



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M. FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"L'impatto economico del cambiamento climatico
e le politiche ambientali"**

RELATORE:

CH.MO/A PROF./SSA Elisa Tosetti

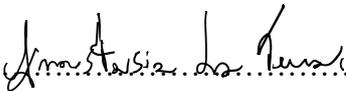
LAUREANDO/A: Anastasia La Terra

MATRICOLA N. 2031907

ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024

Dichiaro di aver preso visione del “Regolamento antiplagio” approvato dal Consiglio del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali e, consapevole delle conseguenze derivanti da dichiarazioni mendaci, dichiaro che il presente lavoro non è già stato sottoposto, in tutto o in parte, per il conseguimento di un titolo accademico in altre Università italiane o straniere. Dichiaro inoltre che tutte le fonti utilizzate per la realizzazione del presente lavoro, inclusi i materiali digitali, sono state correttamente citate nel corpo del testo e nella sezione ‘Riferimenti bibliografici’.

I hereby declare that I have read and understood the “Anti-plagiarism rules and regulations” approved by the Council of the Department of Economics and Management and I am aware of the consequences of making false statements. I declare that this piece of work has not been previously submitted – either fully or partially – for fulfilling the requirements of an academic degree, whether in Italy or abroad. Furthermore, I declare that the references used for this work – including the digital materials – have been appropriately cited and acknowledged in the text and in the section ‘References’.

Firma (signature) .....

Indice

1. Introduzione	2
2. Il costo del cambiamento climatico e i modelli econometrici	4
2.1 IAMs: pregi e difetti	4
3. Gli step per la costruzione dei modelli econometrici	7
3.1 STEP UNO: gli approcci	7
L'approccio cross-sectional	9
L'approccio basato sulle serie storiche	11
L'approccio ibrido	12
3.2 STEP DUE: i dati	12
3.3 STEP TRE: le proiezioni future	13
3.4 I cinque aspetti più importanti dei modelli sul cambiamento climatico	14
4. Le stime degli effetti economici e dei costi marginali	16
4.1 Gli effetti totali	16
4.2 I costi marginali	18
5. Le politiche ambientali	20
5.1 Gli effetti degli ETRs	21
5.2 L'ETR nei Paesi in via di sviluppo	24
6. Conclusione	26
Bibliografia	28

1. Introduzione

Al giorno d'oggi uno dei problemi più complessi che gli studiosi e le istituzioni si trovano ad affrontare è il cambiamento climatico, ovvero una variazione nel lungo periodo delle temperature globali che ha effetti sull'ambiente e sulle vite delle persone.

Le cause di questo fenomeno sono molteplici, ma tra queste hanno un impatto maggiore le emissioni di gas che causano l'aumento dell'effetto serra portando a fenomeni catastrofici. Per questo motivo, governi, ricercatori e istituzioni hanno iniziato a muoversi per proporre strategie per rallentare questo fenomeno che mostra i suoi effetti con una violenza sempre maggiore.

Inoltre, il rapporto tra il cambiamento climatico e l'economia è molto stretto poiché genera per quest'ultima molti rischi legati alle catastrofi naturali, alla mancanza di materie prime e alla qualità della vita. Tuttavia, l'altra faccia della medaglia mostra come questo tema offre anche alcuni benefici correlati alle opportunità di investimento su nuove forme di energia e nuove tecnologie, che potrebbero anche generare nuovi posti di lavoro e una conseguente crescita economica.

Da anni diversi gruppi di scienziati ed economisti hanno l'obiettivo di costruire modelli sempre più sofisticati per quantificare l'impatto economico del cambiamento climatico e costruire delle politiche efficaci che aiutino a gestire al meglio questo tema. Questi modelli possono essere di diverse tipologie in base agli aspetti che vengono valutati, ad esempio: modelli di tipo CGE (Computable General Equilibrium), cioè l'interazione tra i settori economici e gli effetti diretti e indiretti del cambiamento climatico; analisi costi-benefici, utili per la definizione di politiche mirate al problema; studi sui dati storici per osservare le relazioni tra le variabili ambientali ed economiche; indagini sugli impatti diretti del cambiamento climatico sui diversi settori e i costi correlati.

In questo tipo di modelli è rilevante il fatto che sono costruiti su base multidisciplinare e questo ne complica lo studio e l'efficacia. Tuttavia, non ci si può sottrarre a un approccio che integri competenze, conoscenze e ipotesi provenienti da diverse aree affinché si raggiunga un risultato il più completo possibile e, soprattutto, efficace.

Come anticipato, gli studi condotti sono usati dalle istituzioni con l'obiettivo di definire politiche ambientali che da un lato mirano a ridurre le problematiche legate al tema, dall'altro generano un'entrata fiscale non indifferente. Inoltre, i Paesi sviluppati hanno aderito a diversi accordi, costruiti sulla base di molteplici studi e analisi, che pongono degli obiettivi sul riscaldamento climatico (Accordo di Parigi), sull'abbattimento delle emissioni (Nationally

Determined Contributions, NDCs) e sullo sviluppo economico sostenibile (17 Sustainable Development Goals, SDGs).

Questa tesi ha l'obiettivo di descrivere i modelli econometrici usati per calcolare il costo del cambiamento climatico, di capire come le stime dei costi influenzino le decisioni politiche e di comprendere gli effetti che hanno le politiche ambientali sul sistema economico. Di conseguenza, la struttura è la seguente: inizialmente si discute di come stimare il SCC attraverso gli IAMs, descrivendone pregi e difetti; segue il percorso da seguire per costruire altri modelli econometrici che non si basano sui precedenti descritti; in seguito si parlerà degli effetti economici e dei costi marginali che sono cruciali per la definizione delle politiche ambientali basate su delle imposte specifiche; per concludere, si parlerà delle politiche fiscali per agire sul clima e i loro effetti sull'economia, ponendo una particolare attenzione alle conseguenze nei Paesi in via di sviluppo.

2. Il costo del cambiamento climatico e i modelli econometrici

Come sostiene Auffhammer (2018), per disegnare delle politiche ottimali è necessario capire il costo esterno di una emissione aggiuntiva di gas serra, il quale è molto complesso da raggiungere, poiché è influenzato da diversi fattori difficili da quantificare per due motivi:

- i danni variano nel tempo e nello spazio
- i gas serra emessi influenzano non solo il presente, ma anche il futuro.

Una stima molto usata per la definizione delle decisioni politiche in materia è il SCC (Social Cost of Carbon), definito come “una stima monetaria dei danni del cambiamento climatico per la società nel tempo dovuti a una tonnellata di diossido di carbonio aggiuntiva” (Diaz e Moore 2017, p. 774).

2.1 IAMs: pregi e difetti

Il tema di come raggiungere una stima del SCC è molto centrale nel dibattito e per anni si è ottenuta partendo dai IAMs (Integrated Assessment Models) che sono costruiti come segue

1. si integrano i vari scenari socioeconomici che produrranno emissioni nel futuro con un modello climatico che traduce le emissioni in concentrazioni e stima l’influenza che questi hanno sulle future temperature, precipitazioni e livelli del mare;
2. i risultati vengono poi inseriti in diverse funzioni che mostrano i danni economici a livello regionale e globale;
3. infine, si calcola la differenza attualizzata tra un futuro lineare e un futuro in cui aumentano le emissioni rappresenta il SCC (Auffhammer 2018).

In sintesi, gli IAMs si occupano di analizzare le variabili climatiche in funzione del benessere economico, esaminando sei proiezioni (Pindyck 2013): le future emissioni di CO₂; le future concentrazioni di CO₂ dovute alle emissioni passate, presenti e future; i cambiamenti medi delle temperature a livello globale e regionale; gli impatti economici, correlati al PIL, causati dalle maggiori temperature; i costi per abbattere per emissioni; le utilità e le preferenze nel tempo. Questi aspetti sono stati utilizzati da Nordhaus (2008) e Stern (2007) per la ricerca di politiche ottimali volte al contrasto delle emissioni.

Sempre Auffhammer (2018) elenca i modelli più conosciuti, i quali sono utilizzati anche dal governo statunitense:

- DICE, Dynamic Integrated Climate–Economy model;
- FUND, Climate Framework for Uncertainty;
- PAGE, Policy Analysis of the Greenhouse Effect model.

Come spiegano Diaz e Moore (2017), il DICE e il PAGE usano una stima dei danni totali simili che è più alta rispetto a quella usata dal FUND. In particolare, il modello DICE considera l'aumento del livello del mare per meno di un quinto dei danni totali che vengono presi in esame; il modello FUND prevede dei benefici che derivano dalla produttività agricola e dalla riduzione della domanda di riscaldamento, mentre i danni sono causati dall'aumento dei costi di raffreddamento e dal mal utilizzo delle risorse idriche; infine, il modello PAGE analizza i danni dovuti a piccoli gradi di riscaldamento in funzione dei fattori non economici e dell'aumento del livello del mare, mentre considera i fattori economici evitabili grazie a una maggiore capacità di adattamento.

In sintesi, questi modelli hanno aiutato gli economisti a capire come le emissioni di gas serra, che si accumulano nell'atmosfera, influenzano la temperatura media globale, il PIL, il consumo e gli effetti sul benessere di diverse politiche volte alla riduzione di queste (Pindyck 2015).

