

Gli impatti macroeconomici del cambiamento climatico in Italia. Un'analisi di equilibrio generale.

Roberto Roson

Università Ca' Foscari di Venezia, Fondazione Eni Enrico Mattei,
Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici

Con la collaborazione di Fabio Eboli e Ramiro Parrado, Fondazione Eni Enrico Mattei

Prima versione: Agosto 2007. Rivisto: Novembre 2007

Questo rapporto nasce dalla collaborazione fra APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) e il CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) ed è stato realizzato all'interno del percorso organizzativo per la Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici (CNCC), promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e organizzata da APAT il 12-13 Settembre 2007 a Roma.

Commenti e suggerimenti sono benvenuti all'indirizzo economics@apat.it entro la fine di gennaio.

Nota introduttiva

Questo rapporto nasce da un lavoro di collaborazione fra APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) e il CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) realizzato all'interno del percorso organizzativo per la Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici (CNCC), promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e organizzata da APAT il 12-13 Settembre 2007.

APAT ha ritenuto importante realizzare uno studio sulla valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici e delle relative misure di adattamento in Italia, al fine di fornire una prima analisi e alcuni strumenti metodologici su questa tematica.

I risultati dello studio sono stati raccolti in vari rapporti scientifici di sintesi sulla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici e presentati sia nei workshop preparatori alla Conferenza Nazionale che nella seconda giornata della plenaria della CNCC:

- Le Zone Alpine Italiane: Implicazioni economiche del cambiamento climatico e strategie di adattamento. Saint-Vincent, 2-3 luglio 2007
- La dimensione socio-economica, i costi dell'inazione e le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici sul sistema italiano idrogeologico. Napoli, 9-10 luglio 2007
- La desertificazione, i costi dell'inazione e la valutazione delle opzioni di adattamento al cambiamento climatico. Alghero, 21-22 giugno 2007
- Impatti del cambiamento climatico sulle zone costiere: Quantificazione economica di impatti e di misure di adattamento – sintesi di risultati e indicazioni metodologiche per la ricerca futura, con una appendice su “Valutazione degli impatti del cambiamento climatico in aree costiere italiane: tre casi studio a confronto”. Palermo, 27-28 giugno 2007
- Gli impatti degli eventi estremi idrogeologici sulla vita umana: aspetti metodologici per la valutazione dei costi e delle politiche di intervento. Roma, 25 giugno 2007
- Gli impatti macroeconomici del cambiamento climatico sui vari settori economici e sul commercio internazionale con un modello di equilibrio generale. Roma, 13 settembre 2007 Plenaria CNCC

Durante la Conferenza Nazionale, l'APAT è stata individuata come organismo di supporto tecnico-scientifico necessario allo sviluppo di strategie e piani di adattamento ai diversi livelli territoriali, con funzioni di centro di competenza sugli impatti e sull' adattamento ai cambiamenti climatici.

E' per queste ragioni che APAT e CMCC, coerentemente con le proprie funzioni istituzionali e proseguendo il lavoro avviato con la preparazione della Conferenza sui Cambiamenti Climatici 2007, hanno deciso di collocare on line lo studio sulla valutazione economica degli impatti dei Cambiamenti Climatici, con lo scopo di favorire la conoscenza di documenti già disponibili, sollecitare la trasmissione di contributi e infine raccogliere i suggerimenti e commenti da parte della comunità scientifica di riferimento, da integrare nella versione che sarà prossimamente pubblicata.

Si prega di inviare eventuali commenti e suggerimenti all'indirizzo economics@apat.it entro la fine di gennaio.

Indice

1. LA VALUTAZIONE MACROECONOMICA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	4
2. I MODELLI DI EQUILIBRIO ECONOMICO GENERALE NELLO STUDIO DEGLI IMPATTI CLIMATICI.....	7
3. LA COSTRUZIONE DEGLI ESERCIZI DI SIMULAZIONE	10
3.1 SALUTE UMANA.....	14
3.2 AGRICOLTURA	14
3.3 TURISMO.....	15
3.4 LIVELLO DEI MARI	15
3.5 DESERTIFICAZIONE	16
3.6 ENERGIA	16
4. ILLUSTRAZIONE E DISCUSSIONE DEI RISULTATI.....	17
5. GAP CONOSCITIVI.....	25
6. SINTESI CONCLUSIVA.....	27
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	29

