

# Valutazione dell'impatto economico dei cambiamenti climatici sui sistemi agro-forestali

Vittorio Gallerani, Fabio Bartolini\*, Davide Viaggi

*Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie, Università di Bologna  
Viale Fanin 50, 40127 Bologna*

Centro Studi di Estimo ed Economia Territoriale

---

## Riassunto

Il cambiamento climatico sta influenzando notevolmente i sistemi agro-forestali. Le attuali previsioni stimano che sia la variazione delle condizioni climatiche medie, sia l'aumento di eventi estremi legati al cambiamento climatico avranno effetti ancora più marcati in futuro. Questo contributo intende illustrare l'articolazione dei problemi di valutazione economica legati al cambiamento climatico, mettendo in evidenza i risultati, le problematiche e le linee di ricerca future. Le ricerche su questo tema, pur potendo utilizzare teorie e metodi già sviluppati nelle discipline relative all'economia delle risorse, vedono tuttora numerosi problemi aperti, in particolare nel campo dello studio multidisciplinare delle relazioni uomo-ambiente, della valutazione delle politiche e della messa a punto di tempestivi supporti decisionali per il decisore pubblico.

*Parole chiave:* cambiamento climatico, politiche di adattamento, politiche di mitigazione, valutazione economica, sistemi agro-forestali.

## Summary

### EVALUATION OF ECONOMIC IMPACT OF CLIMATIC CHANGE ON AGRO-FORESTRY SYSTEMS

Climate change has a strong influence on agro-forestry systems. Present estimations envisage that changes in climate patterns and extreme events connected to climate change will have greater impacts in the future. This paper seeks to illustrate the articulation of the problems concerning the economic evaluation of climate change, with particular attention to open problems and future lines of research. Research on this topic, though using methods and approaches consolidated in the disciplines of resource economics and evaluation, still have several open problems, particularly in the field of multidisciplinary studies of the man-environmental relations, policy evaluation and development of decision support systems for decision makers.

*Key-words:* climate change, adaptation policy, mitigations policy, economic valuation, agro-forest systems.

## 1. Obiettivi

Il cambiamento climatico è una tema di crescente attualità ed è oggetto di forte dibattito non solamente scientifico. L'interesse scientifico per queste tematiche si è concentrato sull'analisi delle relazioni di causalità tra i fattori di

natura antropica e il riscaldamento globale, sull'identificazione di scenari e sulla misurazione degli impatti che le nuove condizioni climatiche potrebbero determinare sui sistemi fisici, biologici, umani, e sulle attività economiche. Tra le ricadute di tali fenomeni sui sistemi sociali, le conseguenze economiche hanno una notevole

\* Autore corrispondente: tel.: +39 051 2096116; fax: +39 051 2096116. Indirizzo e-mail: fabio.bartolini@unibo.it

importanza. Queste riguardano diverse sfere, quali la capacità di produrre ricchezza, la distribuzione dei redditi e il governo del cambiamento climatico attraverso opportune politiche.

Questo contributo intende illustrare l'articolazione dei problemi di valutazione economica legati al cambiamento climatico, mettendo in evidenza i problemi aperti e le linee di ricerca future.

Il lavoro è organizzato in cinque parti. Il paragrafo 2 descrive i termini del problema e le strategie di intervento. Il paragrafo 3 approfondisce il ruolo dell'analisi economica, il paragrafo 4 riassume i risultati e i criteri di lettura dell'analisi economica e il paragrafo 5 riporta un'analisi delle politiche esistenti. Infine, nel paragrafo 6, sono formulate alcune considerazioni conclusive.

## 2. Il problema e le strategie di intervento

In letteratura sono presenti numerosi studi che analizzano le tematiche relative al cambiamento climatico e le identificano come un problema "reale ed urgente" (Stern et al., 2006). A partire dagli inizi del ventesimo secolo sono stati registrati continui aumenti di temperatura. Questi sono mediamente quantificabili in circa 0,7

°C dagli anni cinquanta ad oggi ed hanno interessato in modo disomogeneo l'intero globo terrestre (Murphy et al., 2004; Brohan et al., 2006; Stern et al., 2006). Nella comunità scientifica è stato raggiunto un certo grado di consenso sulle cause dirette e indirette dell'innalzamento delle temperature, individuate sia nelle emissioni di anidride carbonica e di altri gas legati all'effetto serra (GHGs) nell'atmosfera, sia nei cambiamenti dell'uso del suolo, ad esempio la deforestazione. Entrambi i fattori sono di natura antropica e sono direttamente collegati alle attività economiche e produttive. Nella figura 1 sono rappresentate le relazioni tra l'attività antropica e il cambiamento climatico.

L'innalzamento della temperatura atmosferica e degli oceani sta modificando i sistemi fisici e biologici in tutto il pianeta. Alcuni degli elementi di cambiamento più rilevanti riguardano l'innalzamento del livello del mare, la riduzione delle quantità e l'alterazione della distribuzione delle precipitazioni, la riduzione della biodiversità, con aumento del rischio di estinzione di molte specie animali e vegetali, l'aumento del rischio di carestie e di malattie infettive per milioni di persone ed, infine, danni diretti alla salute umana ed animale, a seguito dell'aumento dei fenomeni meteorologici estremi (Commissione Europea, 2007a).



Figura 1. Relazioni tra emissioni di gas legati all'effetto serra e cambiamento climatico.

Figure 1. Relations between emissions and climate change.

Fonte: Stern et al. (2006) modificato.

Le emissioni prodotte direttamente dall'agricoltura sono pari al 14% del totale delle emissioni di gas legati all'effetto serra, a cui si può aggiungere il 18% che deriva dalla deforestazione e dai cambiamenti di uso del suolo. Le maggiori componenti delle emissioni direttamente collegate alle attività agricole sono costituite dal rilascio di ossido di azoto (N<sub>2</sub>O) durante il processo di nitrificazione e di denitrificazione a seguito della concimazione (38%) e dalla produzione di metano derivante dalla fermentazione enterica dei ruminanti (31%). La parte restante deriva dalla coltivazione del riso (11%), dallo smaltimento delle deiezioni animali (7%) e da altre attività (13%), come la bruciatura di residui colturali (US-EPA, 2006)<sup>1</sup>.

