,9	1.646,0	1.487,3	1.429,4	1.452,4	1.363,1	1.306,9	1.283,2	1.283,7	1.337,0	1.381,7	1.326,0	1.236,8
Poland	331,7	373,3	402,2	451,8	462,4	485,2	538,1	537,6	525,3	550,3	567,8	604,7	577,4	623,6	660,8	702,0	695,8	764,3
Portugal	831,5	881,9	858,0	869,2	856,2	838,1	841,9	769,6	726,2	737,2	694,5	631,2	633,0	661,1	719,7	786,3	817,0	840,5
Slovak Republic	350,9	414,5	479,8	515,4	523,4	542,2	557,4	574,7	527,1	526,9	535,6	522,9	551,2	560,7	592,5	606,9	622,7	676,7
Slovenia	879,0	905,0	919,2	957,1	957,2	943,2	995,2	1.014,5	1.137,7	1.178,3	1.176,3	1.267,5	1.375,6	1.391,5	1.468,9	1.528,7	1.540,2	1.342,1
Spain	665,2	701,2	718,4	715,5	713,1	703,8	698,0	642,3	603,5	610,2	584,7	575,0	646,5	626,4	672,6	668,3	678,2	690,9
Sweden	1.047,2	1.093,5	1.120,4	1.137,0	1.182,3	1.180,9	1.168,0	1.176,1	1.156,4	1.176,2	1.112,0	1.099,7	1.087,1	1.032,7	1.074,6	1.108,5	1.084,2	1.034,9
Switzerland	1.077,1	1.090,4	1.073,6	1.073,6	1.191,5	1.163,7	1.152,8	1.037,1	1.025,5	1.074,3	1.056,4	1.051,5	1.033,7	1.044,3	1.057,9	979,5	1.001,2	1.036,4
Turkey	376,7	514,5	622,5	588,6	710,8	676,8	682,4	637,8	621,0	736,4	752,0	729,6	835,0	803,4	849,8	852,7	856,9	646,3
United Kingdom	925,2	932,2	942,8	949,9	917,9	901,7	941,9	922,7	931,3	970,4	967,1	968,9	993,8	1.008,7	1.012,1	1.015,4	1.013,6	991,8
United States	454,8	450,8	448,1	451,2	456,9	452,2	445,4	425,1	411,7	416,6	419,2	420,1	411,9	412,1	413,4	412,7		

Figura 9.4 Entrate fiscali da imposte ambientali in USD pro-capite. Fonte: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EPS>;

29.01.2022

Environmental Stringency Index

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Australia	1,1	1,2	1,2	1,2	1,5	2,0	2,0	2,3	2,7	2,5	3,3	3,7	4,1	2,7	3,2
Austria	2,2	2,2	2,5	2,4	2,9	2,8	2,4	2,9	3,3	3,3	3,1	2,9			
Belgium	1,1	1,2	1,2	2,0	2,4	2,4	2,2	2,3	2,6	2,6	2,5	2,5			
Canada	0,9	0,9	1,6	1,6	1,5	2,2	3,3	3,3	3,9	3,4	3,7	3,4	3,4	3,3	3,3
Chile															
Czech Republic	0,8	1,6	1,6	1,6	2,0	2,9	2,5	2,7	2,9	2,9	2,4	2,4			
Denmark	2,7	2,1	2,1	2,6	3,1	3,2	2,8	3,0	4,1	4,0	4,0	3,8			
Estonia															
Finland	1,4	2,0	2,5	2,5	2,4	3,2	2,8	3,1	3,3	3,2	3,5	3,4			
France	1,6	1,6	1,6	2,1	2,7	3,3	2,9	2,9	3,7	3,2	3,7	3,6	3,5	3,5	3,6
Germany	2,1	2,5	2,5	2,7	3,0	3,0	2,7	2,6	3,1	3,0	3,1	2,9	3,1	3,1	3,1
Greece	1,5	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9	1,8	2,1	2,3	2,3	2,1			
Hungary	1,7	2,0	2,1	2,3	2,6	2,6	2,3	2,6	2,7	2,8	2,7	2,6			
Iceland															
Ireland	0,8	0,9	1,4	1,5	1,9	2,2	1,7	2,1	2,2	2,2	2,4	2,0			
Israel															
Italy	1,4	1,4	1,4	1,5	2,2	2,7	2,3	2,6	2,7	2,8	2,8	2,8	3,2	3,2	3,3
Japan	1,6	1,6	1,6	1,9	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	2,0	3,0	3,5	3,1	3,1	3,2
Korea, Rep.															
Latvia															
Lithuania															
Luxembourg															
Mexico															
Netherlands	1,7	1,8	2,2	1,9	2,8	2,8	2,6	3,2	3,7	4,1	3,5	3,6			
New Zealand															
Norway	1,1	1,7	1,4	1,4	1,9	2,1	2,0	2,3	3,2	3,2	3,2	3,3			
Poland	1,2	1,2	1,2	1,3	2,1	2,3	2,1	2,3	3,0	3,0	3,0	2,6			
Portugal	1,4	1,6	2,1	2,1	2,7	2,7	2,2	2,3	2,5	2,5	2,3	2,1			
Slovak Republic	1,1	1,1	1,1	1,1	1,8	1,8	1,4	1,5	2,4	2,3	3,1	3,0			
Slovenia								1,6	1,9	2,5	2,4	2,3			
Spain	2,2	2,2	2,2	2,8	3,0	3,0	2,8	2,7	3,0	2,7	2,8	2,2			
Sweden	2,1	2,6	2,4	2,8	2,7	3,0	2,7	2,9	3,3	3,1	3,2	3,1			
Switzerland	1,9	1,9	1,9	1,7	2,4	2,1	2,1	2,7	3,2	3,3	3,3	3,3			
Turkey	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8	1,5	1,5	1,5	1,5	2,1	2,2	1,8	1,9	1,9	1,9
United Kingdom	0,9	1,1	1,7	1,7	2,2	2,3	2,0	2,4	2,6	3,6	3,5	3,3	3,8	3,7	3,8
United States	1,2	1,3	1,3	1,0	1,1	2,1	2,3	2,5	2,9	2,7	2,5	3,2	2,7	2,6	2,7

Figura 9.5 Environmental Stringency Index. Fonte: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EPS>; 29.01.2022