Tuttavia, l'uso sempre più diffuso del SCC ha portato ad una analisi più approfondita degli IAMs, i quali negli anni si sono dimostrati poco rappresentativi delle conoscenze scientifiche raggiunte, delle incertezze e dei rischi.

Pindyck (2015) riassume i motivi secondo i quali gli IAMs sono inutilizzabili per prendere decisioni politiche che mirano al contrasto del cambiamento climatico:

- gli input sono arbitrari ma condizionano in modo non indifferente il risultato finale;
- non è nota la sensibilità al clima, ad esempio il rapporto tra l'aumento della temperatura e l'aumento della concentrazione di CO₂, benché sia una variabile cruciale negli IAMs
- la funzione dei danni, ad esempio la relazione tra l'aumento della temperatura e il PIL, per cui si raggiungono valori arbitrari a riguardo;
- non forniscono informazioni riguardo la possibilità e le conseguenze di eventi climatici catastrofici;
- chi costruisce i modelli ha troppa flessibilità e può manipolare il SCC come preferisce in base al tasso di sconto utilizzato, ad esempio le politiche ambientali di Trump che hanno portato il costo delle esternalità negative a dei valori tra 1\$ e 7\$ per tonnellata, che è un valore molto più basso rispetto a quelli calcolati durante le altre presidenze (Auffhammer 2018);
- la scelta tra i diversi modelli è irrilevante, poiché se da un lato questi possono avere risultati simili, dall'altro per definire il vero impatto del SCC bisogna utilizzare il tasso di sconto, che è l'aspetto che davvero fa la differenza.

Secondo l'autore i problemi nascono quando questi modelli vengono usati per costruire dei piani di azione contro il cambiamento climatico, poiché questi modelli non sono adatti per le previsioni e le analisi quantitative.

Gli sviluppatori degli IAMs sostengono che l'incertezza di questi modelli può essere risolta attribuendo delle distribuzioni di probabilità a certi parametri e fare una simulazione di Monte Carlo, cioè una tecnica matematica utile per stimare i risultati possibili di un evento incerto; tuttavia le distribuzioni di probabilità continuano ad essere arbitrarie e ad influenzare i risultati ottenuti, di conseguenza si spiega il motivo per cui Pindyck afferma che neanche questo tipo di simulazione rende gli IAMs utilizzabili.

3. Gli step per la costruzione dei modelli econometrici

A causa dei difetti degli IAMs la ricerca è andata avanti con l'obiettivo di costruire un modello econometrico adatto a stimare gli effetti socio-economici dovuti al cambiamento climatico. Per costruire tali modelli è necessario fare molte assunzioni riguardo l'orizzonte temporale, l'attualizzazione, le condizioni di riferimento e la più recente letteratura. Di conseguenza, è richiesto un percorso da seguire in cui ogni step rappresenta una scelta da prendere, la quale alla fine influenzerà la stima finale. Di ogni aspetto se ne individueranno pregi e difetti in modo da comprendere che ogni assunzione ha un peso che deve essere tenuto in considerazione, specialmente se il risultato ottenuto viene usato come base di partenza per la definizione di un intervento politico.

In questo contesto, il ruolo centrale è dato alla funzione del danno climatico, che si riferisce a una mappatura del clima con riferimento ai diversi risultati economici (Auffhammer 2018) - dove per "clima" si intende la temperatura superficiale media degli ultimi 30 anni - e agli effetti economici, cioè il modo in cui gli agenti rispondono al meteo dovuto alla nuova situazione climatica.

Auffhammer (2018) elenca gli elementi essenziali che una funzione dei danni dovrebbe avere per condurre una analisi delle politiche ambientali:

- la differenza tra le funzioni prima e dopo il cambiamento climatico e l'analisi delle conseguenti condizioni economiche;
- l'identificazione delle variabili che condizionano l'analisi;
- l'indice di bontà di adattamento;
- la stima degli impatti sul welfare.

Tuttavia, nella pratica si è notato che tutti i modelli econometrici che sono stati costruiti negli anni sono difficilmente comparabili tra loro, anche a causa delle differenze geografiche e del periodo di tempo che viene preso in esame. Tutti i modelli mostrano come il cambiamento climatico influisca sul tasso di crescita, la distribuzione della popolazione e il benessere, ma per costruire delle soluzioni per contrastare i danni sarebbe necessario stimare anche come tutti i fattori economici e demografici variano in presenza e in assenza del cambiamento climatico.

3.1 STEP UNO: gli approcci

Hsiang (2016) sintetizza gli approcci econometrici più importanti che vengono utilizzati dai ricercatori come primo passo nella costruzione dei modelli per rispondere alla domanda "in che modo il clima influenza la società e l'economia?". Nel suo lavoro inizia dando la sua definizione

di “clima” (utile per comprendere i concetti successivi) mettendo d’accordo la letteratura sviluppatasi negli anni e tracciando una linea di confine tra questo e il “meteo”. Infatti, per definire il clima sostiene che “per ogni posizione in una spazio i , esiste un vettore di variabili casuali in ogni momento t che caratterizza le condizioni dell’atmosfera e dell’oceano che sono rilevanti per le condizioni economiche di i ”. Di conseguenza pensa a questo vettore come

$$v_{it} = [\text{temperaturai}, \text{umiditài}, \text{precipitazioni}_i, \dots].$$

Se viene considerato un intervallo di tempo τ in i , allora esiste una distribuzione di probabilità definita come $\psi(C_{i\tau})$, dove $C_{i\tau}$ è definito come “il clima in i nell’intervallo τ ”. Stabilite queste condizioni, il vettore si presenta nel seguente modo

$$v_{it} \sim \psi(C_{i\tau}) \quad \forall t \in \tau.$$

Invece, la distribuzione empirica $\psi(c_{i\tau})$ racchiude tutte le condizioni che si sono realizzate realmente nell’intervallo di tempo preso in esame. Di conseguenza, anche se $C_{i\tau}$ e $c_{i\tau}$ potrebbero sembrare simili, le differenze sono notevoli, perché $C_{i\tau}$ è la distribuzione attesa del vettore, mentre $c_{i\tau}$ è la distribuzione reale che può essere vista come il meteo durante l’intervallo di tempo.

Citando un esempio per capire la differenza: “ $c_{i\tau}$ potrebbe contenere la massima velocità del vento che viene registrata in un giorno, mentre $C_{i\tau}$ comprende il valore massimo della distribuzione teorica delle raffiche in quello stesso intervallo di tempo”.

Il clima genera due conseguenze: un effetto diretto sul meteo che si avrà nell’intervallo di tempo e una variazione delle aspettative (vettore b di lunghezza N , quindi indicizzato per n) degli agenti che cambieranno le loro decisioni di conseguenza. Di conseguenza, il risultato finale Y , definito “social outcomes”, cioè gli aspetti della vita di tutti i giorni e dell’economia che sono influenzati dal cambiamento climatico¹, è costruito come

$$Y(C) = Y(c(C), b(C)).$$

Di conseguenza l’effetto marginale, ottenuto calcolando la derivata prima, è il seguente

$$\frac{dY(C)}{dC} = \underbrace{\nabla_c Y(C) \frac{dc}{dC}}_{\text{“effetti diretti”}} + \underbrace{\nabla_b Y(C) \frac{db}{dC}}_{\text{“aspettative”}},$$

¹ Alcuni esempi dei suddetti aspetti e gli studi che li esaminano sono i seguenti: la salute (Deschênes 2014), l’agricoltura (Auffhammer e Schlenker 2014), il consumo di energia (Auffhammer e Mansur 2014), i disastri climatici (Kousky 2014), il mercato del lavoro (Heal e Park 2015).

cioè la somma tra gli effetti diretti e le aspettative valutate secondo l'attuale C , in cui ∇_c e ∇_b sono i gradienti dei sottospazi vettoriali di c e b . Infatti, se si considera $\nabla_c Y = \left[\frac{\partial Y}{\partial c_1}, \dots, \frac{\partial Y}{\partial c_N} \right]$ e $\nabla_b Y = \left[\frac{\partial Y}{\partial b_1}, \dots, \frac{\partial Y}{\partial b_N} \right]$, questi possono essere concatenati per ottenere il gradiente del vettore $\nabla Y = [\nabla_c Y, \nabla_b Y]$.

Hsiang conclude questa analisi facendo luce sul rapporto tra gli effetti diretti e le aspettative ($\frac{\partial^2 Y}{\partial b \partial c}$) e tra le aspettative stesse che tra loro si influenzano, poiché queste interazioni sono chiamate "adattamenti" dagli esperti e sono prese molto in considerazione quando vengono fatte delle analisi. Tuttavia, non bisogna dimenticare che identificare gli effetti delle aspettative non è semplice ed entra in gioco, di nuovo, il problema delle variabili che possono influenzarle.

Dopo aver raggiunto la definizione di clima e aver capito come questo influenza i risultati economici, si passa al problema empirico che ha l'obiettivo di trovare l'effetto delle variazioni climatiche nell'economia.

Il primo passo è definire l'effetto medio β dovuto a una variazione nel clima ΔC_{it} come

$$\beta = E[Y_{it} | C_{it} + \Delta C_{it}, x_{it}] - E[Y_{it} | C_{it}, x_{it}]$$

dove x rappresenta le variabili non climatiche che influenzano Y .