Il raggiungimento del consenso scientifico sull'esistenza e sulle cause del cambiamento climatico ha stimolato i decisori ad intervenire con politiche volte alla riduzione delle emissioni e al contenimento degli effetti del riscaldamento globale. Le possibili strategie a disposizione dei decisori sono di tre tipi: a) non-intervento (*business as usual*), b) adattamento e c) mitigazione.

La prima strategia consiste nella scelta di non mettere in atto alcun intervento per la riduzione delle emissioni nell'atmosfera. In questa situazione i livelli di produzione e i consumi non sono vincolati da politiche aggiuntive specifiche; ciò non impedisce che subiscano alterazioni a seguito degli impatti del cambiamento climatico. Questa strategia rappresenta la realtà controfattuale con la quale si confrontano le strategie di adattamento<sup>2</sup> e di mitigazione.

Le strategie di adattamento rappresentano gli aggiustamenti volti alla diminuzione della vulnerabilità dei sistemi agli effetti del cambiamento climatico (Stern et al., 2007). Le strategie di adattamento comprendono meccanismi autonomi e meccanismi pianificati (IPCC, 2007b). I primi sono costituiti da adattamenti generati dalle forze di mercato e da comportamenti spontanei, mentre i secondi corrispondono a politiche specifiche. Le strategie di adattamento sono rilevanti in agricoltura, in quanto è possibile contenere gli effetti del riscaldamento globale mediante diversi meccanismi, tra i quali l'aumento delle superfici irrigue, l'uso di maggiori volumi irrigui, le modifiche delle successioni colturali, l'adozione di nuove colture e l'ingegneria genetica (ad esempio con lo sviluppo

di varietà tolleranti la siccità) (Tol et al., 1998).

Le strategie di mitigazione si riferiscono agli interventi che hanno per obiettivo l'abbattimento delle emissioni (IPCC, 2007c). Le politiche di mitigazione sono riconducibili a sistemi di *pricing*, ovvero tassazione delle emissioni, restrizione delle quantità di emissione (permessi, quote) e definizione dei diritti di proprietà tra inquinatore e inquinato (Stern et al., 2006). Rientrano in questa strategia anche gli investimenti in innovazione, ricerca e sviluppo al fine di identificare e promuovere il ricorso a fonti energetiche alternative non inquinanti, ad esempio l'idrogeno.

### 3. Valutazione dell'impatto economico

L'approccio economico prevalente utilizza la valutazione monetaria al fine di misurare i cambiamenti di benessere e la fattibilità delle azioni dell'amministrazione pubblica (Spash, 2005). Il processo di valutazione economica è rappresentabile come la sequenza di quattro fasi (EEA, 2007). La prima fase consiste nella definizione di una *baseline* al momento della stima, espressa come "fotografia" dei valori di alcuni indicatori socio-economici rappresentativi, tra cui popolazione, produzioni, tecnologie e consumi. La seconda fase è basata sulla modellizzazione dello scenario socio-economico che rappresenta l'evoluzione della *baseline* nel futuro (scenario *business as usual*). Questa fase identifica l'evoluzione nel tempo (50-100 anni) degli indicatori socio-economici usati nella fase precedente per misurare le condizioni di *baseline*. La terza fase consiste nella identificazione di scenari alternativi rispetto allo scenario di *business as usual* e nella valutazione degli effetti di

<sup>1</sup> Per un'analisi esaustiva delle emissioni e degli impatti per il settore agricolo si veda Olesen e Bindi (2002) e IPCC (2007a). I dettagli di questi effetti sono ampiamente trattati dai contributi di altri ambiti disciplinari. Di seguito ci si soffermerà pertanto principalmente sui loro effetti economici.

<sup>2</sup> Con riferimento alla valutazione delle politiche, la strategia *business as usual* rappresenta la *Baseline*; la sua identificazione consente di poter misurare gli effetti addizionali delle politiche, isolando, nella valutazione, gli effetti determinati dall'inerzia dei sistemi. Per approfondimenti si veda Gallerani (2008).

questi scenari. Gli scenari alternativi sono definiti da ipotesi di modifica delle variabili che erano state mantenute costanti nello scenario *business as usual* (temperature medie, variabilità delle temperature, pattern delle precipitazioni ed eventi estremi). Gli effetti di tali variabili negli scenari di cambiamento climatico vengono quantificati mediante analisi degli impatti fisici (es. modelli che simulano le variazioni delle rese e delle produzioni agricole o studi epidemiologici che legano la salute umana ad aumenti della temperatura) o mediante analisi econometriche (es. modelli che simulano comportamenti umani, come l'attitudine ad investire)<sup>3</sup>. Nonostante la valutazione sia strutturata per isolare gli effetti dell'evoluzione delle variabili socio-economiche da quelli relativi al cambiamento climatico, nella modellizzazione è necessario tenere conto anche delle interrelazioni tra i due gruppi di variabili (ed. un aumento della popolazione corrisponde ad un incremento dei consumi e quindi a maggiori emissioni nell'atmosfera).

Infine nella quarta fase vengono monetizzati gli impatti del cambiamento climatico, espressi come differenza tra i valori delle variabili degli indicatori economici rispetto allo scenario *business as usual* a seguito dell'incremento delle temperature e degli altri effetti legati al cambiamento climatico<sup>4</sup>.

#### 4. Risultati e interpretazione della valutazione economica

I risultati delle valutazioni economiche sul cambiamento climatico sono espressi come costi totali o costi marginali. In questo paragrafo vengono dapprima analizzati i costi totali e successivamente i costi marginali.