1. La valutazione macroeconomica dei cambiamenti climatici

Per poter valutare i costi e i benefici di una politica nazionale volta a ridurre le emissioni di gas serra e a modificare i sistemi economici, sociali, infrastrutturali in modo che si adattino al cambiamento climatico futuro è necessario quantificare il valore economico degli impatti di tale politica. Per raggiungere questo obiettivo, va calcolato innanzitutto il valore economico degli effetti del cambiamento climatico in assenza di tale politica e successivamente il valore del danno evitato grazie alla politica adottata. Tuttavia, gli impatti del cambiamento climatico sono molteplici e colpiscono vari settori di un sistema economico. Analizzare i vari impatti l'uno indipendentemente dagli altri non è sufficiente, perché si trascurano le interazioni tra i vari effetti e le ripercussioni che un effetto può avere su altri settori di un sistema economico. Ad esempio, l'innalzamento della temperatura media potrà danneggiare il settore turistico italiano. Tuttavia, variazioni negative nella domanda turistica avranno effetti su molti altri comparti dell'economia italiana, sia di segno negativo, sia positivo. Per calcolare il costo dell'impatto del cambiamento climatico sul turismo è necessario tener conto anche di queste ripercussioni, perché queste si rifletteranno in ultima analisi sul prodotto nazionale lordo e quindi sul costo macroeconomico del cambiamento climatico. Allo stesso modo l'innalzamento della temperatura farà variare la domanda di energia e la sua distribuzione tra diversi combustibili (aumenterà ad esempio il consumo di energia elettrica a scapito del consumo di gas e carbone), Questa variazione si ripercuoterà su tutti i settori e sull'interscambio commerciale, modificando il costo iniziale (calcolato solo in base alla variazione della domanda di energia) del cambiamento climatico.

Obiettivo di questo rapporto è, pertanto, quello di aggregare gli impatti parziali già illustrati nei vari rapporti settoriali che fanno parte del lavoro realizzato dal Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici in vista della Conferenza Nazionale sul Clima (si vedano Alberini e Chiabai (2007), Bigano e Pauli (2007), Bosello et al. (2007), Breil et al. (2007), Gambarelli et al. (2007)), pervenendo ad un indicatore di costo aggregato del cambiamento climatico. Questa aggregazione non sarà solo la somma dei vari impatti parziali, ma si terrà conto, nella quantificazione del costo totale, dell'adattamento autonomo dei sistemi economici, ovvero di tutti le ripercussioni che gli impatti parziali possono avere su prezzi e domanda di beni nei vari settori e a livello internazionale. Ciò sarà fatto attraverso un modello di equilibrio generale dell'economia mondiale in cui le varie regioni del mondo, e tra queste l'Italia, interagiscono attraverso le loro scelte di import, export e flussi di capitale. In questo modo si potrà valutare come il cambiamento climatico modifichi una serie di variabili macroeconomiche quali PIL, i prezzi e la produzione industriale, le ragioni di scambio e i flussi commerciali, gli investimenti, eccetera..

La valutazione macroeconomica degli impatti del cambiamento climatico deve partire dal riconoscimento che il sistema economico, determinante il valore delle risorse e dei fattori coinvolti, è esso stesso influenzato (in maniera particolarmente articolata e complessa) dagli shocks associati al cambiamento climatico. Questa constatazione, che sembrerebbe banale, ha delle implicazioni non banali. Il modo più semplice di quantificare monetariamente un impatto climatico che implichi una variazione di risorse nell'economia, è quello di moltiplicare la variazione registrata, o stimata, nello stock di una data risorsa per il prezzo di mercato della stessa (allo stato attuale o in base ad una stima dei valori futuri). Questa metodologia, che tuttora risulta come la più utilizzata, viene talvolta indicata come “metodo del costo diretto”. Essa presenta delle evidenti analogie con le tecniche di valutazione di beni ambientali che non possiedono un mercato esplicito, come un paesaggio o la preservazione di specie in via di estinzione, per i quali si ricorre spesso a stime di valore desunte da valutazioni contingenti o altri metodi simili (si veda Alberini-Chiabai, 2007).

Se, tuttavia, le risorse in oggetto possiedono già un mercato reale che ne determina il valore, assumere come dato il prezzo unitario di riferimento con cui si calcola il valore del danno può risultare molto fuorviante. Supponiamo, ad esempio, che si preveda la distruzione parziale di una risorsa (consideriamo il caso di una foresta). E' noto a tutti che, quanto più una risorsa è scarsa, tanto maggiore tende essere il suo prezzo sul mercato. Dunque, il valore dello stock rimanente sarà, per forza di cose, maggiore di quello che si otterrebbe riducendo proporzionalmente il valore iniziale, in base alla distruzione di quantità fisica di risorse.