Gli approcci che usano l'approssimazione dell'equazione precedente sono tre e le questioni correlate a questi sono:

1. se sia ragionevole assumere che popolazioni diverse siano confrontabili una volta individuate delle caratteristiche osservabili da condizionare nell'analisi;
2. se sia possibile individuare gli effetti diretti e le aspettative dall'osservazione di come un evento climatico influisce sulla popolazione.

L'approccio cross-sectional

In questo approccio vengono confrontate diverse popolazioni durante lo stesso periodo τ , considerando anche x_{it} . L'assunzione di cui si necessita in questo tipo di procedimento è quella della omogeneità delle unità, cioè se due popolazioni hanno lo stesso clima, allora i loro risultati saranno uguali. La regressione lineare si presenta come

$$Y_i = \alpha + \beta_{cs} C_i + \gamma x_i + \varepsilon_i,$$

in cui α è costante e ε rappresenta il termine di errore. β_{cs} , invece, rappresenta un vettore di coefficienti che descrivono gli effetti marginali dei termini in C_i .

L'approccio cross-sectional è stato costruito da Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994) e mostra chiaramente il rapporto tra cambiamento climatico ed economia.

Questo tipo di approccio fu usato per regredire i prezzi dei prodotti agricoli negli Stati Uniti sulle temperature stagionali e su altre caratteristiche del settore. Gli autori conclusero affermando che i prezzi riflettevano tutti gli effetti diretti e le aspettative, poiché un agricoltore ha una tale conoscenza del terreno da poterla riflettere nelle aspettative sul clima adattando gli investimenti a tale idea. Da questo si può intuire che le aspettative si riflettono anche sul mercato fondiario, per cui il valore di un terreno è dato dal valore attuale dei profitti per una determinata porzione di questo. Di conseguenza, il valore finale è determinato da una serie di variabili, tra le quali si trova anche la variazione del clima nel lungo periodo.

Tuttavia, in questo approccio non mancano delle imperfezioni. La prima tra queste è la vulnerabilità alle variabili omesse; infatti, Wooldridge (2002) dimostra che, quando sono presenti delle variabili non comprese né in C_i né in x_i che influenzano Y_i e sono correlate agli elementi compresi nel modello, i risultati che si otterranno dalla regressione saranno distorti. Per esempio, nella regressione di Mendelsohn et al. (1994) è stato notato da Schlenker, Hanemann e Fisher (2006) che l'irrigazione è una variabile importante ma che è stata omessa; di conseguenza, se vengono analizzate zone in cui non vengono utilizzati dei sistemi di irrigazione, l'impatto del cambiamento climatico cambia notevolmente. Il secondo aspetto negativo è l'assunzione che adattarsi alle nuove situazioni climatiche non abbia costi, quando in realtà questi sono un aspetto cruciale. Usando sempre come esempio lo studio condotto da Mendelsohn et al. (1994), se gli agricoltori hanno dei costi troppo elevati per adattare i loro mezzi a un clima differente, possono valutare di ritardare o non cambiare affatto i loro sistemi. Da ciò si può notare che anche in questo caso i risultati della regressione sono distorti.

Il terzo punto dolente è la considerazione dei soli dati storici del clima, anche se gli agenti economici razionali costruiscono le loro aspettative sulle previsioni future. Quindi la regressione dovrebbe includere le ipotesi climatiche attese per evitare di sottostimare gli effetti del cambiamento climatico.

Nonostante questi aspetti negativi, l'approccio cross-sectional è stato usato molto dai ricercatori, per esempio da Mendelsohn e Morrison (2008) per studiare l'impatto del cambiamento climatico sul consumo energetico, da Fankhauser (1995) e da Tol (2009).

L'approccio basato sulle serie storiche

Questo approccio è stato proposto per la prima volta da Huntington (1922) il quale sosteneva che, per determinare l'effetto del cambiamento climatico, l'ideale era creare un gruppo di persone e vedere come queste cambiano il loro comportamento ogni giorno per un lungo periodo in base ai diversi tipi di clima che si manifesteranno. In seguito, questo approccio fu usato anche da Deschênes e Greenstone (2007) per analizzare come i profitti agricoli cambiano in base agli sbalzi metereologici.

Basarsi sulle serie storiche significa considerare una sola popolazione i e analizzarla in periodi diversi in base alle diverse condizioni ambientali che si sono verificate in i . Tuttavia, bisogna assumere che l'effetto di un cambiamento marginale nella distribuzione metereologica sia lo stesso di un cambiamento marginale nel clima, anche se questa ipotesi è stata criticata molto in letteratura. In questo caso la regressione lineare si presenta come

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_{TS} c_{it} + \gamma x_{it} + \theta_{(i)}(\tau) + \varepsilon_{it},$$

dove α è un effetto fisso che include anche i fattori non osservabili, mentre $\theta_{(i)}(\tau)$ rappresenta gli andamenti nel tempo.

Il beneficio principale di questo approccio è che minimizza il problema delle variabili omesse dato che calcola le differenze degli stessi fattori nella stessa unità statistica. Ma il problema non è eliminato del tutto poiché potrebbero presentarsi dei fattori che variano nel tempo e che sono correlati con c_{it} e x_{it} .

Ci sono altri problemi legati a questo metodo, tra cui il fatto che potrebbe essere efficace nel breve periodo, ma non nel lungo periodo. Auffhammer (2018) spiega ciò assumendo che nel lungo periodo l'unità statistica tende ad adattarsi al clima prendendo delle scelte specifiche; di conseguenza, se il modello non tiene in considerazione questo adattamento, la stima degli impatti economici risulterà eccessivamente elevata rispetto alla situazione reale.

Fisher, Hanemann, Roberts e Schlenker (2012) notano un altro problema che si presenta utilizzando questo approccio: se il meteo viene misurato con errore, maggiori gli effetti fissi inclusi, maggiore la possibilità di incorrere in errori di misurazione. Inoltre, Auffhammer et al. (2013) e Hsiang et al. (2015) mettono in evidenza il fatto che i dati metereologici sono endogeni, cioè correlati al termine di errore.

Non è noto in che misura questi problemi influenzano la letteratura nel suo complesso, ma di certo è necessario tenerli in considerazione se si decide di costruire un modello seguendo questo tipo di approccio.

L'approccio ibrido

L'approccio ibrido è stato proposto da Burke ed Emerick (2016) per trovare un compromesso tra gli altri due approcci sfruttandone i pregi e cercando di risolverne i difetti. Infatti, consiste in un'analisi dei cambiamenti di tipo “cross-sectional” in diversi periodi, cioè studia l'impatto delle variazioni graduali del clima (c) su Y scegliendo due periodi di tempo (τ_1 e τ_2) molto distanti tra loro. Tutto questo è riassunto nella seguente regressione

$$Y_{it2} - Y_{it1} = \alpha + \beta_{LD} (c_{it2} - c_{it1}) + \gamma (X_{it2} - X_{it1}) + \varepsilon_i,$$

in cui α rappresenta il cambiamento temporale di Y , mentre β_{LD}^2 è la misura con cui le variazioni del clima sono correlate alle variazioni in Y attraverso lo spazio. Inoltre, gli autori sopra citati nei loro studi hanno notato che β_{LD} e β_{TS}^3 sono quasi identici; di conseguenza, si può affermare che i cambiamenti graduali del clima, cioè nel lungo periodo, potrebbero avere gli stessi effetti dei cambiamenti nel breve periodo.

Il pregio di questo approccio è l'utilizzo di periodi temporali molto distanti tra loro, ma rimangono i problemi legati alle assunzioni richieste dal metodo cross-sectional che si confermano essere una sfida che tutti i ricercatori devono affrontare per poter lavorare in questo ambito.

3.2 STEP DUE: i dati

Il passo successivo è rappresentato dalla scelta dei dati da utilizzare nel modello, considerando anche i problemi che possono generare. Come spiegato in precedenza, la differenza tra il clima e il meteo, in sintesi, consiste nell'intervallo temporale; infatti, il meteo rappresenta le condizioni dell'atmosfera nel breve periodo, mentre il clima è un riassunto del primo nel lungo periodo. Tutti questi dati sono misurati dai satelliti, raccolti in specifici database⁴ che possono essere pubblici o privati⁵ e possono distinguersi in base all'arco temporale e la grandezza del territorio preso in esame. Per questo motivo, i dati meteorologici vengono riassunti su griglie in modo da essere combinati secondo il tempo e lo spazio, seppur dovendo gestire il problema di dati mancanti poiché non registrati o non disponibili.

In Auffhammer, Hsiang, Schlenker e Sobel (2013) vengono riassunti i principali insiemi di dati utilizzati in materia: NCAR (2001), PRISM (2009), UDEL (2010), CRU (2013).

² “LD” sta per “Long Differences”, che è un altro modo di chiamare l'approccio ibrido.

³ “TS” sta per “Time Series”.

⁴ Ad esempio, alcuni dati giornalieri possono essere ottenuti tramite il NOAA (U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration).

⁵ Spesso quelli privati sono i più difficili da reperire in quanto richiedono dei costi ingenti.