Consumo di energia proveniente da fonti rinnovabili

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	937,8	912,9	943,2	931,6	988,7	1.046,5	997,6	919,1	848,9	980,4	1.165,7	1.149,1	1.406,4	1.530,4	1.396,6	1.531,2	1.635,4	1.785,0
Austria	5.215,3	5.150,7	4.311,6	4.822,8	4.953,3	4.908,7	5.193,3	5.338,1	5.634,4	5.350,6	4.838,9	6.037,1	5.901,3	5.825,5	5.482,4	5.840,0	5.788,6	5.627,7
Belgium	104,2	109,8	114,4	142,8	199,7	278,1	325,8	409,7	500,9	593,7	758,4	941,6	1.045,1	1.092,1	1.284,4	1.262,9	1.388,5	1.492,7
Canada	10.977,5	11.436,2	10.925,1	10.914,5	11.472,5	11.082,2	11.400,6	11.537,6	11.303,9	10.803,8	11.419,9	11.485,8	11.890,7	11.614,2	11.584,1	11.713,0	11.899,6	11.587,7
Chile	1.473,8	1.529,8	1.468,2	1.485,9	1.731,1	1.851,2	1.548,9	1.620,3	1.740,9	1.419,4	1.505,6	1.450,6	1.479,6	1.692,8	1.801,3	1.856,3	1.861,1	2.002,6
China	213,9	220,6	216,2	267,4	298,8	314,7	356,4	438,6	449,5	549,7	556,6	718,3	774,0	921,8	989,3	1.094,5	1.192,2	1.310,2
Colombia	794,5	834,9	875,4	955,5	937,1	993,4	1.019,5	1.051,6	921,7	938,9	1.104,5	1.066,1	1.094,2	1.039,4	1.042,3	1.040,5	1.273,0	1.225,4
Costa Rica	1.681,7	1.781,0	1.714,2	1.870,1	1.843,7	1.860,5	1.873,1	1.954,7	1.943,8	1.938,0	1.919,7	1.978,0	1.891,6	1.899,3	2.191,2	2.166,0	2.259,4	2.252,0
Czech Republic	250,9	292,4	183,5	267,9	305,5	341,6	329,4	357,9	443,8	560,2	685,7	762,2	879,2	866,0	888,6	883,7	904,1	883,7
Denmark	1.091,1	1.263,5	1.499,5	1.761,8	1.809,7	1.690,1	1.883,9	1.836,3	1.821,0	2.237,5	2.540,0	2.644,3	2.832,2	3.175,1	3.328,7	3.220,1	3.805,5	3.610,2
Estonia	12,9	21,7	35,7	44,0	82,1	96,2	108,3	147,8	404,4	783,7	888,3	1.116,0	924,6	1.055,3	1.141,9	1.156,9	1.365,6	1.503,3
Finland	4.144,0	3.804,1	3.647,5	4.889,7	4.462,6	4.257,5	4.591,2	5.223,0	4.062,3	4.509,0	4.485,4	5.274,1	4.712,2	4.810,6	5.569,6	5.531,5	5.711,6	5.819,3
France	1.309,1	1.073,6	1.046,5	1.053,4	921,5	1.013,5	1.065,3	1.186,7	1.113,8	1.243,6	1.044,4	1.340,5	1.553,9	1.463,7	1.424,8	1.531,1	1.428,3	1.744,8
Germany	478,8	565,4	564,9	704,3	778,2	889,9	1.099,9	1.162,0	1.185,9	1.301,5	1.534,8	1.767,3	1.876,2	1.996,3	2.308,4	2.308,0	2.619,2	2.705,6
Greece	263,3	319,9	525,2	526,7	570,7	686,6	413,2	520,9	746,9	966,4	752,0	941,6	1.336,0	1.137,9	1.393,1	1.403,0	1.305,8	1.534,7
Hungary	25,2	23,3	33,1	92,5	185,4	148,5	187,8	235,9	290,7	304,2	273,7	268,2	283,4	321,4	330,3	334,1	357,9	386,6
Iceland	28.137,8	29.263,2	29.246,5	29.374,6	29.189,8	32.843,3	38.986,9	52.543,4	52.876,6	52.325,0	52.164,1	53.046,0	55.030,6	54.103,3	56.224,2	54.725,9	56.419,2	57.655,8
Ireland	267,3	353,6	285,9	343,5	452,4	584,9	646,2	812,3	914,1	818,8	1.181,4	1.140,7	1.219,4	1.381,5	1.689,9	1.600,0	1.868,2	2.115,5
Israel	3,3	5,2	6,8	6,1	6,0	3,7	3,5	4,6	13,8	21,8	37,5	60,5	78,5	121,8	165,0	217,2	209,7	215,8
Italy	955,6	844,9	814,1	929,7	831,1	864,9	812,2	987,1	1.171,7	1.297,3	1.392,2	1.540,1	1.861,5	1.997,5	1.797,6	1.780,5	1.712,2	1.887,0
Japan	962,5	959,8	1.076,5	1.072,8	973,9	1.069,2	975,3	947,8	954,4	1.109,3	1.137,1	1.094,6	1.185,5	1.299,4	1.433,1	1.471,7	1.634,1	1.700,8
Korea, Rep.	88,8	72,0	106,4	97,2	83,7	83,0	94,3	88,7	96,2	131,7	165,7	158,4	194,6	197,6	237,6	343,7	409,2	501,8
Latvia	1.203,5	1.064,9	1.014,1	1.402,5	1.516,0	1.252,6	1.286,6	1.479,9	1.657,4	1.715,3	1.469,0	1.986,0	1.727,8	1.386,6	1.390,0	1.763,7	2.799,4	1.814,6
Lithuania	94,3	103,7	97,2	126,7	137,3	131,9	178,6	187,4	216,0	291,6	360,9	388,2	506,9	508,4	572,8	725,0	892,1	787,1
Luxembourg	381,1	340,7	315,7	431,9	456,4	527,1	557,0	582,2	538,9	527,6	473,6	580,1	681,7	716,5	759,8	789,6	1.014,2	1.133,2
Mexico	362,1	320,6	275,9	326,0	356,4	364,2	339,3	422,6	306,1	395,5	384,9	358,2	328,9	434,2	383,0	385,1	405,1	428,0
Netherlands	206,2	246,8	244,5	325,8	455,0	489,7	459,4	575,3	651,7	671,1	736,1	743,3	718,7	689,5	807,9	870,2	1.024,4	1.106,9
New Zealand	6.392,0	7.095,1	6.653,2	7.440,4	6.637,0	6.677,0	6.734,0	6.543,5	7.164,0	7.387,9	7.520,5	6.988,1	6.977,2	7.405,2	7.530,7	7.756,0	7.481,1	7.657,4
Norway	26.448,6	28.262,0	22.993,4	23.576,3	29.193,0	25.525,4	28.328,9	29.145,0	25.960,0	24.068,4	24.555,8	28.555,4	25.601,9	26.745,8	26.855,6	27.572,8	27.371,2	26.687,0
Poland	72,2	71,9	58,5	83,5	100,3	111,9	141,6	172,3	226,3	284,1	343,1	441,5	447,3	520,9	596,4	600,4	635,6	570,0
Portugal	1.522,2	937,1	1.697,3	1.176,1	785,9	1.491,3	1.533,9	1.381,9	1.724,9	2.675,7	2.281,6	1.840,4	2.814,1	3.029,5	2.350,7	3.129,0	2.193,9	2.866,8
Slovak Republic	941,0	1.003,7	663,1	764,2	866,1	889,7	913,7	845,2	909,2	1.099,2	924,2	1.010,9	1.171,7	1.147,4	1.111,1	1.218,1	1.199,0	1.064,7
Slovenia	1.946,5	1.718,2	1.549,1	2.118,0	1.791,8	1.848,8	1.679,7	2.129,0	2.412,4	2.323,9	1.891,5	2.103,5	2.476,2	3.196,5	2.100,9	2.437,4	2.140,1	2.517,0
Spain	1.193,0	791,3	1.309,1	1.157,7	960,3	1.166,0	1.283,1	1.348,9	1.590,2	2.083,4	1.858,8	1.847,8	2.373,8	2.357,3	2.080,2	2.243,7	1.884,9	2.224,9
Sweden	9.364,0	7.975,0	6.561,4	7.583,9	8.986,6	7.813,1	8.449,6	8.814,3	8.569,8	8.741,7	8.882,3	10.301,7	8.597,2	8.846,6	10.496,3	9.061,3	9.597,0	9.140,9
Switzerland	5.953,8	5.092,0	5.007,3	4.836,3	4.474,1	4.427,6	4.941,5	5.000,4	4.901,7	4.899,5	4.405,8	5.163,2	5.122,2	5.070,3	5.053,2	4.620,0	4.573,8	4.666,3
Turkey	376,9	517,5	533,7	684,9	581,9	643,7	522,0	486,1	532,0	765,3	775,1	857,2	896,8	669,5	1.047,9	1.120,3	1.066,0	1.174,3
United Kingdom	161,5	187,5	178,3	236,1	280,9	297,7	320,4	351,5	401,8	412,6	550,0	639,3	818,9	986,3	1.253,8	1.230,9	1.454,3	1.610,5
United States	980,0	1.165,1	1.196,5	1.173,2	1.190,2	1.273,6	1.150,5	1.234,5	1.348,6	1.365,2	1.626,9	1.559,1	1.635,2	1.705,9	1.724,3	1.924,3	2.165,9	2.233,3