E non solo. Come è noto, il valore viene determinato dall'incontro tra domanda ed offerta. Se l'offerta si modifica, potrebbe modificarsi anche la domanda. Il maggior prezzo delle risorse (forestali) si rifletterebbe nel maggior prezzo dei beni che usano queste risorse ai fini produttivi, ad esempio nell'industria del legno e della carta. Questo impatto sarà tanto più significativo quanto più il fattore in questione risulta di difficile sostituzione nel ciclo produttivo. Analogo discorso si potrebbe fare con riferimento alla perdita di competitività dei prodotti in legno e carta, e dei settori che da questi dipendono. Queste altre variazioni possono ridurre ulteriormente la domanda di legno e quindi della risorsa forestale, riducendone, anziché aumentandone, il prezzo.

In ultima analisi, le mutate condizioni in un mercato si ripercuotono in cambiamenti di prezzi e quantità per tutti i mercati collegati, in variazioni di struttura produttiva e di competitività. Il sistema economico è, appunto, un sistema, in cui le diverse componenti sono interdipendenti.

L'effetto finale sul prezzo, e quindi sul valore economico del danno da cambiamento climatico, può essere correttamente calcolato solo dopo aver quantificato tutte le ripercussioni dell'impatto

iniziale, sia sul mercato in oggetto, sia su tutti gli altri mercati collegati, sia sul commercio internazionale.

In questo studio presentiamo alcune stime dell'impatto macroeconomico del cambiamento climatico, riferite principalmente all'Italia. Le stime sono state costruite con l'ausilio di un modello applicato di equilibrio generale dell'economia mondiale. Questo consente di analizzare i cambiamenti indotti dal cambiamento climatico, nelle diverse tipologie di effetto (livello dei mari, desertificazione, domanda di energia,...), non solo sui settori in cui si ha l'impatto iniziale, ma anche sulla struttura del commercio mondiale, e di conseguenza sui meccanismi di feedbacks che passano attraverso variazioni della domanda mondiale.

Si tratta di un lavoro particolarmente innovativo, che tenta di valutare le capacità endogene di adattamento dei sistemi economici. Infatti, a fianco di specifiche politiche di adattamento, che possono essere intraprese da governi ed organizzazioni pubbliche o private, esistono meccanismi di adattamento che passano normalmente attraverso modifiche dei prezzi, e che inducono variazioni nelle strutture di consumo e produzione. Le perdite che il cambiamento climatico infligge a un settore economico possono beneficiare un diverso settore economico, quelle che penalizzano un paese possono avvantaggiarne un altro. La stima macroeconomica del costo del cambiamento climatico dovrà tener conto di tutti questi effetti, reazioni e contro reazioni.

Nella prossima sezione descriveremo lo strumento che sarà utilizzato: un modello di equilibrio economico generale dell'economia mondiale. Nella successiva, utilizzeremo tale modello per quantificare ed aggregare gli impatti specifici già analizzati in altri rapporti (quelli su salute, zone costiere, desertificazione, turismo, energia, eccetera), nonché per quantificare le ripercussioni di tali effetti su altri settori e altri paesi, in modo da pervenire a un indicatore macroeconomico aggregato del costo del cambiamento climatico per l'Italia che tenga conto dell'adattamento autonomo che passa attraverso i mercati. La sezione 4 sarà dedicata ad una illustrazione e discussione dei principali risultati, mentre la sezione 5 delinea i limiti del lavoro fatto, i principali gap conoscitivi e suggerirà nuove direzioni di ricerca.

2. I modelli di equilibrio economico generale nello studio degli impatti climatici

I modelli applicati (o computabili) di equilibrio economico generale sono modelli di simulazione al computer che implementano ed utilizzano la teoria dell'equilibrio economico generale, formulata sul finire del diciannovesimo secolo da Leon Walras, e formalizzata matematicamente nel secondo dopoguerra da Arrow e Debreu.

Sviluppati a partire dalla seconda metà anni '70, si sono affermati come strumenti indispensabili per la valutazione di politiche economiche, specialmente nei campi delle riforme fiscali e degli accordi commerciali internazionali. L'utilizzo dei modelli CGE nell'ambito dell'economia ambientale, soprattutto nel campo dei cambiamenti climatici, è invece molto recente, sebbene in rapidissima espansione.