La prima si riferisce a una tabella costruita rianalizzando i dati del National Center for Atmospheric Research (da cui deriva l'acronimo) e offre la temperatura minima e massima e le precipitazioni giornaliere su una scala di 1.875 gradi di longitudine e 1.90 gradi di latitudine. Il PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model), invece, raccoglie le stime mensili del meteo negli Stati Uniti basandosi sulla direzione del vento, i segnali di pioggia e molti altri fattori che sono reperibili grazie alla moltitudine di stazioni meteo presenti nel territorio. L'UDEL (prodotto dalla University of Delaware) raccoglie solo le temperature mensili medie e viene ricavato dal CRU (2008). Quest'ultimo, nella versione aggiornata del 2013, consiste in un database con le medie delle temperature minime e massime in zone che sono a un raggio di circa 56 chilometri dall'Equatore.

Tuttavia, anche nella scelta del database da cui attingere per gli studi potrebbero emergere diversi problemi. Questi riguardano primariamente la misurazione dei termini di errore e, di conseguenza, la necessità di condurre un test di sensitività per capire se i risultati sono robusti; ma ci sono anche altri aspetti da tenere in considerazione: (i) il calcolo della media dei dati giornalieri nello spazio è influenzato dalla distribuzione irregolare delle stazioni meteo, di conseguenza è necessario ponderare i dati in base alle distanze; (ii) sempre presente il problema delle variabili omesse e la correlazione con quelle presenti nella funzione di regressione; (iii) la correlazione degli eventi atmosferici in zone non troppo distanti che potrebbero causare degli errori nelle stime e negli intervalli di confidenza; (iv) la posizione delle stazioni meteo, che potrebbe influenzare in maniera non indifferente la relazione tra le variabili, soprattutto in vista di scelte politiche.

3.3 STEP TRE: le proiezioni future

Il terzo passaggio consiste nel prendere i risultati, ottenuti dall'utilizzo dell'approccio e dei dati scelti, e stimarne una proiezione futura in modo da calcolarne i possibili effetti. Come descritto in precedenza, per analizzare l'effetto casuale del clima sui diversi aspetti economici scelti dai ricercatori vengono usate le fluttuazioni del clima grazie alle registrazioni meteorologiche. Se la relazione tra gli aspetti socio-economici e i dati climatici è stimata correttamente, allora è possibile ipotizzare una previsione futura. Per questo scopo, la maggior parte degli studi sono basati sui GCMs (Global Climate Models) anche se spesso possono condurre a molteplici errori. Ogni GCM è rappresentato da una serie di equazioni matematiche che descrivono la legge di moto per un fluido e si basa sull'approssimazione dell'atmosfera e dell'oceano (Auffhammer, Hsiang, Schlenker e Sobel 2013). L'obiettivo è quello di costruire delle proiezioni dei possibili scenari futuri; inoltre, per rendere i modelli comparabili, si considerano le future attività umane

come esogene e si fanno delle assunzioni⁶ riguardo le future emissioni di gas serra e di altri agenti inquinanti, l'economia e la legislazione ambientale.

Tuttavia, la scelta del CGM influenza le stime degli impatti economici, ma alla domanda “quale modello usare?” non esiste una risposta corretta applicabile per tutti; ad esempio, Burke et al. (2011) hanno dimostrato che circa il 50% degli studi sugli impatti economici del cambiamento climatico su diversi settori si basano sul modello sviluppato dall'Hadley Center⁷, anche se nulla dimostra che questo sia migliore di altri modelli. Inoltre, un altro grande problema è quello dell'omogeneità delle statistiche climatiche, il quale è più semplice da comprendere con un esempio: se un modello produce risultati settimanali, è necessario assumere che le temperature rimangano le stesse per tutto il tempo e in tutta l'area geografica analizzata. Dato che questa assunzione è quasi impossibile, il rischio di generare delle stime imprecise è molto elevato, ma, allo stesso tempo, non esiste un approccio che vada bene per tutte le variabili⁸. Di conseguenza, è sbagliato pensare di usare solo i GCMs per stimare gli scenari climatici futuri.

In conclusione, si può comprendere che, se si sceglie di usare dei dataset delle condizioni storiche e stimate, questo sarà molto diverso dal meteo osservato e i problemi descritti precedentemente continueranno ad emergere. Inoltre, dato che la scelta del modello influenza il segno e l'entità delle stime, è necessario individuare le distorsioni specifiche alla zona in esame in modo da evitare di generare ulteriori distorsioni che condurrebbero a delle stime eccessivamente elevate (o il contrario) degli impatti economici. Questi problemi arrivano all'estremo nel momento in cui è necessario attribuire un costo ai risultati ottenuti da cui attingere per la costruzione di politiche ambientali; quindi, se i dati di partenza non sono abbastanza precisi, i metodi usati per correggere e diminuire le esternalità negative generate saranno errati con la possibilità di causare ulteriori danni.

3.4 I cinque aspetti più importanti dei modelli sul cambiamento climatico

Una volta scelto l'approccio da utilizzare, selezionati i dati e trovata una misura appropriata del clima nel presente e nel futuro, il passo successivo è la costruzione di un modello che si adatti alle precedenti fasi e Hsiang (2016) spiega quali sono le cinque caratteristiche fondamentali per misurare gli effetti del cambiamento climatico:

- la stima degli effetti non lineari la quale dipende dalle osservazioni che possono essere separate o aggregate tra loro nello spazio e nel tempo. Gli effetti non lineari si possono

⁶ Definite dal IPCC's Special Report on Emissions Scenarios (SRES) (IPCC 2000).

⁷ L'Hadley Center for Climate Prediction and Research è uno dei più importanti centri nel Regno Unito per lo studio degli aspetti scientifici associati al riscaldamento climatico.

⁸ Dimostrato da Fowler et al. (2007).

- verificare a livello locale - ad esempio delle temperature troppo alte che possono causare morti - che spesso si manifestano in periodi o luoghi più piccoli rispetto a quelli utilizzati per stimare i risultati, a livello regionale causati dall'accumulo di quelli locali e a livello globale dato che le condizioni climatiche verificatesi nelle regioni sono diverse tra loro;
- gli effetti a catena che si possono generare nel tempo e nello spazio, cioè quando eventi climatici che si verificano in momenti o luoghi diversi influenzano anche l'unità che si sta analizzando. Viene definito temporale nel caso in cui un evento in t influenza un altro in $t+1$; un esempio è il lavoro di Deschênes e Moretti (2009) per studiare le morti registrate negli Stati Uniti dovute ad alcuni giorni di caldo nel quale hanno dimostrato che la conseguenza di questo shock climatico è perdurata per i due mesi successivi a quei giorni. Parallelamente, un effetto a catena è legato allo spazio quando un evento climatico - ad esempio un ciclone - influenza anche degli aspetti - il PIL (Hsiang e Jina 2014) - di una zona limitrofa;
 - come dimostrato da Bertrand et al. (2004) e Moulton (1986), esiste il rischio che le variabili omesse siano autocorrelate e, pertanto, generino degli errori distorti;
 - il modo in cui viene misurata la relazione tra effetti diretti e aspettative per capire come queste ultime influenzano le altre variabili in una regressione. Un modo prevede l'utilizzo dell'approccio "cross-sectional" il quale, da un lato, ha il vantaggio di catturare tutte le aspettative, ma, dall'altro, rimangono le imperfezioni caratteristiche di questo approccio e, inoltre, non è possibile separare le aspettative legate agli effetti diretti da quelle che non lo sono, né è possibile scindere l'insieme di tutti gli effetti diretti. Un altro metodo, applicabile utilizzando tutti e tre gli approcci noti, è quello di analizzare la conseguenza del clima direttamente sui risultati che sono cambiati come conseguenza di questa relazione. Mentre, se come Auffhammer e Aroonruengsawat (2011) si vogliono utilizzare le serie storiche, bisogna considerare che le variabili potrebbero essere endogene;
 - infine, il confronto con gli altri studi per offrire delle interpretazioni migliori, delle repliche e/o delle differenze.

4. Le stime degli effetti economici e dei costi marginali

Perché è importante stimare gli effetti del cambiamento climatico? A questa domanda Hsiang (2016) risponde enunciando i due obiettivi principali: capire quali elementi del mondo moderno sono legati ai fattori climatici e fare una previsione dei possibili scenari che possono verificarsi in caso di diverse situazioni climatiche per stimarne i costi. Questi ultimi possono essere raggiunti con il metodo “top-down”, dove la variabile dipendente è un’approssimazione del benessere sociale, oppure “bottom-up”, in cui si fanno tanti modelli su diversi settori e si sommano. Infine, per definire delle politiche ambientali è importante definire quali sono gli effetti economici totali e i costi marginali.

4.1 Gli effetti totali

A riassumere le stime degli effetti economici totali che sono state calcolate ci ha pensato Tol (2009), il quale spiega che ogni studio parte da una assunzione (per esempio, le future emissioni o, piuttosto, il livello del mare, ecc.) e poi si decide di procedere secondo uno degli approcci econometrici descritti in precedenza. Tuttavia, l’autore di questo studio fa un’ulteriore separazione tra due tipi di metodologie su cui basare una ricerca: il metodo enumerativo e il metodo statistico.