I costi totali derivano dal confronto, descritto nel precedente paragrafo 2, tra lo scenario di *business as usual* e scenari alternativi di intervento. Il costo totale del cambiamento climatico ( $FC$ ) è dato dalla differenza tra il costo del non intervento ( $K_i$ ), il saldo tra i benefici ( $B_a$ ) e i costi ( $K_a$ ) dell'adattamento e il saldo tra i benefici ( $B_m$ ) e i costi ( $K_m$ ) della mitigazione.

$$FC = K_i - (B_a - K_a) - (B_m - K_m)$$

Il saldo tra i benefici e i costi dei singoli interventi di adattamento e mitigazione è utiliz-

zato per valutare la convenienza all'implementazione di specifiche politiche. Un'ulteriore grandezza utilizzata è il costo residuale ( $RC$ ), definito come:

$$RC = K_i - B_a - B_m$$

Esso rappresenta quella parte del costo del cambiamento climatico che non è eliminato dalle politiche di adattamento e di mitigazione ipotizzate nello scenario. Pertanto può essere considerato un indicatore della gravità del cambiamento climatico e della necessità di intervento.

Le tre strategie (non-intervento, mitigazione, adattamento) ed i relativi costi sono fortemente correlate collegati tra di loro. Ad esempio, il non-intervento è influenzato dai meccanismi di adattamento spontanei; dal canto suo, l'adattamento può servire a ridurre gli effetti negativi non mitigabili.

Il quadro logico presentato per il calcolo del costo totale del cambiamento climatico fornisce la base per l'analisi costi-benefici (ACB) delle politiche di intervento. L'analisi costi benefici è uno strumento di supporto alle decisioni basato sul confronto intertemporale tra costi e benefici di una decisione. Nel caso in esame, una strategia o un insieme di strategie è conveniente se il costo totale del cambiamento climatico, a seguito dell'attivazione della strategia, è inferiore al costo del non-intervento. Tra diverse alternative di intervento risulta più conveniente quella che genera il più basso costo totale del cambiamento climatico.

Al fine di ottenere un *benchmark* comparabile tra i diversi studi, la maggior parte delle stime del costo sociale totale è stata riferita allo stesso target di emissioni. Quello più frequente è riconducibile a concentrazioni di  $CO_2$  nell'atmosfera doppie rispetto a quelle dell'epoca pre-industriale (1800) identificate in 550 ppm di  $CO_2$ . Per quanto riguarda la lunghezza dell'orizzonte temporale, le valutazioni considerano normalmente gli effetti fino all'anno 2100.

<sup>3</sup> Per un approfondimento sulla identificazione della *baseline*, degli scenari di *business as usual* e di cambiamento climatico si veda Russ et al. (2007) e i lavori dell'IPCC (2007a).

<sup>4</sup> Per una formulazione matematica dell'analisi economica e delle relazioni tra gli impatti economici e l'aumento delle temperature si veda Pearce (2003).

Tabella 1. Costi sociali aggregati derivanti dal cambiamento climatico (% del PIL).

Table 1. Aggregate social cost of Climate Change (% of GDP).

Incremento di temperatura corrispondente a 2xCO <sub>2</sub> rispetto all'epoca pre-industriale	Pearce et al. (1996)	Mendelsohn et al. (1999)		Nordhaus e Boyer (2000)	Tol (2002)
	2,5°C	1,5°C	2,5°C	2,5°C	1,0°C
Paesi sviluppati	-	+0,12	+0,03	da -0,5 a +0,4	
Paesi meno sviluppati	-	+0,05	-0,17	da -0,2 a -4,9	
Mondo	da -1,5 a -2,00	+0,10		-1,5	+2,3

Fonte: Pearce (2003).

Nella tabella 1 sono riportati i valori di alcune stime di costo totale comparabili tra loro.

I risultati mostrano un'estrema variabilità nella quantificazione dei costi sociali totali. La variabilità deriva sia dalla stima dell'aumento delle temperature all'aumento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub>, sia dalla interpretazione degli impatti economici collegati all'aumento della temperatura. A parità di concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, diversi autori hanno ipotizzato incrementi di temperature medie da 1 a 2,5 °C. Inoltre, a parità di incrementi di temperatura, sono stati stimati diversi range di variazione del PIL, che, in aggiunta possono assumere direzione diversa (aumento/diminuzione) a seconda della temperatura ipotizzata. Infatti, con incrementi delle temperature medie di 1 °C sono stati stimati aumenti del PIL mondiale pari al 2,3%, mentre nel caso di aumenti di temperature maggiori sono state stimate riduzioni del PIL mondiale pari al 2%.

Il costo marginale sociale corrisponde al Va-

lore Attuale Netto (VAN<sup>6</sup>) dei flussi di costi e benefici generati, nell'orizzonte temporale considerato (i prossimi 100 o più anni), dai cambiamenti climatici causati dall'emissione (al momento della stima) di una tonnellata aggiuntiva di carbonio (C). La stima dei costi e benefici marginali sociali consente sia di identificare il livello di inquinamento ottimale, sia di supportare il disegno di strumenti di politica capaci di raggiungere tale obiettivo (es. il livello ottimale di una tassa) (Pearce e Turner, 1989).

I lavori orientati al calcolo dei costi marginali sociali riportano risultati compresi tra 5 e 850 \$ per la riduzione di una tonnellata di C (figura 2).

Analogamente a quanto riscontrato per i costi totali, anche le valutazioni dei costi marginali presenti in letteratura sono estremamente variabili. Esse, inoltre, sono di difficile comparazione in quanto gli autori hanno sviluppato le valutazioni sulla base di diverse assunzioni, a volte non completamente reperibili dai lavori pubblicati. Un tentativo di analisi aggregata delle stime esistenti è stato compiuto recentemente da Tol (2005). L'autore ha analizzato ed adattato 30 stime di costo marginale sociale presenti in letteratura, identificando un valore modale del costo marginale pari a 2 \$/t di C, un valore mediano corrispondente a 14 \$/t di C ed un valore medio di 93 \$/t di C, mentre il novantacinquesimo percentile assume un valore pari a 350 \$/t di C.