Il maggior numero di applicazioni di modelli CGE a questioni ambientali ha sin qui riguardato gli effetti di politiche fiscali “verdi”, l'implementazione di restrizioni alle emissioni, o la realizzazione di mercati dei permessi negoziabili. Gli effetti di lungo periodo del cambiamento climatico, come pure le interazioni tra sistemi naturali e socio-economici, sono stati invece analizzati principalmente con altri strumenti modellistici, specialmente attraverso modelli IAM (Integrated Assessment Models).

La maggior parte di questi modelli non possiede una rappresentazione dettagliata del sistema economico e non sono in grado di considerare gli effetti complessivi di politiche di controllo del clima e i loro impatti sul commercio nazionale ed internazionale. Nel tentativo di superare queste limitazioni, si osserva però una progressiva convergenza tra modelli CGE e IAM.

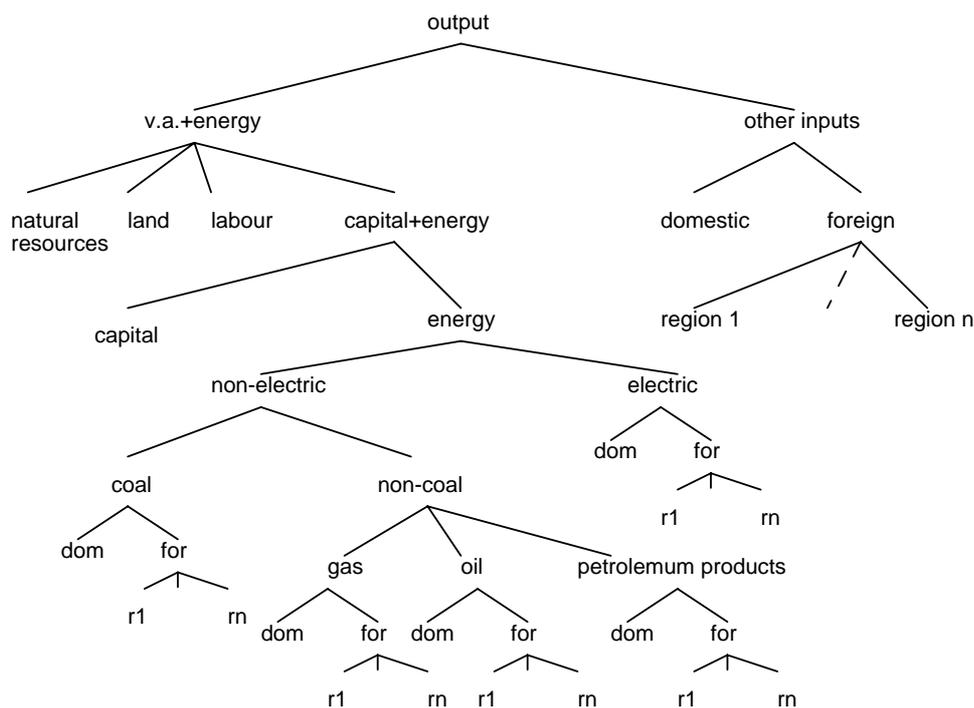
Il modello utilizzato in questo studio possiede caratteristiche di interfacciamento con modelli climatici ed è potenzialmente integrabile in un macro-modello di tipo IAM. Esso utilizza una base di dati Social Accounting Matrix dell'economia mondiale, prodotta dal consorzio GTAP (Global Trade Analysis Project). Utilizza anche una serie di varianti, realizzate dalla Fondazione Eni Enrico Mattei, del modello GTAP-base (Hertel, 1996), nella versione GTAP-E (Burniaux e Truong, 2002), modificate di volta in volta sulla base del tipo di impatto climatico analizzato.

Nel modello usato in questo studio, denominato ICES (Intertemporal Computable Equilibrium System), l'economia mondiale è rappresentata come una struttura integrata di 17 settori produttivi in 9 regioni, tra le quali l'Italia appare enucleata come regione a sé stante. Sono distinte cinque tipologie di risorse produttive primarie (due tipi di lavoro, capitale, terra, risorse naturali), e quattro settori di domanda finale (famiglie, amministrazioni pubbliche, investimenti, esportazioni). Sono

considerate, tra le variabili descrittive ausiliarie, le emissioni di anidride carbonica. Le 9 regioni interagiscono attraverso i flussi di commercio internazionale.

I settori sono modellati attraverso una impresa rappresentativa, che minimizza i costi di produzione, prendendo i prezzi di mercato come dati. Questi ultimi sono determinati sulla base dei costi medi di produzione. Le funzioni di produzione sono specificate attraverso una serie di funzioni CES nidificate, secondo lo schema riportato nel diagramma seguente.