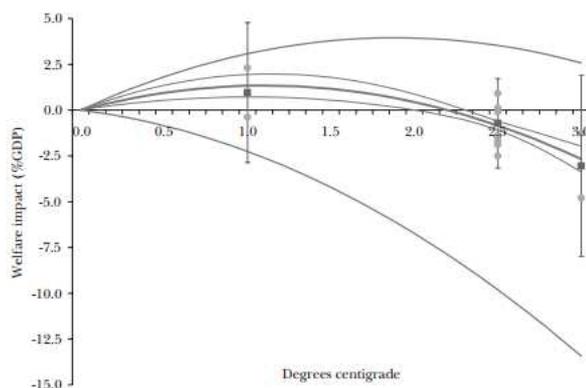
Il primo fu usato da Fankhauser (1994, 1995), Nordhaus (1994a) e Tol (1995, 2002a, b) che raggrupparono gli effetti materiali o sperimentali del cambiamento climatico, gli diedero un prezzo e li sommarono. Il tutto sembra molto valido poiché è strettamente legato alla scienza; tuttavia, quando si scontra con i beni non materiali, ad esempio la salute umana, il metodo enumerativo non è più affidabile. Inoltre, risulta difficile estrapolare dei dati da fonti e scale diverse ed evitare di generare degli errori molto elevati. Vi è un’ulteriore problematica: le assunzioni sulle correlazioni tra variabili esplicative e dipendente possono essere illusorie.

Di conseguenza, altri studiosi (Mendelsohn, Morrison, Schlesinger e Andronova 2000; Mendelsohn, Schlesinger e Williams 2000) hanno applicato il secondo tipo di metodo con cui si calcola la stima degli effetti sul benessere basandosi sulle variazioni di prezzi e consumi. Questo ha il vantaggio di basarsi su delle differenze reali che si manifestano nel clima e nei redditi, ma si assume che tutte le differenze tra i diversi territori siano legati al clima e questa è una considerazione molto approssimativa e, delle volte, errata.

Tutti questi studi trovano un punto d’incontro nello stabilire che raddoppiando la concentrazione di gas serra nell’atmosfera si ha un effetto negativo sul PIL di qualche punto percentuale, che però deve essere contestualizzato per capirne le conseguenze vere e proprie.

Se da un lato può sembrare poco, dall'altro una riduzione che permane nel futuro avrà bisogno di una reazione per contrastarne i costi.

Per di più, Hope (2006), Mendelsohn, Morrison, Schlesinger e Andronova (2000), Mendelsohn, Schlesinger e Williams (2000) e Tol (2002b) hanno notato che inizialmente si verificano dei benefici legati all'aumento della temperatura, i quali poi sono seguiti da delle perdite nel caso in cui questa dovesse aumentare ulteriormente (come mostrato in "Figure 1" in Tol 2009 e riportato in seguito, che si basa su quattordici studi diversi).



Tuttavia, bisogna porre l'attenzione sul fatto che una volta registrato un aumento delle temperature, queste non torneranno indietro, ma possono solo aumentare. Quindi i benefici iniziali sono da considerare come "sunk benefits", poiché prima o poi porteranno a delle perdite sempre peggiori. Questo spiega il motivo per cui delle politiche volte a minimizzare le emissioni (o gli altri fattori negativi legati al clima) nel lungo periodo, devono necessariamente generare dei risultati anche nel medio periodo e non possono permettersi di posticipare di troppo il contrasto di questi aspetti. In più, bisogna considerare che gli effetti sono diversi in base alle caratteristiche geografiche del territorio e le politiche climatiche devono tenere conto anche di ciò.

Un altro aspetto molto importante è la differenza tra i Paesi sviluppati e in via di sviluppo, poiché se da un lato i primi generano danni maggiori per il clima, dall'altro le conseguenze peggiori si verificano sui secondi (Yohe e Schlesinger, 2002) dato che sono spesso zone più vicine all'equatore e mancano di molte risorse e istituzioni adeguate ad adattarsi a un nuovo clima. Inoltre, spesso ai Paesi sviluppati conviene ripagare i Paesi con un basso reddito per i danni causati piuttosto che investire sulla riduzione delle emissioni nelle proprie attività, peggiorando la situazione ambientale.

Nonostante le importanti scoperte, è necessario porre come premessa che il livello di incertezza è sempre elevato e spesso si rischia di non capire a pieno i rischi collaterali. Il risultato è che

una misura pensata per correggere certi comportamenti, ma basata su stime imprecise, possa generare dei peggioramenti.

4.2 I costi marginali

Come descritto in precedenza, un ruolo importante è dato al Social Cost of Carbon (SCC) che, nella teoria economica, in ambito fiscale, questo può essere tradotto come la tassa Pigouviana da imporre alle emissioni di diossido di carbonio per minimizzare le esternalità negative; ma in realtà dare un valore monetario a questa tassa è molto più complesso, considerando le limitate risorse empiriche di cui si dispone; infatti, come riportato da Tol nello stesso studio, le circa 200 stime del SCC si basano su solo nove stime degli effetti totali. Inoltre, bisogna porre attenzione sul fatto che i costi totali misurano il costo economico del cambiamento climatico in termini di benessere sociale; ma quando si passa ai costi marginali il discorso diventa molto più articolato dato che è necessario considerare anche altri aspetti: (i) il tasso di sconto, il quale deve, a sua volta, tenere conto di tutte le assunzioni che vengono fatte riguardo l'intervallo temporale; (ii) il tasso di crescita del consumo e l'elasticità dell'utilità marginale del consumo; (iii) il modo di gestire l'incertezza⁹. Questi sono i principali motivi per cui degli studi che partono dallo stesso valore di costo totale potrebbero raggiungere stime dei costi marginali diverse tra loro¹⁰.

	All	Pure rate of time preference		
		0%	1%	3%
Mean	105	232	85	18
Standard Deviation	243	434	142	20
Mode	13	—	—	—
33 rd percentile	16	58	24	8
Median	29	85	46	14
67 th percentile	67	170	69	21
90 th percentile	243	500	145	40
95 th percentile	360	590	268	45
99 th percentile	1500	—	—	—
N	232	38	50	66

Per comprendere meglio questi concetti basti analizzare la tabella riportata in seguito (da Tol 2009) che mostra il SCC misurato nel 1995 in dollari per tonnellata metrica di carbonio (\$/tC) a seguito di 232 stime pubblicate e tre sottogruppi di queste stime basate sul tasso di sconto per la diminuzione

dell'utilità futura¹¹.

⁹ Quando questa viene riconosciuta.

¹⁰ Ad esempio, potrebbero basarsi su diverse proiezioni delle emissioni di diossido di carbonio o su diversi scenari economici, generando diverse stime finali.

¹¹ Pure rate of time preferences. Maggiore è la percentuale di tasso, minore è il valore attuale del costo del cambiamento climatico in futuro.

Da questa tabella è possibile notare che l'incertezza è molto elevata; infatti, i valori medi sono fortemente influenzati dai valori estremi¹². Di conseguenza, non solo le statistiche campionarie sottostimano i costi marginali, ma anche usando dei tassi di sconto rimane un elevato grado di incertezza; infatti, ci sono tre punti da non dimenticare che spiegano questo andamento: (i) come spiegato in precedenza, il SCC si basa sulle stime degli impatti economici totali il cui grado di incertezza è spesso sottostimato; (ii) le stime contengono solo alcuni degli impatti che si verificano, infatti tra questi ne esistono alcuni che possono generare persino degli effetti positivi o misti¹³; (iii) nonostante il numero di stime possa sembrare elevato, in realtà non è sufficiente e bisogna continuare a entrare sempre più a fondo nella questione. Per di più, legato soprattutto al terzo punto, vi è il dubbio più grande tra gli economisti che riguarda l'effetto del cambiamento climatico nel lungo periodo, in termini di biodiversità¹⁴ ed ecosistema, poiché difficili da valutare e sottovalutati dalla popolazione¹⁵, anche se influenza in modo non indifferente il tasso di crescita annuale.

Tuttavia, se si vuole applicare la tabella precedente per definire il valore di una tassa sulle emissioni, quest'ultimo dovrebbe cadere nell'intervallo che va dal valore della mediana al valore medio. Per esempio, se si usa un tasso di sconto del 1%, le istituzioni dovrebbero imporre una tassa che va da 46 \$/tC a 85 \$/tC. Di conseguenza, tutto dipende dal tasso di sconto e dal grado di avversione al rischio che si stabilisce, anche se è necessario ricordare che queste valutazioni possono essere fatte in Paesi caratterizzate da un alto reddito, poiché in Paesi meno sviluppati questo tema non sussiste nonostante la loro elevata vulnerabilità.

¹² Ad esempio, il 95esimo percentile è 360 \$/tC mentre il 99esimo percentile è 1500 \$/tC.

¹³ A parlare di effetti positivi sono stati Breslow e Sailor (2002) dimostrando che una velocità del vento maggiore avrebbe ridotto il costo dell'energia eolica. Mentre un esempio di effetto misto viene fatto da Berrittella, Bigano, Roson e Tol (2006) parlando del turismo che, in caso di temperature più elevate, aumenterebbe nelle aree montane.

¹⁴ Si intende la qualità dei terreni, il ciclo di produzione dei vegetali, ecc.

¹⁵ Pearce e Moran (1994) mostrano che la gente è disposta a pagare meno dell'1% del reddito per preservare la natura.