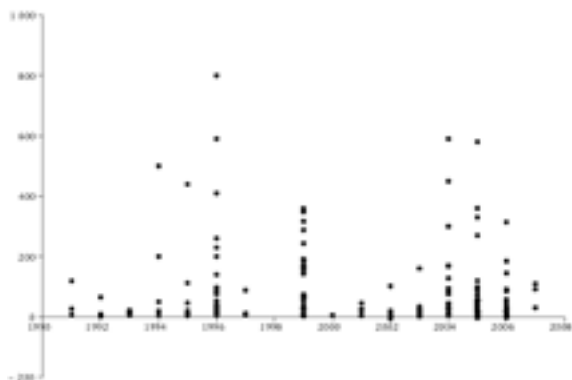


Figura 2. Costi sociali marginali per l'emissione di carbonio nell'atmosfera (\$/T di C).

Figure 2. Marginal social cost of the carbon emissions (\$/T of C).

Fonte: EEA (2007).

<sup>5</sup> Il target di concentrazione più frequentemente utilizzato in letteratura si riferisce a 550 ppm di CO<sub>2</sub> equivalenti, che corrisponde al doppio della concentrazione di CO<sub>2</sub> rispetto all'epoca pre-industriale.

<sup>6</sup> Il VAN è il più noto parametro di valutazione utilizzato nell'ACB. È dato dalla differenza tra i flussi di benefici attualizzati ed i flussi di costo attualizzati generati da una decisione/investimento.

L'ACB offre una lettura sintetica degli impatti economici basata su parametri di immediata comprensione, quali il valore monetario degli effetti. L'interpretazione corretta dei risultati richiede tuttavia la consapevolezza delle limitazioni e dei punti di debolezza di tale modello. Nella tabella 2 sono riportate le principali assunzioni e la caratterizzazione metodologica di alcuni lavori recenti.

I metodi utilizzati per la quantificazione dei costi e dei benefici appartengono agli strumenti classici dell'economia delle risorse. Tali metodi sono principalmente suddivisi in due categorie, ovvero metodi diretti e metodi indiretti (mercati surrogati). Il primo gruppo di metodi permette di stimare direttamente il valore di un bene o di un servizio sia attraverso l'analisi diretta degli adattamenti del mercato (prezzi di mercato, spese di preservazione della risorsa, costi di recupero), sia stimando una disponibilità a pagare (WTP) o ad accettare (WTA) mediante la creazione di un mercato ipotetico (valutazione contingente). Il secondo gruppo di metodi permette di attribuire indirettamente un valore ad un bene o servizio attraverso la misurazione indiretta del costo per surrogare tale bene o il servizio (Kuik et al., 2006). Tra questi

metodi rientrano il costo del viaggio, il prezzo edonico, nel caso in cui esista un mercato e la *choice experiment* nel caso sia simulato un mercato ipotetico. Inoltre è utilizzato il metodo del *benefit transfert* (Kuik et al., 2006) per ottenere valori di disponibilità a pagare o di disponibilità ad accettare in aree in cui manchino studi originali. Il metodo si basa sull'adattamento di stime riguardanti contesti territoriali diversi da quelli in cui si pone il problema di valutazione. Per un'analisi approfondita dei metodi di valutazione dei beni ambientali si veda Freeman (2003).

I metodi illustrati ed i relativi risultati non sono esenti da problemi. Le debolezze più rilevanti possono addebitarsi al fatto che le basi teoriche di questi metodi furono sviluppate per l'analisi di progetti o politiche su piccola scala. Ne deriva che la loro applicazione è robusta per piccoli cambiamenti dei livelli di reddito e per contesti territoriali limitati. Al contrario, questi metodi evidenziano i loro limiti quando sono utilizzati per valutare fenomeni globali, come il cambiamento climatico.

I principali punti di debolezza degli approcci adottati riguardano i seguenti aspetti:  
a) incertezza circa l'identificazione degli scena-

Tabella 2. Aspetti metodologici in alcuni studi recenti.

Table 2. Methodological aspects considered in some recent papers.

Autori	Metodo usato nella valutazione		Stima		Costi di adattamento	Aggregazione temporale		Aggregazione spaziale		Incertezza e rischio	
	WTA/WTP	Benefit Transfert	Impatti diretti	Impatti indiretti		Tasso costante	Tasso decrescente	Con equity weights	Senza equity weights	Analisi di sensitività	Incertezza statistica
Bosello et al 2004 a,b		X	X	X	X				X	X	
Darwin e Tol 2001		X	X	X	X	X			X	X	
Li et al 2005	X									X	
Newell e Pizer 2004					X	X	X		X	X	X
Nordhaus e Boyer 2000		X	X	X	X		X		X	X	
Rive et al. 2005		X	X	X	X				X		
Stern et al. 2006		X	X		X	X			X		
Tol 2005					X	X	X	X	X		
Tol e Dowlatabadi 2001	X		X	X	X				X	X	X

Fonte: Kuik et al. (2006) modificata.

Tabella 3. Stime degli impatti del cambiamento climatico.

Table 3. Estimations of the impact of Climate Change.

Incertezze nella previsione dei cambiamenti climatici	Incertezza nella valutazione economica		
	Mercato (es. beni alimentari, mercato dell'acqua)	Non-Mercato (es. salute umana, biodiversità)	Effetti sociali contingenti (es. migrazione, equità, conflitti)
Proiezioni (es. innalzamento del livello del mare, aumento temperatura)	La prevalenza delle stime appartiene a queste categorie		Alcuni effetti plausibili sono stati identificati, ma non adeguatamente valutati nelle stime
Previsioni plausibili (rischio di errore limitato) (es. siccità, alluvioni, tempeste)	Qualche modello ha identificato scenari plausibili. Tuttavia la prevalenza degli studi si riferisce a livelli target di emissioni (2xCO <sub>2</sub> )		
Cambiamenti dei Sistemi ed eventi estremi (es. eventi catastrofici)	Pochi studi per lo più esplorativi. Si veda Nordhaus e Boyer (2000); Ceronisky et al. (2005)		Nessuno studio credibile

Fonte: Downing et al. (2005), modificata.