Figura 9.6 Consumo pro-capite di energia primaria proveniente da fonti rinnovabili, espressa in kWh. Fonte:

<https://github.com/owid/energy-data>; 29.01.2022

Consumo di energia proveniente da combustibili fossili

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	10.093,1	10.150,7	9.942,9	10.289,4	9.700,7	9.666,8	9.975,6	9.841,9	9.943,5	9.796,4	9.485,6	9.214,0	8.751,7	8.415,9	8.557,5	8.489,0	8.318,5	8.168,7
Austria	2.323,9	2.310,4	2.792,3	2.714,7	2.859,5	2.569,6	2.374,8	2.393,4	2.283,6	2.724,9	2.525,5	2.043,0	1.646,8	1.324,8	1.643,9	1.620,4	1.856,6	1.683,7
Belgium	3.023,0	3.129,9	3.358,3	3.391,5	3.388,9	3.248,4	3.324,9	3.094,0	3.412,6	3.578,1	2.929,8	2.764,1	2.458,6	2.234,8	2.448,7	2.315,8	2.364,5	2.425,0
Canada	5.198,2	4.991,7	4.993,3	4.692,6	4.680,2	4.291,7	4.535,6	4.253,6	3.866,4	3.847,3	3.833,8	3.597,7	3.503,5	3.463,5	3.512,0	3.409,1	3.076,2	3.036,2
Chile	1.178,5	1.166,0	1.384,3	1.596,0	1.405,9	1.422,7	1.858,1	1.822,3	1.724,4	1.984,7	2.165,0	2.394,8	2.505,7	2.123,2	2.224,1	2.322,5	2.266,8	2.220,3
China	900,2	1.010,1	1.165,2	1.329,6	1.482,9	1.721,8	1.994,5	2.045,3	2.198,9	2.482,7	2.808,6	2.813,1	3.005,5	2.987,8	2.968,9	3.014,0	3.171,2	3.384,1
Colombia	260,3	243,4	223,7	203,8	220,0	227,3	219,6	190,3	326,4	344,4	207,6	260,1	457,5	435,8	565,3	510,9	315,2	350,3
Costa Rica	23,3	28,0	35,4	14,7	59,4	115,3	154,1	142,6	93,8	131,6	175,1	166,4	237,1	204,5	20,9	37,0	7,0	29,9
Czech Republic	5.540,7	5.292,5	5.377,9	5.344,5	5.271,0	5.251,7	5.617,0	5.085,0	4.744,2	4.871,1	4.841,5	4.557,6	4.333,6	4.297,2	4.364,9	4.569,6	4.493,6	4.454,3
Denmark	5.947,6	6.046,0	7.070,5	5.719,0	4.875,3	6.688,1	5.303,7	4.823,6	4.762,9	4.758,4	3.770,1	2.827,3	3.330,1	2.507,1	1.758,4	2.127,2	1.610,0	1.670,9
Estonia	6.081,2	6.143,9	7.363,4	7.510,3	7.444,0	7.117,9	8.962,1	7.749,3	6.166,2	8.948,9	8.820,8	7.928,9	9.139,5	8.402,0	6.779,5	8.095,7	8.427,8	7.839,0
Finland	5.766,5	6.252,5	8.089,5	7.104,3	4.486,7	6.951,2	6.262,6	4.936,3	4.969,1	6.218,3	4.793,1	3.424,1	3.995,5	3.287,1	2.659,6	2.705,8	2.389,8	2.724,8
France	782,6	880,6	952,3	931,3	1.036,6	925,1	940,2	893,4	820,5	916,4	939,4	886,7	833,3	554,1	692,1	874,7	1.004,0	763,7
Germany	4.563,3	4.550,2	4.814,1	4.743,6	4.779,2	4.832,3	4.978,0	4.841,7	4.451,2	4.713,8	4.642,8	4.699,1	4.722,0	4.448,1	4.423,7	4.507,6	4.296,0	4.048,2
Greece	4.503,7	4.504,4	4.636,2	4.708,1	4.723,4	4.693,8	5.226,3	5.177,7	4.827,9	4.302,4	4.712,3	4.695,3	3.981,5	3.566,6	3.468,3	3.723,3	3.916,0	3.525,7
Hungary	2.161,5	2.160,6	2.247,9	2.062,2	1.988,1	2.078,8	2.334,4	2.286,9	1.766,0	1.872,6	1.781,1	1.641,9	1.230,7	1.075,7	1.149,0	1.282,8	1.359,0	1.275,1
Iceland	13,3	19,8	19,6	12,9	15,9	12,5	6,2	6,0	5,9	5,9	5,8	8,7	14,4	8,6	11,4	8,5	5,6	5,6
Ireland	6.143,9	6.003,3	5.960,6	5.870,1	5.736,1	5.823,9	5.792,6	5.960,2	5.305,8	5.368,4	4.735,4	4.749,8	4.322,4	4.196,2	4.351,0	4.835,5	4.584,5	4.295,8
Israel	6.813,3	6.928,2	7.037,0	6.941,6	6.991,8	7.109,9	7.381,6	7.597,9	7.143,6	7.471,5	7.444,9	7.717,4	7.382,8	7.168,1	7.424,3	7.571,7	7.495,9	7.511,3
Italy	3.810,6	3.995,0	4.143,6	4.158,1	4.243,0	4.373,4	4.416,9	4.316,6	3.693,7	3.724,1	3.637,9	3.411,2	2.909,8	2.594,9	2.840,3	2.953,8	3.122,3	2.853,1
Japan	4.464,2	4.779,0	4.994,4	4.894,2	4.979,7	4.934,1	5.534,9	5.193,7	4.794,4	5.357,2	6.257,8	6.841,3	6.862,2	6.640,9	6.324,7	6.246,5	6.060,5	5.679,2
Korea, Rep.	3.797,4	4.058,0	4.057,9	4.480,5	4.573,2	4.795,4	5.334,0	5.512,9	5.694,7	6.477,0	6.737,9	6.993,6	7.264,7	7.046,2	6.879,6	6.988,1	7.234,5	7.841,1
Latvia	610,9	638,7	709,9	655,1	662,5	946,1	884,0	949,8	938,5	1.412,0	1.440,8	994,7	1.308,1	1.156,4	1.379,9	1.491,4	1.060,7	1.673,4
Lithuania	749,6	771,0	833,3	902,7	1.022,1	845,9	866,8	807,0	895,5	1.227,0	933,2	1.024,0	814,4	657,9	789,7	453,8	288,3	195,0
Luxembourg	1.591,8	5.987,1	5.925,6	7.050,2	6.846,3	7.042,8	6.179,3	5.034,6	5.802,2	5.832,5	4.630,1	4.609,8	2.725,6	2.714,9	1.594,2	565,9	504,1	451,1
Mexico	1.561,0	1.601,8	1.592,0	1.701,0	1.728,8	1.740,5	1.804,0	1.722,6	1.786,5	1.844,4	2.010,8	2.050,6	1.944,8	1.865,5	1.941,1	1.987,5	1.955,4	1.986,9
Netherlands	5.377,9	5.454,0	5.469,8	5.641,4	5.389,9	5.302,1	5.646,5	5.655,7	5.923,0	6.230,9	5.816,2	5.162,7	5.136,0	5.178,1	5.459,2	5.673,2	5.657,6	5.390,7
New Zealand	3.456,7	2.917,7	3.219,7	2.735,4	3.474,9	3.460,9	3.332,1	3.431,3	2.661,1	2.574,8	2.247,6	2.617,0	2.310,6	1.858,6	1.783,7	1.378,8	1.658,1	1.451,7
Norway	71,3	73,0	94,6	103,9	107,6	128,1	186,4	119,4	849,4	967,9	802,8	531,5	488,2	509,5	501,3	496,9	485,4	492,0
Poland	3.657,9	3.630,2	3.843,7	3.882,0	3.940,9	4.071,4	3.991,3	3.859,4	3.713,2	3.812,1	3.914,5	3.786,6	3.848,3	3.636,7	3.721,5	3.771,6	3.841,8	3.899,6
Portugal	2.942,4	3.458,2	2.763,0	3.105,1	3.609,4	3.116,2	2.901,5	2.910,1	2.941,4	2.391,0	2.627,4	2.489,2	2.010,7	1.957,4	2.594,6	2.598,5	3.413,7	2.827,5
Slovak Republic	1.787,4	1.633,1	1.763,1	1.720,3	1.653,8	1.553,3	1.402,9	1.380,8	1.275,3	1.278,7	1.442,0	1.346,3	1.175,2	976,6	983,4	971,0	1.040,9	1.085,1
Slovenia	2.688,0	2.846,5	2.783,6	2.812,7	2.835,9	2.929,0	2.966,7	2.876,0	2.830,6	2.862,7	2.837,4	2.765,3	2.617,2	2.023,4	2.324,2	2.627,6	2.562,9	2.468,3
Spain	2.905,6	3.428,4	3.278,6	3.692,5	4.194,8	4.090,8	4.141,2	4.114,6	3.535,3	2.948,9	3.103,4	3.088,1	2.414,5	2.295,4	2.639,3	2.314,4	2.720,9	2.403,7
Sweden	692,9	834,4	1.031,5	668,6	526,1	575,9	483,0	497,8	496,7	908,4	604,2	428,4	404,0	302,8	321,7	372,4	350,4	366,7
Switzerland	143,1	145,4	151,3	147,2	137,9	124,1	114,4	105,5	99,0	131,9	120,3	112,9	92,5	61,6	75,3	100,1	84,5	71,1
Turkey	1.439,9	1.376,4	1.493,2	1.463,9	1.690,5	1.800,3	2.093,7	2.188,1	2.063,8	2.019,3	2.190,8	2.192,9	2.112,6	2.422,0	2.126,0	2.159,9	2.423,9	2.352,4
United Kingdom	4.781,9	4.814,4	4.972,4	4.962,9	4.924,2	4.930,4	5.048,5	4.996,4	4.436,3	4.579,2	4.074,9	3.863,0	3.563,4	3.163,2	2.769,9	2.737,4	2.485,6	2.309,3
United States	9.447,8	9.550,6	9.567,1	9.710,9	9.906,5	9.733,6	9.994,6	9.682,6	8.940,0	9.372,5	8.996,0	8.880,3	8.721,7	8.673,6	8.543,0	8.260,3	7.841,7	8.151,6