5. Le politiche ambientali

Nel 2014 l'IPCC¹⁶ ha dichiarato non solo che il cambiamento climatico si sta verificando, ma anche che è causato dalle emissioni di gas serra prodotte dalle azioni umane, le quali aumenteranno in futuro e porteranno a rischi irreversibili per la natura e per gli esseri umani. Inoltre, come anticipato in precedenza, il costo del riscaldamento globale ricadrà maggiormente sui Paesi in via di sviluppo, poiché essi sono più vulnerabili ai disastri naturali generati dal problema. Tuttavia, la crescita delle emissioni dei Paesi meno abbienti negli ultimi anni è più elevata di quella dei Paesi sviluppati, di conseguenza se i primi non vengono controllati, gli obiettivi posti dai Paesi con un reddito maggiore risulteranno inutili e irraggiungibili.

Dal momento che sono ormai necessarie delle azioni che mirino all'abbattimento delle emissioni, la comunità internazionale, sotto la guida del UNFCCC¹⁷, ha deciso di fissare l'obiettivo di limitare il riscaldamento a meno di 2 gradi Celsius rispetto al livello preindustriale. Nel 2015 ad aderire a questo obiettivo e a firmare l'Accordo di Parigi sono stati 195 Paesi, di cui 130 Paesi in via di sviluppo si sono impegnati nel NDCs¹⁸, anche se si è visto che molti pochi hanno effettivamente inserito delle politiche economiche (ad esempio, una forma di tassazione) che favoriscano il raggiungimento di questo traguardo. Inoltre, 193 Paesi si sono impegnati nel raggiungimento dei 17 SDGs¹⁹, tra i quali ci sono obiettivi di carattere ambientale. Per raggiungere le promesse fatte negli NDCs e negli SDGs sono state proposte due potenziali soluzioni: le imposte ambientali e la ETR (Environmental Tax Reform).

Nel 2005 la Banca Mondiale ha definito le imposte ambientali come “una serie di strumenti fiscali che possono aumentare le entrate e contemporaneamente favorire gli obiettivi ambientali”; questi, come è stato dichiarato nel 2018 dall'OECD, hanno come base di partenza una entità fisica che sia dannosa per l'ambiente. Queste possono essere delle tariffe o delle imposte e possono colpire, ad esempio, i veicoli, il trasporto aereo, il consumo di energia, le emissioni di gas serra e tanto altro.

Invece, le ETRs sono un insieme di politiche che affiancano le politiche ambientali a tante altre misure aggiuntive. Secondo l'OECD (2017), queste riforme vogliono unire gli strumenti fiscali e i problemi ambientali, usando i ricavi ottenuti per migliorare il welfare.

¹⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change.

¹⁷ United Nations Framework Convention on Climate Change, cioè il corpo delle Nazioni Unite che si occupa del cambiamento climatico.

¹⁸ Nationally Determined Contributions.

¹⁹ Sustainable Development Goals.

Ci sono tre ragioni principali per cui si considera conveniente implementare una ETR o una imposta ambientale:

- dato che la teoria economica sostiene che l'efficienza di mercato si raggiunge quando i prezzi riflettono tutti i costi, incluse le esternalità negative, questa soluzione può aiutare a raggiungere questo tipo di efficienza. Infatti, a tale scopo è idealmente necessario l'intervento delle istituzioni con una tassa Pigouviana affinché vengano considerati i costi diretti e indiretti e si raggiunga una allocazione delle risorse più socialmente efficiente;
- in molti casi, questo tipo di strumento permette di minimizzare i costi delle politiche ambientali e di raggiungere più obiettivi rispetto a una regolamentazione diretta. Quest'ultima, infatti, genera molti costi per le imprese che devono adattarsi e, per questo motivo, è necessario provare a ridurre questo aspetto negativo. Inoltre, questi strumenti permettono di fare chiarezza sugli obiettivi e poter fare delle proiezioni future; infatti, da un lato le riforme danno maggiori certezze sui futuri livelli di emissione, dall'altro le imposte permettono di prevedere i futuri prezzi. La scelta di quale strumento usare dipende dal livello di competenze amministrative di un paese, poiché le imposte sono più facili da gestire rispetto a una ETR e quindi più adatte a Paesi in via di sviluppo;
- infine, questi strumenti permettono di aumentare le entrate pubbliche, le quali possono essere utilizzate per molteplici scopi, ad esempio ridurre il debito pubblico o investire nelle infrastrutture, anche se la desiderabilità dipende da molti fattori interni dei Paesi.

Un aspetto cruciale è la quantificazione del divario tra le attuali imposte ambientali e il livello ottimale; di conseguenza, per determinare un'aliquota che permetta di raggiungere un livello di imposta ambientale socialmente efficiente e stimare questo divario, si possono utilizzare due metodi. Il primo si basa sull'efficienza di mercato e ha l'obiettivo di quantificare i danni esterni in modo da eguagliare l'aliquota fiscale ai costi marginali sociali e creare una imposta correttiva che minimizzi il divario, raggiungendo una tassa Pigouviana ottimale e internalizzando tutti i costi esterni. Il secondo metodo punta alla redditività che può generare il raggiungimento di un obiettivo ambientale, anche se così facendo raggiunge una stima minore del divario sopra citato. In realtà esistono altri metodi per stimare questo divario, ma in generale si arriva sempre alla conclusione che tutti i Paesi non raggiungono ancora i livelli di imposte tali da raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi.

5.1 Gli effetti degli ETRs

L'implementazione di una ETR può avere due tipologie di effetti sul benessere: diretto e indiretto. Il primo è favorito dalla capacità di ridurre le perdite dovute alle esternalità negative,

mentre il secondo dipende dall'espansione delle attività economiche mediante la riduzione dei costi del sistema fiscale o l'aumento delle risorse domestiche da destinare per gli investimenti pubblici. Inoltre, esistono anche i cosiddetti "co-benefits", spesso sopravvalutati, che comunque possono avere degli effetti importanti, ad esempio una migliore qualità dell'aria che può ridurre il rischio di morbilità e mortalità, oppure la riduzione del traffico e degli incidenti stradali (Heine e Black 2019).

Tuttavia, un aspetto che interessa sia gli economisti che i legislatori è la valutazione di questi effetti, la quale può essere condotta ex ante o ex post per mezzo di diversi strumenti che sono riassunti da Heine e Black (2019). Per una valutazione ex ante possono essere usati i seguenti: (i) un'analisi qualitativa per gli aspetti del welfare non quantificabili e, quindi, non monetizzabili; (ii) un'analisi di equilibrio parziale per quantificare gli effetti diretti; (iii) un'analisi di equilibrio generale (GE) per mezzo dei CGE²⁰ per comprendere i potenziali effetti di una crisi fiscale su tutti gli aspetti dell'economia; (iv) un'analisi macroeconomica per fare previsioni; (v) i modelli, cosiddetti input-output, di interdipendenza tra i diversi fattori dell'economia; (vi) i modelli di crescita endogena che potrebbero prevedere le esternalità positive e le future opportunità. Invece, per una valutazione ex post si possono utilizzare due strumenti: (i) le analisi econometriche e (ii) le indagini qualitative.

In generale, gli effetti economici di una specifica ETR dipende da diversi fattori, tra i quali il modo in cui l'imposta viene strutturata – scopo, imponibile, aliquota –, il periodo in cui viene introdotta – ad esempio, è socialmente preferibile usare queste riforme quando i costi per l'energia non sono elevati – e l'uso dei ricavi. Gli studi a riguardo si dividono in empirici e teoretici: i primi sostengono che le ETRs hanno un effetto quasi nullo sul PIL e, se vengono utilizzate per ridurre le imposte sul lavoro, potrebbero portare a un aumento dell'occupazione, inoltre potrebbero anche favorire le aziende nell'innovazione green sfavorendo quelle che non investono secondo questa direzione; mentre gli studi teoretici dibattono sulla possibilità di generare un doppio dividendo²¹ grazie alle politiche ambientali, raggiungendo gli obiettivi prefissati e migliorando la produttività e l'occupazione. Il dibattito si concentra proprio sul secondo dividendo, cioè sull'effetto che le politiche ambientali hanno sulla produttività e l'occupazione; perché, se da un lato è considerato certa la diminuzione delle emissioni, dall'altro vi è ancora incertezza riguardo gli altri aspetti (Freire-González 2017). Secondo

²⁰ Computable General Equilibrium.

²¹ Goulder (1995) fa una distinzione tra il doppio dividendo forte e debole: il primo si ha quando il welfare aumenta a seguito dell'introduzione di una politica ambientale indipendentemente dalla qualità di tale politica e ai guadagni che potrebbe generare; mentre il secondo si verifica quando il miglioramento del welfare che si ottiene da una politica ambientale usata per ridurre la distorsione fiscale è maggiore del miglioramento del welfare dovuto a una riforma con dei risultati di tipo lump sum (Babiker, Metcalf e Reilly 2003).