- ri di previsione del cambiamento climatico;
- b) monetizzazione degli effetti del cambiamento climatico;
- c) modellizzazione dei meccanismi di effetto del cambiamento climatico e delle ipotesi di adattamento/mitigazione;
- d) aggregazione temporale;
- e) aggregazione spaziale;
- f) interazione tra le politiche.

Un punto ampiamente discusso in letteratura è la copertura e la completezza delle valutazioni degli impatti dei cambiamenti climatici in relazione alla plausibilità degli scenari di cambiamento climatico e alla monetizzazione degli impatti.

I risultati dei modelli impiegati sono in primo luogo legati all'incertezza nella previsione degli impatti fisici derivanti dal cambiamento climatico, specialmente per gli "eventi estremi" (a).

Ad essi si aggiungono delle difficoltà nella fase di trasformazione in moneta di tali impatti fisici (b) (Watkiss et al., 2005). Nella tabella 3, gli studi di valutazione economica del cambiamento climatico sono classificati in relazione alla plausibilità degli scenari relativi agli effetti del cambiamento climatico e alle incertezze degli elementi valutati nell'analisi economica.

Da quest'ultimo punto di vista, le stime degli impatti del cambiamento climatico esistenti in letteratura sono in genere incomplete. Infatti,

la maggior parte delle valutazioni economiche si è limitata all'analisi di quei beni per i quali esiste un mercato o dei beni senza mercato per i quali è possibile identificare una disponibilità a pagare e facendo riferimento ai soli fenomeni di cambiamento climatico ritenuti meno incerti. Al contrario, non vi sono studi attendibili che includano sia plausibili monetizzazioni delle contingenze sociali (migrazione, conflitti sociali), sia gli effetti di eventi estremi.

All'interno delle componenti valutate, le stime si differenziano a seconda del modello di simulazione utilizzato (c)<sup>7</sup> (FUND; PAGE; RICE/DICE; MERGE ecc) (Whatkiss, 2004). Tali modelli si differenziano infatti per l'adozione di diverse ipotesi relativamente alla definizione della *baseline*, alla scelta degli indicatori socio-economici, alla scelta degli scenari di cambiamento climatico, al livello di analisi territoriale, al tipo di ottimizzazione e all'inclusione dei meccanismi di adattamento.

<sup>7</sup> Esistono oltre venti modelli in letteratura sviluppati per quantificare i costi sociali relativi al cambiamento climatico. Si tratta spesso di modelli ottimizzanti, spesso dinamici o recursivi distinguibili in modelli con approccio bottom-up o approccio top-down (IPCC, 2007c).

L'aggregazione temporale (d) ha un ruolo estremamente importante nelle valutazioni relative al cambiamento climatico per almeno due motivi:

- l'entità degli orizzonti temporali considerati, che variano in genere tra 50 e 100 anni, ma possono anche andare oltre;
- il fatto che le cause e gli effetti del cambiamento climatico sono separati nel tempo, ovvero le strategie di mitigazione e di adattamento vengono messe in atto oggi o nel medio-breve periodo, mentre le loro ricadute (benefici e costi) si verificano nel lungo periodo.

Per rendere comparabili tra loro i costi e i benefici futuri delle scelte effettuate oggi, i flussi annuali vengono scontati facendo ricorso al saggio di preferenza temporale. Il saggio di preferenza temporale quantifica il peso che hanno le preferenze future rispetto alle preferenze attuali (Pearce, 2003). Formalmente lo sconto dei flussi monetari futuri è basato sulla moltiplicazione dei benefici e dei costi per un coefficiente di sconto

$$\frac{1}{(1+r)^n}$$

dove  $r$  rappresenta il saggio di preferenza temporale e  $n$  l'anno in cui si verifica il costo o il beneficio. Vi sono due ragioni per scontare i costi e i benefici futuri: a) gli individui preferiscono consumare oggi piuttosto che domani; b) il capitale investito, nel tempo, fornisce produzioni e redditi (Davidson, 2006). Nella letteratura sul cambiamento climatico vi è un'ampia discussione relativamente al valore e all'andamento nel tempo del saggio di preferenza temporale da utilizzare (Kuik et al., 2006; Guo et al., 2006). Per quanto riguarda il valore, in letteratura sono stati utilizzati saggi di sconto compresi tra l'1% e il 3%. Circa l'andamento nel tempo, possono essere usati saggi di preferenza temporali costanti o decrescenti. Il primo penalizza maggiormente le generazioni future rispetto al secondo. I tassi di sconto decrescenti utilizzati nelle stime di costo sociale presenti in letteratura, sono compresi tra il 7% e il 3% nei primi anni della stima e scendono fino all'1% nel lungo periodo (Gau et al., 2006). Recentemente Guo et al. (2006) hanno confrontato i costi marginali sociali utilizzando sia il tasso di sconto sociale costante, sia il tasso decrescente. I risultati ottenuti con i due metodi sono forte-

mente diversificati (58\$/tC nel primo caso e 185\$/tC nel secondo caso).