Figura 9.7 Consumo pro-capite di energia primaria proveniente da combustibili fossili, espressa in kWh. Fonte:

<https://github.com/owid/energy-data>; 29.01.2022

Sussidi per combustibili fossili

Country	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	5.360.970.495	6.677.782.497	5.771.247.278	5.428.021.814	5.134.480.714	4.436.281.378	7.078.266.843	8.116.779.725	7.444.935.929
Austria	1.090.849.145	1.216.666.280	998.651.021	891.058.075	873.773.767	753.465.674	777.673.664	804.296.895	906.671.169
Belgium	2.969.350.655	2.919.924.332	2.922.385.516	3.181.777.910	2.678.232.765	2.510.025.135	2.628.127.220	3.032.725.909	3.144.666.487
Canada	4.607.129.384	2.890.853.597	3.180.024.149	3.219.374.393	3.311.303.034	2.202.464.520	2.429.512.451	2.464.963.367	2.175.305.330
Chile	1.433.708.415	296.670.067	208.218.837	230.163.676	702.081.786	1.104.282.115	1.391.743.115	1.640.942.177	1.338.892.513
China	18.114.774.974	20.743.090.524	37.039.824.027	36.949.349.335	32.703.701.911	33.255.131.977	18.416.911.134	21.421.288.079	19.409.013.032
Colombia	2.565.315.236	2.217.491.203	1.928.222.731	1.992.303.986	2.089.643.256	1.301.721.561	1.272.032.380	1.717.274.691	2.239.103.202
Costa Rica	0	0	0	0	0	0	0	0	
Czech Republic	342.277.587	368.057.616	334.864.903	298.639.137	266.804.477	233.087.063	241.242.230	245.798.750	249.840.631
Denmark	1.303.877.204	1.452.310.807	1.139.409.088	1.188.502.342	1.189.316.610	165.727.613	183.459.852	234.663.932	247.598.518
Estonia	124.092.595	131.539.751	101.399.385	87.071.432	80.407.533	57.171.005	41.291.935	48.630.489	48.351.800
Finland	1.027.866.082	1.045.702.910	1.067.009.236	1.243.163.590	1.707.125.109	1.359.668.328	1.443.107.909	1.491.186.271	1.643.551.103
France	3.620.891.565	5.516.488.441	5.800.517.845	5.873.054.905	5.664.070.259	5.251.322.940	5.984.078.158	7.016.809.553	9.271.688.931
Germany	6.874.449.901	6.923.600.710	5.984.989.293	6.018.837.017	6.152.408.006	5.035.609.553	5.330.982.196	5.076.167.617	5.128.456.223
Greece	3.101.422.843	3.099.777.898	3.837.029.488	4.053.013.971	3.206.570.891	2.461.841.430	2.148.158.507	2.372.654.384	1.787.170.570
Hungary	452.075.176	630.279.869	523.998.205	486.841.798	474.668.546	475.251.901	356.476.792	359.064.583	409.857.801
Iceland	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ireland	287.977.493	635.128.747	664.271.928	773.740.658	987.328.954	840.765.226	938.291.541	903.587.850	675.355.795
Israel	571.928.002	680.105.630	829.769.136	958.192.533	969.616.815	940.842.048	994.099.844	1.099.739.174	1.146.788.756
Italy	12.909.097.011	15.569.076.865	16.177.801.032	17.202.461.150	18.010.546.678	15.728.103.535	14.623.123.102	12.796.227.231	10.876.058.187
Japan	2.176.213.264	2.937.225.307	3.567.994.705	3.775.094.200	2.882.241.688	2.871.291.206	3.315.620.777	2.362.076.634	1.901.320.002
Korea, Rep.	1.909.658.287	1.877.810.553	1.802.412.465	1.964.998.405	1.972.804.974	1.736.572.049	1.392.578.725	1.480.157.122	1.465.309.324
Latvia	198.112.880	229.324.364	315.541.043	355.509.293	341.620.668	271.788.727	257.074.395	242.942.472	189.417.004
Lithuania	196.716.927	256.686.849	248.039.462	259.937.651	286.037.558	198.307.472	251.950.535	260.551.714	289.933.801
Luxembourg	3.878.490	3.205.178	3.300.723	3.160.103	2.993.011	2.219.027	2.213.807	2.259.361	2.361.908
Mexico	7.245.682.188	16.834.060.687	18.517.162.422	8.616.706.175	3.309.947.384	4.947.376.066	17.152.171.363	5.071.793.848	3.975.682.349
Netherlands	432.983.536	510.805.351	416.303.037	155.678.957	196.577.156	173.215.726	324.785.319	348.567.743	362.522.220
New Zealand	49.850.587	49.807.434	58.696.687	43.585.083	52.379.517	49.172.406	54.223.212	42.466.719	51.015.112
Norway	1.104.105.432	1.299.853.720	1.147.572.770	1.428.181.530	1.402.205.986	1.194.101.650	1.060.198.207	955.297.639	950.711.662
Poland	1.747.067.655	1.792.598.699	1.428.187.711	1.404.557.513	1.529.849.649	1.308.781.446	1.734.250.060	1.817.303.916	2.732.022.843
Portugal	221.111.726	498.706.900	156.415.921	163.222.151	187.491.607	243.179.517	272.299.820	450.992.461	455.685.503
Slovak Republic	281.382.137	223.973.761	239.686.835	270.249.138	278.448.254	238.091.882	241.283.932	245.372.588	288.779.492
Slovenia	190.831.313	149.316.017	148.555.805	166.567.892	181.834.611	159.524.019	169.841.729	181.309.471	171.236.118
Spain	5.254.260.035	3.935.475.560	3.143.635.489	2.739.866.781	2.535.089.137	2.257.355.530	2.068.077.975	2.014.372.865	2.143.443.109
Sweden	3.392.288.475	2.936.763.423	2.296.645.450	1.929.011.991	1.872.751.618	1.439.132.680	1.427.391.086	1.423.178.806	1.300.217.190
Switzerland	1.932.691.413	2.459.624.665	2.370.511.300	2.323.362.927	2.468.229.477	2.456.050.420	2.490.948.855	2.439.547.634	2.544.697.562
Turkey	998.112.527	1.081.956.603	1.072.015.767	1.092.978.217	4.666.354.184	4.404.530.378	4.546.356.501	5.419.894.803	4.730.767.867
United Kingdom	8.873.301.361	6.878.511.855	9.349.533.262	26.045.916.070	23.991.073.496	22.205.119.390	15.013.133.954	15.930.965.650	15.861.318.319
United States	15.166.655.603	10.850.928.719	11.493.238.323	11.283.000.615	10.335.205.708	8.698.601.939	6.593.861.907	6.412.739.616	5.330.264.472