Goulder (2013) le condizioni che possono generare un doppio dividendo sono le seguenti: (i) una tassazione inefficiente sul capitale e sul lavoro; (ii) una tassazione inefficiente sulle risorse naturali; (iii) la presenza di un mercato del lavoro informale; (iv) una relazione positiva tra la qualità ambientale e la produttività della forza lavoro. Seguendo questo pensiero, Heine e Black (2019) hanno riassunto i fattori che, secondo gli studi più recenti, possono incidere in modo rilevante e determinare se una specifica ETR può generare un doppio dividendo:

- le interazioni della cosiddetta “shadow economy” o economia informale²², nella quale gli agenti non pagano le imposte dirette rendendo difficile ricavare dei ricavi da queste e allocare le risorse in maniera efficiente. In questo caso, l’ETR può rivelarsi un’opportunità per ribilanciare il peso fiscale tra l’economia formale e informale, generando una crescita sostanziale soprattutto nei Paesi in via di sviluppo²³; di conseguenza, questa tipologia di politica ambientale potrebbe risultare economicamente desiderata;
- la presenza di un sistema fiscale distorsivo preesistente, il quale potrebbe essere migliorato dall’introduzione di una riforma ambientale che faccia uso dei ricavi per ridurre le imposte distorsive e, di conseguenza, anche il costo macroeconomico del fondo pubblico, migliorando l’efficienza del sistema tributario. Inoltre, l’ETR potrebbe aiutare a introdurre due tipologie di imposte considerate economicamente ottimali, cioè la tassazione Ramsey e la tassazione degli affitti Ricardiana. Secondo la prima, l’efficienza di un sistema tributario è ottenuta quando le imposte sono più elevate per beni con una domanda inelastica, di conseguenza dato che spesso la domanda è poco elastica per molti beni che hanno un impatto ambientale negativo, questo tipo di tassazione potrebbe risultare di facile applicazione. Nel secondo metodo, invece, Ricardo sostiene che gli affitti sono la porzione della terra che viene pagata al proprietario per l’uso dei poteri del suolo, di conseguenza questi devono essere tassati maggiormente rispetto ai profitti, rendendo le attività cosiddette “profit-seeking” più vantaggiose di quelle “rent-seeking”;
- la disoccupazione involontaria, dovuta a una mancanza di domanda di lavoro;
- l’innovazione tecnologica indotta e la maggiore competitività;
- la competizione imperfetta nel mercato dei beni.

²² Definita dall’International Monetary Fund (1979) come “qualsiasi attività economica che presenti la caratteristica di sfuggire all’osservazione statistica può essere indicata come appartenente all’economia sommersa”. [https://www.treccani.it/enciclopedia/economia-sommersa_\(Enciclopedia-delle-scienze-sociali\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/economia-sommersa_(Enciclopedia-delle-scienze-sociali)/)

²³ In questi l’economia informale è molto più diffusa rispetto ai Paesi sviluppati.

Per i Paesi in via di sviluppo, invece, è necessario aggiungere anche i seguenti fattori:

- la maggiore elasticità tra domanda e offerta di manodopera non qualificata;
- il miglioramento dell'efficienza energetica e della produttività.

Questi fattori sono necessari per condurre una valutazione degli effetti di una ETR sul welfare, poiché altrimenti questi verrebbero sottovalutati, anche se non è ancora chiaro come stimare gli impatti combinati e le relazioni tra tutti questi fattori, che possono amplificare o ridurre gli effetti finali sulla produttività e sul welfare.

È importante tenere in considerazione anche gli effetti sulla distribuzione del reddito, sulla povertà e sulla competitività di una nazione. La distribuzione del reddito cambia di paese in paese a causa di diversi fattori elencati in seguito: (i) la definizione che viene usata per il termine “reddito”; (ii) il tempo, infatti gli effetti distributivi sono gradualmente; (iii) il livello di sviluppo; (iv) l'elasticità della domanda; (v) la struttura industriale; (vi) la distribuzione dei danni; (vii) l'imponibile; (viii) l'uso delle risorse ricavate dalle imposte. Di conseguenza, questo tipo di analisi deve tenere in considerazione sia tutti questi aspetti sia il modo in cui è stata disegnata l'imposta ambientale. Nonostante i benefici che si possono ottenere da questo tipo di riforma, è stato dimostrato che si verificano delle conseguenze negative sulla popolazione a basso reddito e, per questo motivo, sono necessarie delle politiche di spesa a favore di questa, anche se non sempre risultato efficaci. Di conseguenza, anche se fortunatamente i Paesi – specialmente quelli sviluppati – necessitano una piccola parte dei ricavi ottenuti per compensare la popolazione meno abbiente, il problema dell'aumento della povertà non viene risolto. Tuttavia, a livello competitivo, è stato dimostrato che sotto certe condizioni l'ETR può influenzare positivamente la produttività delle aziende, aumentandone la competitività nel mercato.

5.2 L'ETR nei Paesi in via di sviluppo

Considerando l'esistenza di due strumenti alternativi, cioè l'ETR e l'ETS²⁴, si è ampiamente discusso in letteratura riguardo quale dei due sia uno strumento più adatto – e più semplice da implementare – nei Paesi in via di sviluppo, arrivando alla conclusione che, in tutte quelle nazioni in cui il livello di amministrazione è limitato, l'ETR è lo strumento di politica ambientale più efficace. Per costruirne uno ad hoc bisogna apprendere ciò che è stato fatto dagli altri Paesi e imitarne le decisioni che si sono rivelate di successo. Inoltre, secondo la Banca Mondiale e l'OECD (2015) è necessario che l'ETR sia coerente con gli altri obiettivi, stabile, trasparente, incentrato sulla efficienza di mercato e sull'economicità e che porti a un effettivo

²⁴ Emissions Trading Scheme.

abbattimento delle emissioni; mentre secondo il Fondo Monetario Internazionale (2017b) le strategie della riforma devono essere integrate nelle politiche monetarie e fiscali dopo un apposito controllo del sistema tributario, devono essere comunicate in modo chiaro per garantire il supporto pubblico, devono includere dei supporti per le parti più vulnerabili della popolazione e devono essere implementate gradualmente.

La Banca Mondiale nel 2017 ha definito uno schema preciso da seguire che si compone delle seguenti fasi:

1. decidere se adottare l'ETR;
2. definire gli obiettivi;
3. determinare l'imponibile, l'aliquota e l'uso delle risorse ottenute;
4. assicurare un controllo effettivo
5. valutare i risultati e migliorare l'ETR continuamente.

Inevitabilmente l'introduzione di una nuova riforma ambientale interagisce con le altre politiche in modo negativo – in termini di equità, povertà e competitività – o positivo; in questa ottica, le politiche possono essere di tre tipi: (i) politiche complementari, utili ad aumentarne l'efficacia e raggiungere gli obiettivi più velocemente; (ii) politiche sovrapposte, le quali si muovono in parallelo alle altre politiche ambientali, ma spesso bisogna intervenire per trovare un allineamento; (iii) politiche compensative, che però possono influenzare negativamente il comportamento delle parti favorite. Di conseguenza, è necessario implementare delle politiche di supporto in modo da contrastare i potenziali effetti negativi e amplificare le opportunità. È chiaro che le interazioni tra le politiche fiscali rendono il lavoro molto più complesso, però bisogna riconoscere che questo aspetto crea anche molte opportunità che possono essere colte riuscendo a raggiungere molteplici obiettivi sociali insieme.

In conclusione, nei Paesi in via di sviluppo sarebbe necessario implementare le ETR il prima possibile, dati gli effetti positivi che hanno dimostrato di generare in termini di miglioramento del welfare; anche se non si deve sottovalutare il fatto che non esiste una regola ottimale per la definizione di una riforma; quindi, se da un lato è corretto prendere spunto dagli altri Paesi – soprattutto per assicurare correttezza e trasparenza – dall'altro bisogna adattare gli insegnamenti che si traggono alla propria condizione economica e sociale. Inoltre, è stato dimostrato che in questi Paesi è preferibile porre un'imposta a monte, cioè al momento dell'estrazione o dell'importazione di una risorsa – ad esempio, il carburante – in modo da favorire l'efficienza minimizzando i costi amministrativi e provando a combattere l'economia informale che è molto diffusa.

6. Conclusione

Il cambiamento climatico è un problema che coinvolge ogni Paese e che richiede una attenzione speciale per raggiungere gli obiettivi posti e minimizzare i danni potenziali. Per raggiungere tutto ciò sono necessarie delle politiche ambientali specifiche che tengano conto di tutti i fattori e non sottovalutino nessun aspetto economico o sociale.

Come è stato descritto, trovare delle stime adeguate degli effetti del cambiamento climatico sull'economia rimane una sfida complicata e nessun modello ha mai dato una risposta definitiva di cui gli studiosi e i ricercatori possano avvalersi. Si è visto che nella storia si sono utilizzati diversi modelli – come gli IAMs – ma questi non hanno portato ai risultati sperati. Per questo, ad oggi, è possibile avere uno schema ben preciso su come costruire un modello econometrico a tal scopo, accettandone i vincoli e i difetti, ma comunque cercando di dare una stima il più attendibile possibile dei costi totali e marginali.

Queste stime sono fondamentali per l'attribuzione di un costo monetario a tutti gli effetti che sono generati dal fenomeno, che sarà anche la base di partenza per la costruzione delle politiche ambientali specifiche. Tuttavia, è chiaro che rimane sempre uno spiraglio di arbitrarietà nel momento in cui i risultati econometrici passano nelle mani della politica, poiché le esternalità negative sono percepite in modo diverso e questo spiega la maggiore o minore severità delle leggi, nonostante gli accordi presi in passato – specialmente sul livello di emissioni di gas serra.