Per loro natura le cause e gli effetti del cambiamento climatico non sono collegabili a specifiche unità territoriali, ma sono globali. Un punto rilevante dell'analisi economica consiste nel fatto che la globalità delle problematiche relative al cambiamento climatico, rende necessaria la confrontabilità tra i costi e i benefici in Paesi caratterizzati da diversi livelli di sviluppo (e). L'espedito più diffuso per garantire la confrontabilità è costituito dagli *equity weights*, ovvero "pesi" che tengono conto dell'utilità marginale decrescente della spesa per consumi in aree diverse. La pesatura si ottiene moltiplicando i valori di WTP o WTA ottenute in ciascuna area per i relativi *equity weights*. Applicando gli *equity weights* viene incrementato il valore dei costi sociali del cambiamento climatico nei Paesi più poveri. Tecnicamente, la necessità di pesatura deriva dal fatto che la disponibilità a pagare o ad accettare è funzione del reddito dei singoli individui o del Paese. Inoltre, per paesi più poveri è teoricamente fondato supporre che la stessa unità di valore monetario abbia una utilità superiore rispetto ai paesi più ricchi, in quanto il reddito è utilizzato prioritariamente per beni e servizi di prima necessità. Inoltre la pesatura esprime un concetto di equità, in quanto i Paesi più poveri sono quelli più vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico (Kuik et al., 2006), a seguito della localizzazione geografica, dei sistemi economici meno sviluppati e della minore capacità di adottare strategie di adattamento (Watkiss et al., 2005). In un recente lavoro Tol (2005) confronta i costi marginali sociali in presenza e in assenza di *equity weights*. La pesatura determina un incremento dei costi sociali da 10\$/t di C a 54 \$/t di C.

La globalità e la multisettorialità delle problematiche relative al cambiamento climatico non consentono una facile valutazione degli impatti di ogni singola politica (f), in quanto le politiche di adattamento e mitigazione determinano effetti indiretti sui mercati dei prodotti modificando ad esempio le produzioni, gli scambi, i trasporti ecc. Inoltre, altre politiche non direttamente orientate a contrastare gli effetti del cambiamento climatico, ad esempio la rinaturalizzazione o la direttiva nitrati, generano impatti indiretti sulla quantità di emissioni cambian-



do gli usi del suolo e le quantità di input immessi nei processi produttivi.

Le incertezze e i limiti delle valutazioni ora esposti non consentono un uso deterministico dell'ACB nel produrre direttamente un giudizio circa la decisione di attuare o no una politica. L'ACB, tuttavia, rappresenta un importante strumento di supporto alle decisioni in quanto permette di delinearne i termini del problema e di fornire elementi di giudizio basati sulla consapevolezza del valore delle risorse in gioco.

In diversi casi si preferisce adottare il criterio dell'analisi costi-efficacia. In tal caso la misura ritenuta migliore è quella che, a parità di risultati, presenta il costo minore. Anche questo orientamento, sebbene meno ambizioso in termini di stima dei benefici, risponde ad un criterio di efficienza puramente economica.

A fini operativi, la scelta della strategia e dello strumento di politica dipende da almeno altri due criteri a) l'analisi degli effetti distributivi in termini di equità e giustizia, sia all'interno della società, sia tra le generazioni e b) la fattibilità istituzionale, ovvero la legittimità e l'accettabilità degli strumenti (IPCC, 2007c).

## 5. Politiche per la riduzione delle emissioni

Questa articolazione dei meccanismi di valutazione economica e la complessità del processo con cui gli elementi di valutazione contribuiscono al processo decisionale, possono spiegare la varietà e la diversa tempistica con cui i diversi paesi e la comunità mondiale hanno reagito al fenomeno del cambiamento climatico.

L'amministrazione pubblica ha la possibilità di intervenire nel ridurre le emissioni di gas legati all'effetto serra mediante strumenti di politica coercitivi, strumenti misti e strumenti volontari (Howlett e Ramesh, 1995) che riflettono l'allocatione dei diritti di proprietà tra inquinatore e inquinato. Più in dettaglio gli strumenti di politica per ridurre le emissioni possono essere ricondotti alle seguenti tipologie: a) tasse, b) regolamenti e standard; c) accordi volontari; d) permessi negoziabili; e) sussidi e incentivi; f) strumenti di sensibilizzazione e g) attività di Ricerca e Sviluppo (Hahn, 1989; IPCC, 2007c). Questi strumenti sono stati applicati sia a livello nazionale sia a livello internazionale, mediante decisioni individuali, accordi bilaterali o

multilaterali e in tutto il mondo si possono contare oltre mille interventi, mediante politiche di mitigazione o di adattamento implementate a partire dagli anni ottanta<sup>8</sup>.

La politica più discussa, sia per la complicata implementazione, sia per la moltitudine degli attori coinvolti, è il protocollo di Kyoto. A partire dal summit mondiale della terra su ambiente e sviluppo, tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992, alcuni Paesi, definiti successivamente Annex 1 (Paesi più ricchi più i Paesi dell'ex blocco sovietico) decisero di limitare la concentrazione dei gas responsabili dell'effetto serra a livelli inferiori a quelli registrati nel 1990. I meccanismi proposti all'interno del protocollo di Kyoto prevedono la definizione di quantitativi massimi di emissioni e la possibilità di instaurare un mercato delle emissioni con gli altri Paesi che hanno ratificato il protocollo. Agli stati membri è stato concesso di ottenere dei crediti di carbonio per incrementare il quantitativo assegnato mediante la realizzazione di progetti di riduzione delle emissioni nei Paesi non compresi nell'Annex 1 all'interno dei *Clean Development Mechanism* (CDM) o della *Joint Implementation* (JI)<sup>9</sup>.

La possibilità di scambiare crediti suppletivi originariamente non prevista dal trattato di Rio, fu inserito su richiesta dei paesi più sviluppati. L'introduzione di questi meccanismi produce un abbattimento dei costi sociali per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni sfruttando la differenza di costo marginale di abbattimento tra i settori produttivi e tra i diversi Paesi.

Il calcolo (o la percezione) dei costi/benefici sociali marginali di abbattimento ha portato a risultati opposti in diversi paesi, con l'attesa

<sup>8</sup> Considerata l'eterogeneità e la vastità delle politiche di adattamento e mitigazione implementate si è ritenuto di limitare l'analisi al solo protocollo di Kyoto e alle politiche europee, con particolare riferimento al settore agricolo. Per un'analisi completa delle politiche implementate si veda il database delle politiche di mitigazione e di adattamento dell'Agenzia Internazionale per l'Ambiente al link: <http://www.iea.org/textbase/pnl/?mode=cc>.