Figura 9.8 Sussidi ai combustibili fossili espressi in MLN di USD. Fonte: <https://fossilfuelsubsidytracker.org/>; 20.10.2021

PIL pro-capite

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	19.527,3	20.117,8	23.492,4	30.513,9	34.081,0	36.117,5	41.001,1	49.654,9	42.783,3	52.088,0	62.574,1	68.027,8	68.156,6	62.511,7	56.707,0	49.881,8	53.934,3	57.180,8
Austria	24.537,5	26.401,7	32.222,9	36.821,5	38.403,1	40.635,3	46.855,8	51.708,8	47.963,2	46.858,0	51.375,0	48.567,7	50.716,7	51.717,5	44.178,0	45.276,8	47.312,0	51.461,4
Belgium	22.995,2	24.887,6	30.587,7	35.364,4	36.796,0	38.672,7	44.262,9	48.106,9	44.583,5	44.141,9	47.348,5	44.673,1	46.744,7	47.700,5	40.991,8	41.984,1	44.089,3	47.519,6
Canada	23.822,1	24.255,3	28.300,5	32.143,7	36.382,5	40.504,1	44.659,9	46.710,5	40.876,3	47.562,1	52.223,7	52.669,1	52.635,2	50.956,0	43.596,1	42.315,6	45.129,4	46.454,7
Chile	4.574,6	4.446,2	4.772,6	6.194,9	7.598,5	9.464,5	10.502,4	10.751,5	10.208,9	12.808,0	14.637,2	15.351,5	15.842,9	14.671,0	13.574,2	13.753,6	14.998,8	15.888,1
China	1.053,1	1.148,5	1.288,6	1.508,7	1.753,4	2.099,2	2.694,0	3.468,3	3.832,2	4.550,5	5.614,4	6.300,6	7.020,3	7.636,1	8.016,4	8.094,4	8.817,0	9.905,3
Colombia	2.439,7	2.396,6	2.281,4	2.782,6	3.414,5	3.741,1	4.714,1	5.472,5	5.193,2	6.336,7	7.335,2	8.050,3	8.218,3	8.114,3	6.175,9	5.870,8	6.376,7	6.729,6
Costa Rica	3.960,3	4.042,7	4.147,8	4.404,7	4.676,4	5.227,5	6.103,7	6.901,4	6.801,0	8.227,1	9.229,8	10.075,0	10.744,1	10.847,2	11.642,8	12.011,2	12.225,6	12.485,4
Czech Republic	6.637,0	8.060,9	9.818,6	11.749,9	13.430,7	15.261,8	18.466,5	22.804,6	19.861,7	19.960,1	21.871,3	19.870,8	20.133,2	19.890,9	17.829,7	18.575,2	20.636,2	23.419,7
Denmark	30.751,7	33.228,7	40.458,8	46.511,6	48.799,8	52.027,0	58.487,1	64.322,1	58.163,3	58.041,4	61.753,6	58.507,5	61.191,2	62.549,0	53.254,9	54.664,0	57.610,1	61.591,9
Estonia	4.505,9	5.341,6	7.203,5	8.914,1	10.412,6	12.639,4	16.744,6	18.205,0	14.711,7	14.663,0	17.464,9	17.404,2	19.050,6	20.234,1	17.395,0	18.282,9	20.387,3	23.052,3
Finland	24.946,2	26.869,7	32.855,1	37.702,8	39.040,3	41.188,1	48.414,8	53.554,0	47.294,0	46.460,0	51.082,0	47.710,8	49.878,0	50.260,3	42.784,7	43.784,3	46.297,5	49.964,5
France	22.433,6	24.177,3	29.568,4	33.741,3	34.760,2	36.443,6	41.508,4	45.334,1	41.575,4	40.638,3	43.790,7	40.874,7	42.592,9	43.011,3	36.638,2	37.037,4	38.685,3	41.572,5
Germany	23.607,9	25.077,7	30.243,6	34.044,1	34.507,4	36.323,4	41.587,2	45.427,2	41.485,9	41.531,9	46.644,8	43.858,4	46.285,8	47.960,0	41.086,7	42.107,5	44.542,3	47.950,2
Greece	12.538,2	14.110,3	18.477,6	21.955,1	22.551,7	24.801,2	28.827,3	31.997,3	29.711,0	26.690,6	25.450,5	21.914,3	21.781,6	21.588,0	18.076,6	17.911,8	18.536,2	19.747,3
Hungary	5.276,0	6.655,3	8.421,1	10.303,7	11.225,9	11.493,1	13.945,0	15.777,2	13.081,8	13.223,1	14.240,3	12.989,2	13.720,0	14.298,8	12.720,7	13.107,4	14.623,7	16.427,4
Iceland	28.897,4	32.409,2	39.476,7	47.334,9	56.794,9	57.492,9	69.495,7	56.943,4	41.301,3	43.237,1	47.714,6	45.995,5	49.805,0	54.576,7	52.951,7	61.987,9	72.010,1	74.469,8
Ireland	28.257,9	32.550,3	41.112,7	47.666,5	50.914,0	54.283,7	61.318,5	61.103,5	51.927,2	48.607,9	52.108,8	49.028,8	51.518,4	55.525,9	61.987,6	62.819,0	69.601,7	79.069,0
Israel	20.316,2	18.439,6	18.991,4	19.910,6	20.585,1	21.853,1	24.952,5	29.650,8	27.780,5	30.780,0	33.775,5	32.667,6	36.499,5	37.847,6	35.808,4	37.330,3	40.774,1	42.063,5