È stato dimostrato, inoltre, che nei Paesi in via di sviluppo gli interventi in questa direzione sono da implementare urgentemente, poiché non solo hanno un livello di amministrazione e di innovazione inferiore ai Paesi sviluppati, ma sono anche coloro che subiscono maggiormente le conseguenze delle azioni e delle decisioni di tutte le altre nazioni. Di conseguenza, la crescita di questi Paesi è chiaramente compromessa dal tema e dai comportamenti di tutti quei Paesi che preferiscono compensare economicamente i Paesi meno abbienti, piuttosto che ridurre le proprie attività dannose.

In conclusione, è noto che il costo del cambiamento climatico sia in continuo aumento, ma è chiaro che con le politiche ambientali efficaci è possibile limitare i danni e sfruttare le opportunità economiche che si presentano – lo sviluppo tecnologico e l'innovazione, il miglioramento del welfare, l'aumento di competitività delle aziende nel mercato. Tuttavia, è necessaria un'azione congiunta da parte di tutti gli attori coinvolti per adottare delle misure concrete che siano socialmente accettabili e non risultino eccessivamente onerose. Dall'incontro di ricercatori, economisti, decisori politici e cittadini, seguendo questa direzione,

è possibile avvicinarsi agli obiettivi prefissati e migliorare le condizioni ambientali che non smettono di preoccupareⁱ.

Bibliografia

- Auffhammer, M. 2018. *Quantifying economic damages from climate change*. Journal of Economic Perspectives, 32(4): 33-52.
- Auffhammer, M., Hsiang, S. M., Schlenker, W., Sobel, A. 2013. *Using weather data and climate model output in economic analyses of climate change*. Review of Environmental Economics and Policy.
- Auffhammer, M., Mansur, E. T. 2014. *Measuring climatic impacts on energy consumption: A review of the empirical literature*. Energy Economics 46: 522 – 530.
- Auffhammer, M., Schlenker, W. 2014. *Empirical studies on agricultural impacts and adaptation*. Energy Economics 46: 555–561.
- Babiker, M. H., Metcalf, G. E., Reilly, J. 2003. *Tax distortions and global climate policy*. Journal of Environmental Economics and Management, 46(2): 269-287.
- Berrittella, M., Bigano, A., Roson, R., Tol, R. S. 2006. *A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism*. Tourism management, 27(5): 913-924.
- Bertrand, M., Duflo, E., Mullainathan, S. 2004. *How much should we trust differences-in-differences estimates?* Q. J. Econ. 119: 249–275.
- Breslow, P. B., Sailor, D. J. 2002. *Vulnerability of wind power resources to climate change in the continental United States*. Renewable energy, 27(4): 585-598.
- Burke, M., Emerick, K. 2016. *Adaptation to climate change: Evidence from US agriculture*. American Economic Journal: Economic Policy, 8(3): 106-140.
- Burke, M., Dykema, J., Lobell, D. B., Miguel, E., Satyanath, S. 2015. *Incorporating climate uncertainty into estimates of climate change impacts, with Applications to U.S. and African Agriculture*. NBER Working Paper 17092.
- Deaglio, M. 1993. *Economia sommersa*. Treccani. [Consultato il 15/06/2024]. Disponibile da: [https://www.treccani.it/enciclopedia/economia-sommersa_\(Enciclopedia-delle-scienze-sociali\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/economia-sommersa_(Enciclopedia-delle-scienze-sociali)/).
- Deschênes, O, Greenstone, M. 2007. *The economic impacts of climate change: Evidence from agricultural output and random fluctuations in weather*. Am. Econ. Rev. 97: 354–385.
- Deschênes, O. 2014. *Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature*. Energy Economics 46: 606–619.

- Deschênes, O., Moretti, E. 2009. *Extreme weather events, mortality and migration*. Rev. Econ. Stat. 91: 659–681.
- Diaz, D., Moore, F. 2017. *Quantifying the economic risks of climate change*. Nature Climate Change, 7(11): 774-782.
- Fankhauser, S. 1994. *The social costs of greenhouse gas emissions: an expected value approach*. The energy journal, 15(2): 157-184.
- Fankhauser, S. 1995. *Valuing climate change - The economics of the greenhouse*. London: Earth-Scan.
- Fisher, A. C., Hanemann, W. M., Roberts, M. J., Schlenker, W. 2012. *The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment*. American Economic Review, 102(7): 3749-3760.
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C. 2007. *Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling*. International Journal of Climatology, 27(12): 1547-1578.
- Freire-González, J. 2017. *Environmental taxation and the Double Dividend Hypothesis in CGE modelling literature: A critical review*. Journal of Policy Modeling 40(1): 194–223. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.11.002>.
- Goulder, L. H. 1995. *Effects of Carbon Taxes in an Economy with Prior Tax Distortions: An Intertemporal General Equilibrium Analysis*. Journal of Environmental Economics and Management 29: 271-297.
- Goulder, L. H. 1995. *Environmental Taxation and the 'Double Dividend': A Reader's Guide*. International Tax and Public Finance 2: 157- 183.
- Goulder, L. H. 2013. *Climate change policy's interactions with the tax system*. Energy Economics, 40, S3-S11.
- Heal, G., Park, J. 2015. *Goldilocks economies? Temperature stress and the direct impacts of climate change*. NBER Working Paper 21119.
- Heine, D., Black, S. 2019. *Benefits beyond climate: environmental tax reform*. Fiscal policies for development and climate action, 1.
- Hope, C. 2006. *The marginal impact of CO2 from PAGE2002: an integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern*. Integrated Assessment Journal, 6(1): 19-56.

- Hsiang, S. 2016. *Climate econometrics*. Annual Review of Resource Economics, 8: 43-75.
- Hsiang, S., Burke, M., Miguel, E., Cane, M. A., Meng, K. C. 2015. *Analysis of statistical power reconciles climate-conflict results in Africa*. CECA Working paper.
- Hsiang, S., Jina, A. S. 2014. *The causal effect of environmental catastrophe on long-run economic growth: Evidence from 6,700 cyclones*. Tech. rep., National Bureau of Economic Research.
- Huntington, E. 1922. *Civilization and climate*. Yale University Press.
- IMF (International Monetary Fund). 2017b. *If Not Now, When? Energy Price Reform in Arab Countries*. IMF Policy Paper, Washington, DC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. Special Report Emissions Scenarios (SRES).
- Kousky, C. 2014. *Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters*. Energy Economics 46: 576 – 592.
- Mendelsohn, R., Morrison, W., Schlesinger, M. E., Andronova, N. G. 2000. *Country-specific market impacts of climate change*. Climatic change, 45(3): 553-569.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., Shaw D. 1994. *The impact of global warming on agriculture: A ricardian analysis*. Am. Econ. Rev. 84: 753–771.
- Mendelsohn, R., Schlesinger, M., Williams, L. 2000. *Comparing impacts across climate models*. Integrated Assessment, 1(1): 37-48.
- Moulton, B. R. 1986. *Random group effects and the precision of regression estimates*. Journal of econometrics 32: 385–397.
- Nordhaus, W. D. 1994a. *Managing the Global Commons: The economics of Climate Change*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nordhaus, W. D. 2008. *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. Yale University Press.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2017. *Environmental Fiscal Reform: Progress, Prospects, and Pitfalls*. OECD Report for the G7 Environment Ministers, OECD Publishing, Paris.

- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2018a. *OECD Glossary of Statistical Terms*. <https://stats.oecd.org/glossary/>.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2018b. *Taxing Energy Use: Companion to the Taxing Energy Use Database*. Paris: OECD Publishing.
- Pearce, D., Moran, D. 1994. *The economic value of biodiversity*. London: Earth-Scan.
- Pindyck, R. S. 2013. *Climate change policy: what do the models tell us?* Journal of Economic Literature, 51(3): 860-872.
- Pindyck, R. S. 2017. *The use and misuse of models for climate policy*. Review of Environmental Economics and Policy.
- Richard, S. T. 1995. *The damage costs of climate change toward more comprehensive calculations*. Environmental and Resource Economics, 5: 353-374.
- Schlenker, W., Hanemann, W. M., Fisher, A. C. 2006. *The impact of global warming on U.S. agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions*. Review of Economics and Statistics 88: 113–125.
- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Tol, R. S. 2002a. *Estimates of the damage costs of climate change. Part I: Benchmark estimates*. Environmental and resource Economics, 21(1): 47-73.
- Tol, R. S. 2002b. *Estimates of the damage costs of climate change, Part II. Dynamic estimates*. Environmental and Resource Economics, 21(2): 135-160.
- Tol, R. S. J. 2009. *The economic effects of climate change*. Journal of economic perspectives, 23(2): 29-51.
- Wooldridge, J. 2002. *Econometric analysis of cross section and panel data*. The MIT press.
- World Bank e OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2015. *The FASTER Principles for Successful Carbon Pricing: An Approach Based on Initial Experience*. Washington, DC: World Bank <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/901041467995665361/the-faster-principles-for-successful-carbon-pricing-an-approach-based-on-initial-experience>.
- World Bank. 2005. *Environmental Fiscal Reform: What Should Be Done and How to Achieve It*. Washington, DC: World Bank.

World Bank. 2017. *Carbon Tax Guide: A Handbook for Policy Makers*. Washington, DC: World Bank Group.

Yohe, G., Schlesinger, M. 2002. *The economic geography of the impacts of climate change*. *Journal of Economic Geography*, 2(3): 311-341.

ⁱ Numero parole 9380.