<sup>9</sup> Per la completa documentazione dei meccanismi previsti dal protocollo di Kyoto e della sua implementazione si veda il sito: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php).

di un beneficio netto in alcuni casi e di un costo netto in altri. Questo ha giustificato opposti comportamenti circa la ratifica del protocollo di Kyoto, sfociati, rispettivamente, nella scelta di accettare o respingere l'accordo (Nordhaus e Boyer, 1999; Pearce, 2003).

In Europa sono state implementate sia misure intersettoriali di riduzione delle emissioni (*cross-cutting measures*), sia misure settoriali. In merito alle prime misure sono stati applicati i meccanismi previsti dal protocollo di Kyoto come i permessi negoziabili (direttiva CE 87/2003); il CDM, le JI (direttiva CE 101/2004) e il monitoraggio e gli ulteriori meccanismi di implementazione previsti dal protocollo di Kyoto (decisione CE 280/2004).

In merito alle misure settoriali, per il settore agricolo non vi sono piani specifici per la riduzione delle emissioni, ma sono previste azioni all'interno dei Piani di Sviluppo Rurale per favorire il sequestro di carbonio dall'atmosfera, principalmente mediante il rimboschimento e contributi per la produzione di colture energetiche all'interno della Politica Agricola Comune (PAC). Inoltre, anche la direttiva nitrati (direttiva CEE 676/1991), originariamente prevista per migliorare la qualità delle acque, prevede misure che, limitando l'uso dei concimi azotati nei suoli, riducono il rilascio di ossido di azoto nell'atmosfera.

Nonostante l'agricoltura possa ritenersi tra i settori che finora hanno contribuito in modo più rilevante alla riduzione di emissione di gas serra, nei paesi sviluppati (IPCC, 2007c), l'ulteriore miglioramento del suo ruolo in tal senso costituisce uno degli elementi centrali dell'agenda politica (Commissione Europea, 2007b). Ne è esempio la proposta di *health check* della PAC formulata dalla Commissione Europea. Questa proposta contiene almeno tre linee di azione riguardanti le relazioni tra agricoltura e cambiamento climatico, ovvero la creazione di nuove misure di mitigazione ed adattamento al cambiamento climatico nell'ambito delle misure di sviluppo rurale; l'incorporamento degli obiettivi di riduzione delle emissioni nelle misure di condizionalità ambientale; il riesame del sistema di supporto alle colture energetiche tenuto conto degli aumenti dei prezzi dei prodotti agricoli. Cambiamento climatico, gestione dell'acqua e biodiversità costituiscono tre delle nuove sfide identificate dall'UE per le politiche nel settore agricolo; di queste, il cambiamento cli-

matico è ritenuto l'elemento centrale, che influenza tutte le altre (Commissione Europea, 2007b).

## 6. Conclusioni

Il cambiamento climatico, per le sue caratteristiche, sollecita uno sforzo di ricerca che necessariamente deve essere olistico, multidisciplinare ed interdisciplinare. All'interno di tale sforzo, l'analisi economica porta le sue specificità, contribuendo in diversi ambiti, che vanno dal mero calcolo degli impatti economici attesi, al contributo alla definizione delle reazioni al cambiamento climatico attraverso il supporto al disegno delle politiche.

L'analisi costi benefici è il principale strumento di valutazione utilizzato, che consente di fornire un supporto alle politiche indirizzando le decisioni soprattutto sulla base di criteri di efficienza economica. Inoltre, tale strumento costringe ad affrontare (seppure in modo non risolutivo) problematiche complesse quali l'equità nella distribuzione di costi e benefici tra diverse aree geografiche e tra generazione presente e generazioni future, la dipendenza del benessere sociale dalla disponibilità di beni di consumo, servizi ambientali, salute ecc. (Pearce, 2003; Spash, 2005). Tuttavia le valutazioni economiche considerano in maniera parziale e imperfetta le motivazioni politiche, culturali ed etiche; pertanto non forniscono dei criteri di scelta assoluti per i decisori quanto piuttosto informazioni per orientare le scelte (Pearce, 2003).

Le ricerche su questo tema, pur potendo utilizzare metodi ed approcci già sviluppati dalle discipline valutative e di economia delle risorse, vedono tuttora numerosi problemi aperti, in particolare nel campo dello studio multidisciplinare delle relazioni uomo-ambiente, della valutazione e gestione del rischio, della capacità di trattare fenomeni globali e di lungo periodo e della messa a punto di tempestivi supporti decisionali per il decisore pubblico.

Al di là delle specificità metodologiche, tuttavia, la sfida maggiore delle scienze economiche si identifica con la sollecitazione di una visione proattiva, in cui l'azione umana costituisce una componente positiva della soluzione dei problemi, piuttosto che un mero elemento generatore di danno ambientale.