Italy	20.483,2	22.270,1	27.465,7	31.259,7	32.043,1	33.501,7	37.822,7	40.778,3	37.079,8	36.000,5	38.599,1	35.053,5	35.550,0	35.518,4	30.230,2	30.939,7	32.326,7	34.605,3
Japan	34.406,2	32.820,8	35.387,0	38.299,0	37.812,9	35.991,5	35.779,0	39.876,3	41.309,0	44.968,2	48.760,1	49.145,3	40.898,6	38.475,4	34.960,6	39.400,7	38.891,1	39.808,2
Korea, Rep.	11.561,2	13.165,1	14.672,9	16.496,1	19.402,5	21.743,5	24.086,4	21.350,4	19.143,9	23.087,2	25.096,3	25.466,8	27.182,7	29.249,6	28.732,2	29.288,9	31.616,8	33.422,9
Latvia	3.578,0	4.136,9	5.145,2	6.378,7	7.594,9	9.723,4	14.113,5	16.467,1	12.331,9	11.421,0	13.339,0	13.847,3	15.007,5	15.721,5	13.780,9	14.322,0	15.656,3	17.856,3
Lithuania	3.525,8	4.141,6	5.499,4	6.700,3	7.854,8	9.230,7	12.285,4	14.945,0	11.820,8	11.987,5	14.376,9	14.367,7	15.729,7	16.551,0	14.258,2	14.998,1	16.843,7	19.176,8
Luxembourg	48.398,2	52.754,3	65.544,6	76.404,4	80.957,9	90.712,8	107.338,9	119.932,2	108.987,7	110.777,9	118.869,3	112.591,1	119.966,0	123.514,2	105.419,6	106.826,7	109.921,0	117.197,5
Mexico	7.544,6	7.593,1	7.075,4	7.484,5	8.277,7	9.068,3	9.642,7	10.016,6	8.003,0	9.271,4	10.203,4	10.241,7	10.725,2	10.928,9	9.616,6	8.744,5	9.287,8	9.687,0
Netherlands	26.873,3	29.204,0	35.672,2	40.362,4	41.979,1	44.863,4	51.733,4	57.644,5	52.514,0	50.950,0	54.159,3	50.073,0	52.184,1	52.830,2	45.175,2	46.007,9	48.555,0	53.018,6
New Zealand	13.882,9	16.874,2	21.913,7	25.420,2	27.751,1	26.654,6	32.480,0	31.253,0	28.209,4	33.676,8	38.387,6	39.973,4	42.976,6	44.572,9	38.630,7	40.080,5	42.992,9	43.306,1
Norway	38.542,7	43.084,5	50.134,9	57.603,8	66.810,5	74.148,3	85.140,0	96.944,1	79.977,7	87.693,8	100.600,6	101.524,1	102.913,5	97.019,2	74.355,5	70.460,6	75.496,8	82.267,8
Poland	4.991,2	5.207,2	5.701,6	6.681,4	8.021,5	9.035,4	11.254,5	13.996,0	11.526,1	12.613,0	13.879,6	13.097,3	13.696,5	14.271,3	12.578,5	12.447,4	13.864,7	15.468,5
Portugal	11.724,6	12.875,3	15.763,0	18.031,0	18.773,1	19.822,8	22.782,1	24.847,5	23.059,8	22.498,7	23.186,9	20.564,9	21.647,0	22.074,3	19.242,4	19.978,4	21.437,3	23.551,0
Slovak Republic	5.717,2	6.533,6	8.712,7	10.671,8	11.685,8	13.159,8	16.085,6	18.677,3	16.531,7	16.825,4	18.406,0	17.430,8	18.203,2	18.631,0	16.335,6	16.501,1	17.494,7	19.380,5
Slovenia	10.479,8	11.777,2	14.849,0	17.233,1	18.098,9	19.673,0	23.787,6	27.483,3	24.694,2	23.509,5	25.095,1	22.643,1	23.496,6	24.214,9	20.881,8	21.663,6	23.455,9	26.104,1
Spain	15.355,7	17.025,5	21.463,4	24.861,3	26.419,3	28.365,3	32.550,0	35.366,3	32.042,5	30.502,7	31.636,4	28.324,4	29.059,5	29.461,6	25.732,0	26.505,3	28.100,6	30.349,8
Sweden	27.247,9	29.899,2	37.321,8	42.821,7	43.437,1	46.593,6	53.700,0	56.152,6	46.947,0	52.869,0	60.755,8	58.037,8	61.126,9	60.020,4	51.545,5	51.965,2	53.791,5	54.589,1
Switzerland	39.727,8	42.578,8	49.470,4	54.878,5	56.546,8	59.300,6	65.359,5	74.572,2	72.083,2	77.117,1	91.254,0	86.547,7	88.109,5	89.684,7	84.776,1	83.073,3	83.352,1	86.388,4
Turkey	3.142,9	3.688,0	4.760,1	6.101,6	7.456,3	8.101,9	9.791,9	10.941,2	9.103,5	10.742,8	11.420,6	11.795,6	12.614,8	12.158,0	11.006,3	10.894,6	10.589,7	9.454,3
United Kingdom	27.806,4	30.049,9	34.487,5	40.371,7	42.132,1	44.654,1	50.653,3	47.549,3	38.952,2	39.688,6	42.284,9	42.686,8	43.713,8	47.787,2	45.404,6	41.499,6	40.857,8	43.647,0
United States	37.133,2	38.023,2	39.496,5	41.712,8	44.114,7	46.298,7	47.976,0	48.382,6	47.100,0	48.466,7	49.882,6	51.602,9	53.106,5	55.050,0	56.863,4	58.021,4	60.109,7	63.064,4

Figura 9.9 PIL pro-capite in USD. Fonte: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>; 29.01.2022

Crescita del PIL

Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	2,0%	4,0%	3,1%	4,2%	3,2%	2,7%	3,8%	3,6%	1,9%	2,2%	2,5%	3,9%	2,6%	2,6%	2,2%	2,7%	2,3%	2,9%
Austria	1,3%	1,7%	0,9%	2,7%	2,2%	3,5%	3,7%	1,5%	-3,8%	1,8%	2,9%	0,7%	0,0%	0,7%	1,0%	2,0%	2,3%	2,5%
Belgium	1,1%	1,7%	1,0%	3,6%	2,3%	2,6%	3,7%	0,4%	-2,0%	2,9%	1,7%	0,7%	0,5%	1,6%	2,0%	1,3%	1,6%	1,8%
Canada	1,4%	3,4%	3,8%	3,9%	5,0%	4,2%	6,9%	1,0%	-2,9%	3,1%	3,1%	1,8%	2,3%	2,9%	0,7%	1,0%	3,0%	2,4%
Chile	3,3%	3,1%	4,1%	7,2%	5,7%	6,3%	4,9%	3,5%	-1,6%	5,8%	6,1%	5,3%	4,0%	1,8%	2,3%	1,7%	1,2%	3,7%
China	8,3%	9,1%	10,0%	10,1%	11,4%	12,7%	14,2%	9,7%	9,4%	10,6%	9,6%	7,9%	7,8%	7,4%	7,0%	6,8%	6,9%	6,7%
Colombia	1,7%	2,5%	3,9%	5,3%	4,8%	6,7%	6,7%	3,3%	1,1%	4,5%	6,9%	3,9%	5,1%	4,5%	3,0%	2,1%	1,4%	2,6%
Costa Rica	3,5%	3,4%	4,3%	4,4%	4,0%	7,3%	8,2%	4,7%	-0,9%	5,4%	4,4%	4,9%	2,5%	3,5%	3,7%	4,2%	4,2%	2,6%
Czech Republic	3,0%	1,6%	3,6%	4,8%	6,6%	6,8%	5,6%	2,7%	-4,7%	2,4%	1,8%	-0,8%	0,0%	2,3%	5,4%	2,5%	5,2%	3,2%
Denmark	0,8%	0,5%	0,4%	2,7%	2,3%	3,9%	0,9%	-0,5%	-4,9%	1,9%	1,3%	0,2%	0,9%	1,6%	2,3%	3,2%	2,8%	2,0%
Estonia	6,0%	6,8%	7,6%	6,8%	9,5%	9,8%	7,6%	-5,1%	-14,6%	2,4%	7,3%	3,2%	1,5%	3,0%	1,9%	3,2%	5,8%	4,1%
Finland	2,6%	1,7%	2,0%	4,0%	2,8%	4,0%	5,3%	0,8%	-8,1%	3,2%	2,5%	-1,4%	-0,9%	-0,4%	0,5%	2,8%	3,2%	1,1%
France	2,0%	1,1%	0,8%	2,8%	1,7%	2,4%	2,4%	0,3%	-2,9%	1,9%	2,2%	0,3%	0,6%	1,0%	1,1%	1,1%	2,3%	1,9%
Germany	1,7%	-0,2%	-0,7%	1,2%	0,7%	3,8%	3,0%	1,0%	-5,7%	4,2%	3,9%	0,4%	0,4%	2,2%	1,5%	2,2%	2,7%	1,1%
Greece	4,1%	3,9%	5,8%	5,1%	0,6%	5,7%	3,3%	-0,3%	-4,3%	-5,5%	-10,1%	-7,1%	-2,5%	0,5%	-0,2%	-0,5%	1,1%	1,7%
Hungary	4,1%	4,7%	4,1%	5,0%	4,3%	3,9%	0,3%	1,0%	-6,6%	1,1%	1,9%	-1,3%	1,8%	4,2%	3,7%	2,2%	4,3%	5,4%
Iceland	4,0%	0,6%	2,1%	7,8%	6,1%	6,3%	8,5%	2,2%	-7,7%	-2,8%	1,8%	1,1%	4,6%	1,7%	4,4%	6,3%	4,2%	4,9%
Ireland	5,3%	5,9%	3,0%	6,8%	5,7%	5,0%	5,3%	-4,5%	-5,1%	1,8%	1,1%	-0,1%	1,3%	8,7%	25,2%	2,0%	8,9%	9,0%
Israel	0,1%	-0,2%	1,1%	4,9%	4,2%	5,8%	6,1%	3,5%	1,1%	5,7%	5,5%	2,8%	4,8%	4,1%	2,3%	4,5%	4,4%	4,0%
Italy	2,0%	0,3%	0,1%	1,4%	0,8%	1,8%	1,5%	-1,0%	-5,3%	1,7%	0,7%	-3,0%	-1,8%	0,0%	0,8%	1,3%	1,7%	0,9%
Japan	0,4%	0,0%	1,5%	2,2%	1,8%	1,4%	1,5%	-1,2%	-5,7%	4,1%	0,0%	1,4%	2,0%	0,3%	1,6%	0,8%	1,7%	0,6%
Korea, Rep.	4,9%	7,7%	3,1%	5,2%	4,3%	5,3%	5,8%	3,0%	0,8%	6,8%	3,7%	2,4%	3,2%	3,2%	2,8%	2,9%	3,2%	2,9%
Latvia	6,3%	7,1%	8,4%	8,3%	10,7%	12,0%	9,9%	-3,2%	-14,2%	-4,5%	2,6%	7,0%	2,0%	1,9%	3,9%	2,4%	3,3%	4,0%
Lithuania	6,5%	6,8%	10,6%	6,6%	7,7%	7,4%	11,1%	2,6%	-14,8%	1,7%	6,0%	3,8%	3,6%	3,5%	2,0%	2,5%	4,3%	4,0%
Luxembourg	3,1%	3,2%	2,6%	4,2%	2,5%	6,0%	8,1%	-0,3%	-3,2%	3,8%	1,0%	1,6%	3,2%	2,6%	2,3%	5,0%	1,3%	2,0%
Mexico	-0,4%	0,0%	1,4%	3,9%	2,3%	4,5%	2,3%	1,1%	-5,3%	5,1%	3,7%	3,6%	1,4%	2,8%	3,3%	2,6%	2,1%	2,2%
Netherlands	2,3%	0,2%	0,2%	2,0%	2,1%	3,5%	3,8%	2,2%	-3,7%	1,3%	1,6%	-1,0%	-0,1%	1,4%	2,0%	2,2%	2,9%	2,4%
New Zealand	3,5%	4,7%	4,5%	4,0%	3,3%	2,9%	3,0%	-1,1%	-0,1%	1,5%	2,3%	2,2%	2,7%	3,8%	3,7%	3,7%	3,6%	3,2%
Norway	2,1%	1,4%	0,9%	4,0%	2,6%	2,4%	3,0%	0,5%	-1,7%	0,7%	1,0%	2,7%	1,0%	2,0%	2,0%	1,1%	2,3%	1,1%
Poland	1,3%	2,0%	3,5%	5,0%	3,5%	6,1%	7,1%	4,2%	2,8%	3,7%	4,8%	1,3%	1,1%	3,4%	4,2%	3,1%	4,8%	5,4%
Portugal	1,9%	0,8%	-0,9%	1,8%	0,8%	1,6%	2,5%	0,3%	-3,1%	1,7%	-1,7%	-4,1%	-0,9%	0,8%	1,8%	2,0%	3,5%	2,8%
Slovak Republic	3,3%	4,5%	5,5%	5,3%	6,6%	8,5%	10,8%	5,6%	-5,5%	6,3%	2,6%	1,4%	0,7%	2,7%	5,2%	1,9%	3,0%	3,8%
Slovenia	3,2%	3,5%	3,0%	4,4%	3,8%	5,7%	7,0%	3,5%	-7,5%	1,3%	0,9%	-2,6%	-1,0%	2,8%	2,2%	3,2%	4,8%	4,4%
Spain	3,9%	2,7%	3,0%	3,1%	3,7%	4,1%	3,6%	0,9%	-3,8%	0,2%	-0,8%	-3,0%	-1,4%	1,4%	3,8%	3,0%	3,0%	2,3%
Sweden	1,4%	2,2%	2,3%	4,3%	2,9%	4,7%	3,4%	-0,5%	-4,3%	6,0%	3,2%	-0,6%	1,2%	2,7%	4,5%	2,1%	2,6%	2,0%
Switzerland	1,6%	0,0%	0,0%	2,8%	2,9%	4,0%	4,0%	2,8%	-2,1%	3,3%	1,9%	1,2%	1,8%	2,4%	1,7%	2,0%	1,6%	2,9%
Turkey	-5,8%	6,4%	5,8%	9,8%	9,0%	6,9%	5,0%	0,8%	-4,8%	8,4%	11,2%	4,8%	8,5%	4,9%	6,1%	3,3%	7,5%	3,0%
United Kingdom	2,1%	2,1%	3,0%	2,4%	2,6%	2,6%	2,3%	-0,2%	-4,2%	2,1%	1,5%	1,5%	1,9%	3,0%	2,6%	2,3%	2,1%	1,7%
United States	1,0%	1,7%	2,9%	3,8%	3,5%	2,9%	1,9%	-0,1%	-2,5%	2,6%	1,6%	2,2%	1,8%	2,5%	3,1%	1,7%	2,3%	3,0%

Figura 9.10 Crescita del PIL, valori percentuali. Fonte: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>; 29.01.2022