## **Bibliografia**

- Berrens R.P., Bohara A.K., Jenkins-Smith H.C., Silva C.L., Weimer, D.L. 2004. Information and Effort in Contingent Valuation Surveys: Application to Global Climate Change using National Internet Samples. *J. Environ. Econ. Manage.*, 47:331-363.
- Bosello F., Roson R., Tol R.S.J. 2004a. Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health. Working Paper FNU-57, Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Bosello F., Lazzarin M., Roson R., Tol R.S.J. 2004b. Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Sea Level Rise. Working paper o FNU-38. Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Brohan P., Kennedy J.J., Haris I., Tett S.F.B., Jones P.D. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.* 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548, 2006.
- Ceronsky M., Anthoff D., Hepburn C., Tol R.J. 2005. Checking the price tag on catastrophe: the Social cost of carbon under non-linear climate response. Working paper FNU-87. Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Commissione Europea 2007a. L'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa – quali possibilità di intervento per l'UE. Documento n. COM (2007) 354.
- Commissione Europea 2007b. Preparing for the “Health Check” of the CAP reform. Documento n. COM (2007) 722.
- Darwin R.F., Tol R.S.J. 2001. Estimates of the Economic Effects of Sea Level Rise. *Environ. Res. Econ.*, 19:113-129.
- Davidson M.D. 2006. A social discount rate for climate damage to future generations based on regulatory law. *Climatic Change*, 76:55-72.
- Downing T.E., Anthoff D., Butterfield R., Ceronsky M., Grubb M., Guo J., Hepburn C., Hope C., Hunt A., Li A., Markandya A., Moss S., Nyong A., Tol R.S., Watkiss P. 2005. Social Cost of Carbon: A closer look at uncertainty. Final project report.
- European Environmental Agency 2007. Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation. EEA Technical report n. 13/2007.
- Frankhauser R., Smith J., Tol RSJ. 1999. Weathering Climate change: some simples rules to guide adaptations decision. *Ecol. Econ.*, 30:67-78.
- Freeman A.M. 2003. The measurement of environmental and resources values. Theory and methods. Second edition. Resources for the future, Washington DC, USA.
- Gallerani V. 2008. Nuove problematiche per la valutazione delle politiche agricole. In: Marone E. (ed.): Riforma della PAC, evoluzioni tecnologiche e trasformazioni ambientali: aspetti economici, estimativi, giuridici e urbanistici. Atti del XXXVII Convegno CESET, 19-20 ottobre 2007, Ferrara (in stampa).
- Guo J., Hepburn C.J., Tol R.S.J., Anthoff D. 2006. Discounting and the social cost of carbon; a closer look at uncertainty. *Environ. Sci. Policy*, 9:205-216.
- Hahn RW. 1989. A primer on Environmental Policy Design. Harwood Academic Publisher.
- Hanemann WM. 2000. Adaptation and its measurement. *Climate change*, 45:571-581.
- Hersch J., Viscusi W.K. 2006. The Generational Divide in Support for Environmental Policies: European Evidence. *Climatic Change*, 77:121-136.
- Howlett M., Ramesh M. 1995. Studing Public Policy: Policy cycles and policy subsystems. Oxford University Press.
- IPCC, 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007b. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 2007c. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Kuik O., Buchner B., Catenacci M., Goria A., Karakaya E., Tol RSJ. 2006. Methodological aspects of recent climate change cost studies. Working paper FNU-122. Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Li H., Berrens R.P., Bohara A.K., Jenkins-Smith H.C., Silva C.L., Weimer D.L. 2004. Exploring the Beta Model Using Proportional Budget Information in a Contingent Valuation Study. *Ecol. Econ.*, 28:329-343.
- Li H., Berrens R.P., Bohara A.K., Jenkins-Smith H.C., Silva C.L., Weimer D.L. 2005. Testing for Budget Constraint Effects in a National Advisory Referendum Survey on the Kyoto Protocol. *J. Agric. Resour. Econ.*, 30:350-366.
- Mendelsohn R. 1999. The Greening of Global Warming, Washington DC, American Enterprise Institute.
- Murphy J.M., Sexton D.M.H., Barnett D.N., Jones G.S., Webb M.J., Collins M., Stainforth D.A. 2004. Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. *Nature*, 430: 768-772.
- Newell R.G., Pizer W.A. 2004. Uncertain Discount Rates in Climate Policy Analysis. *Energ. Policy*, 32:519-529.

- Nordhaus W.D., Boyer J. 1999. Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of the Kyoto Protocol. *Energy Journal*, 20:131-156.
- Nordhaus W.D., Boyer J. 2000. *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, The MIT Press.
- Olesen J.E., Bindi M. 2002. Consequences of climate change for European Agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.*, 16:239-262.
- Pearce D., Turner R.K. 1989. *Economics of Natural Resources and the Environmental*. Hemel Hempstead, Harvester Wheatsheaf.
- Pearce D., Cline W.R., Achanta A., Frnakhauser S., Pachauri R., Tol R.S.J., Vellinga P. 1996. The social costs of climate change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. In: *Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) (ed.): Climate change 1995: Economic and Social Dimension of Climate Change*, Cambridge University Press.
- Pearce DW. 2003. The social cost of carbon and its policy implications. *Oxford Rev. Econ. Policy*, 19:362-384.
- Rive N., Aaheim H.A., Hauge K.E. 2005. *Adaptation and World Market Effects of Climate Change on Forestry and Forestry Products*. Paper presented at the 8<sup>th</sup> Annual Conference on Global Economic Analysis, Lübeck, Germany.
- Russ P., Wiesenthal T., van Regemorter D., Ciscar J.C. 2007. *Global Climate Scenarios for 2030 and beyond. Analysis of Greenhouse Gas Emission Reduction Pathway Scenarios with the POLES and GEM-E<sub>3</sub> models*. JRC references report n. EUR 23032.
- Spash CL. 2005. *Greenhouse economics. Value and ethics*. Routledge.
- Stern N., Peters S., Bakhshi V., Bowen A., Cameron C., Catovsky S., Crane D., Cruickshank S., Dietz S., Edmonson N., Garbett S.-L., Hamid L., Hoffman G., Ingram D., Jones B., Patmore N., Radcliffe H., Sathiyarajah R., Stock M., Taylor C., Vernon T., Wanjie H., Zenghelis D. 2006. *Stern Review: The Economics of Climate Change*. HM Treasury, London.
- Tol R.S.J. 2002. Estimates the damage costs of climate change. Part 1: Benchmark Estimates. *Environ. Res. Econ.*, 21:47-73.
- Tol R.S.J. 2005. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energ. Policy*, 33:2064-2074.
- Tol R.S.J., Frankhauser S., Smith J.B. 1998. The scope for adaptation to climate change: what we can learn from the impact literature? *Global Environ. Chang.*, 8:109-123.
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency), 2006. *Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases*. Document n. EPA 430-R-06-005.
- Watkiss P., Dowing T., Handley C., Butterfield R. 2005. *The Impacts and Costs of Climate Change Report of the EU project financed by European Commission DG. Environmental Modelling support for Future Actions – Benefits and Costs of Climate Change Policies and Measures*. ENV.C.2/2004/0088.