Qualità della democrazia

Country	2014	2015	2016	2017	2018
Australia	7,2	7,4	7,3	5,5	8,0
Austria	6,0	7,3	8,9	8,6	9,1
Belgium	7,0	3,4	6,5	8,2	6,4
Canada	9,0	4,8	7,6	4,9	6,5
Chile	7,3	9,3	8,7	2,9	7,3
Czech Republic	3,4	6,6	8,2	6,4	7,2
Denmark	8,1	7,6	5,7	4,8	7,3
Estonia	5,1	7,5	4,9	6,5	7,3
Finland	9,3	8,7	2,7	7,3	7,4
France	7,3	5,7	7,8	6,7	5,8
Germany	8,9	8,5	9,1	7,1	8,7
Greece	6,8	8,3	6,4	7,3	5,8
Hungary	7,8	5,7	4,7	7,3	8,4
Iceland	7,5	5,1	6,8	7,5	6,2
Ireland	8,7	3,0	7,5	7,4	7,6
Israel	5,7	7,8	6,6	5,8	6,2
Italy	8,4	9,1	7,1	8,8	6,9
Japan	8,3	6,5	7,3	5,8	8,0
Korea, Rep.	7,6	5,6	6,8	9,1	8,7
Latvia	5,6	4,9	7,5	8,5	9,0
Lithuania	5,1	6,9	7,7	5,6	7,1
Luxembourg	3,5	7,3	7,9	7,6	7,5
Mexico	9,1	7,0	8,8	6,9	4,1
Netherlands	6,7	7,2	5,9	7,9	8,1
New Zealand	5,8	7,5	8,5	9,0	8,4
Norway	7,0	7,6	5,5	6,8	9,2
Poland	7,4	8,1	7,7	7,5	7,4
Portugal	6,5	5,9	6,2	7,4	8,9
Slovak Republic	7,2	5,9	8,1	8,1	7,9
Slovenia	7,7	8,6	9,1	8,4	7,4
Spain	8,0	7,8	7,4	7,4	5,8
Sweden	5,6	6,4	7,6	9,0	8,3
Switzerland	8,6	7,0	5,0	7,6	8,3
Turkey	6,1	8,1	8,1	7,8	5,3
United Kingdom	8,6	9,1	8,4	7,5	5,2
United States	5,6	7,0	9,3	8,7	4,7

Figura 9.11 Qualità della democrazia espressa come punteggio compreso tra 1 e 10. Fonte: <https://www.sgi-network.org/2020/>; 20.10.2021

A seguito della pulizia di ciascun dataset, attraverso l'utilizzo di Power Query, questi sono stati uniti utilizzando un Left Outer Joint, che permette di unire due database mantenendo tutte le righe del primo e associando a ciascuna di esse il valore corrispondente del secondo. Ne risulta un database composto da 702 due righe, che corrisponde ovviamente alla moltiplicazione tra il numero dei Paesi (39) e il numero di anni (18) considerati.

RINGRAZIAMENTI

“Quando la tempesta sarà finita, probabilmente non saprai neanche tu come hai fatto ad attraversarla e a uscirne vivo. Anzi, non sarai neanche sicuro se sia finita per davvero. Ma su un punto non c'è dubbio. Ed è che tu, uscito da quel vento, non sarai lo stesso che vi è entrato.”

Vorrei chiudere questo viaggio nel modo dell'Università con questa citazione, scritta da Haruki Murakami in un suo meraviglioso romanzo, *Kafka sulla spiaggia*, che ha segnato il mio cuore come pochi altri.

Tante volte ho riletto questa frase, ma oggi ha un sapore diverso, completamente nuovo. Sa di nostalgia, per tutte le esperienze vissute tra queste mura, per le piccole cose di tutti i giorni, dai caffè tra una lezione e l'altra ai pomeriggi infiniti a lavorare fianco a fianco nei progetti di gruppo. Per le giornate in aula studio in compagnia e quella sensazione particolare, unica, che si prova solo nell'attimo precedente all'inizio di un esame. Per le camminate dalla stazione all'aula e ritorno e per i pianti dopo un fallimento. Per i lunghi giorni in quarantena, che mi hanno insegnato cos'è la solitudine, quanto dolore può provocare, ma anche quante belle cose possono nascere da essa. Oggi finisce un viaggio e ne comincia uno nuovo, ma prima di rimettermi in cammino vorrei fermarmi a guardare indietro per un attimo, sentire fino in fondo questa sottile nostalgia, e ringraziare tutte le persone che hanno camminato con me.

Grazie al Professor Cambini, per tutte le cose che mi ha insegnato, non solo a livello accademico. Grazie per essere stato il primo vero mentore, e per averci dato speranza quando ci sembrava che tutto fosse insormontabile. Grazie per avermi fatto ricordare, quasi due anni fa, di questa bellissima frase di Murakami, che mi ha accompagnata nei momenti più bui di questi ultimi anni, e che oggi mette un bellissimo punto e a capo nella mia vita.

Grazie alla Dott.ssa Chiara Ravetti, che mi ha sostenuta e indirizzata lungo tutti questi mesi nella redazione di questa tesi, dandomi suggerimenti preziosi e mostrandomi la direzione giusta quando non riuscivo a vederla. Grazie per la pazienza, la disponibilità e l'estrema gentilezza con cui mi ha guidata in questo percorso.

Grazie alla mia famiglia, che non ha mai smesso di credere in me, nemmeno per un attimo. Nemmeno quando smettevo di crederci io stessa. Mi avete vista piangere, arrabbiarmi, lamentarmi, e con infinita pazienza mi siete stati vicini sempre, nel bene e nel male. Tutto ciò che sono lo devo a voi. Grazie.

Grazie a Silvio, l'uomo più paziente della Terra. Grazie per avermi supportata per tutto questo tempo. Hai creduto in me dal giorno zero e mi hai consolata nei momenti peggiori; hai gioito con me per ogni traguardo e quando vedevo tutto nero tu riuscivi a mostrarmi ciò che io non vedevo. Grazie per avermi insegnato cosa significa amare ed essere amati.

Grazie a Francesca, Alessia e Beatrice, compagne di viaggio da una vita. Mi avete insegnato che cos'è l'amicizia, mi avete aiutata a crescere e cambiare, e non sarei la persona che sono oggi senza di voi. Grazie per tutti i ricordi che abbiamo costruito insieme e per tutti quelli che costruiremo in futuro.

Grazie a Pietro, Marco, Alberto, Francesco, Federico, Patrick e Matteo. Grazie a voi e alle ragazze per tutti gli anni insieme, tutti i viaggi, le risate, le cene nella tavernetta di Fra e le serate passate alla piscina a chiacchierare e cercare la mole in lontananza. Grazie per aver reso questi anni speciali, per esserci stati sempre e per esserci ancora oggi, anche se le nostre vite sono cambiate completamente.

Grazie ad Aurora per la sua meravigliosa semplicità. Sei stata il mio esempio da seguire, con la tua incredibile perseveranza e la tua capacità di inseguire i tuoi sogni con tutte le tue forze. Grazie per essere entrata nella mia vita in punta di piedi, regalandomi un po' della tua innata spontaneità e allegria.

Grazie a Luca e Marco per esservi seduti accanto a me il secondo giorno di Università, e per non avermi più lasciata. Grazie per le giornate in aula studio, le serate a ballare, i film brutti e le infinite chiacchierate. Siete stati al mio fianco sempre e comunque, e sono certa che il nostro viaggio insieme continuerà ancora per molto, molto tempo.

Infine, grazie ai miei nuovi compagni di viaggio, i miei colleghi, che in così pochi mesi si sono presi un pezzo del mio cuore senza chiedere permesso, e non potrò mai ringraziarli abbastanza per questo.

Grazie a Paolo, Simona, Davide, Alessandra, Andrea, per avermi accolta con tanta semplicità e con tutta l'allegria che vi portate dietro ovunque andiate, e per gli appuntamenti del giovedì sera, ormai immancabili.

Grazie al mio capo Andrea, per avermi insegnato per la prima volta che cos'è il mondo del lavoro, ma soprattutto per non esserti limitato ad insegnarmi un mestiere. Grazie per aver creduto in me

e per avermi fatta crescere così tanto in così poco tempo, spingendomi a rischiare e a mettermi in gioco ogni giorno.

Grazie ad Andrea, per avermi insegnato così tanto in così poco tempo, per la pazienza nel rispondere alle mie infinite domande, per il tuo buon cuore e per la gentilezza che hai avuto con me fin dal primo giorno.

Grazie a Elisa, collega, insegnante, ma soprattutto amica. Grazie per avermi insegnato tutto ciò che so, per la pazienza che hai avuto in questi mesi e per avermi accolta con tanta semplicità e gentilezza. Grazie per le piccole cose quotidiane, le chiacchierate e i pettegolezzi, che rendono ogni giorno un po' più lieve.