Figura 1. La struttura produttiva in ICES

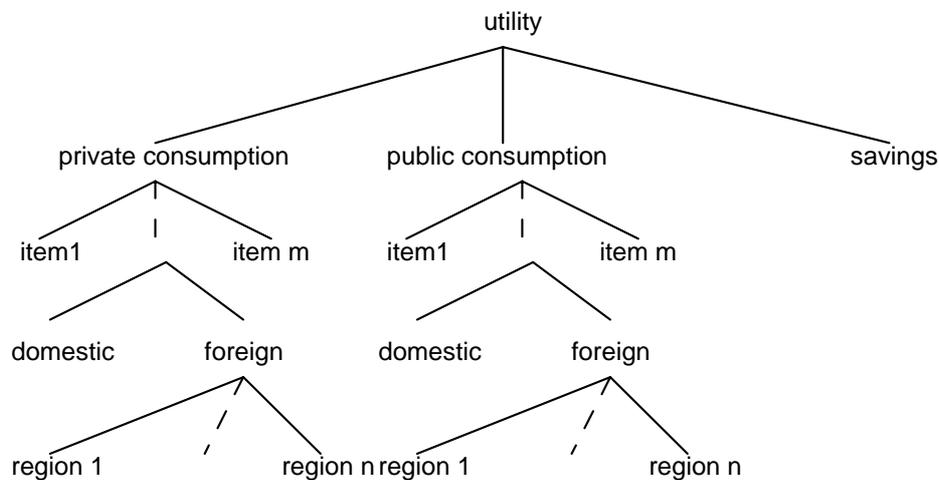


Da notare che i fattori di produzione nazionale ed importati non sono perfetti sostituti, in base alla cosiddetta “assunzione Armington”, che tiene conto essenzialmente della eterogeneità dei prodotti. Più in generale, fattori inseriti nello stesso gruppo risultano essere più facilmente sostituibili rispetto a fattori inseriti in altri gruppi. Per esempio, le importazioni sono più facilmente sostituibili rispetto alla sorgente straniera di produzione che rispetto alla produzione nazionale. Per lo stesso motivo, inputs composti di energia sono più facilmente combinabili con il capitale, rispetto ad altre risorse.

Un consumatore rappresentativo in ciascuna regione riceve reddito, definito come valore delle risorse primarie di proprietà nazionale. Capitale fisico e lavoro sono mobili internamente, ma non a livello internazionale. Terra e risorse naturali, invece, sono specifiche dei settori ai quali sono

associate. Questo reddito viene utilizzato per finanziare la spesa in tre categorie: spesa aggregata delle famiglie, spesa pubblica e risparmio (come rappresentato nella figura seguente).

Figura 2. La struttura della domanda in ICES



Le quote di spesa sono generalmente fisse (fanno eccezione alcuni particolari esercizi di simulazione), il che equivale ad assumere una funzione di utilità di tipo Cobb-Douglas. La spesa pubblica è suddivisa in una serie di sotto-categorie, di cui l'unica realmente rilevante è quella relativa alla spesa in servizi non di mercato.

Anche la spesa privata è suddivisa in sotto-categorie, formate da aggregati Armington. In questo caso, tuttavia, la specificazione Cobb-Douglas viene sostituita da una specificazione CDE, per tener conto di possibili differenze tra i beni, in termini di elasticità di reddito.

Nei modelli GTAP, due settori sono trattati in maniera particolare. Si tratta del trasporto internazionale e degli investimenti internazionali. Il trasporto è inserito come un settore sovranazionale, che produce servizi necessari a muovere beni tra diverse regioni, determinando un margine di costo tra il prezzo all'origine e quello a destinazione. I servizi di trasporto sono prodotti utilizzando fattori conferiti da tutte le regioni.

In maniera simile, una ipotetica banca mondiale raccoglie il risparmio generato nei diversi paesi ed alloca gli investimenti tra le regioni, in base ad una tendenziale equalizzazione del tasso di rendimento atteso futuro. Questo rendimento è collegato al rendimento corrente, ma si tiene altresì conto di alcune rigidità che impediscono la totale mobilità internazionale dei capitali e la preferenza per titoli nazionali nella composizione del portafoglio degli investitori. In questo modo, risparmi ed

investimenti sono uguagliati a livello mondiale, ma non a livello regionale. In base a note identità di contabilità nazionale, ogni eccesso di risparmio sull'investimento si riflette in un surplus della bilancia commerciale, e viceversa.

Il modello ora brevemente descritto e' stato calibrato usando il database GTAP per il 2001. La calibrazione per gli anni futuri e' stata ottenuta invece usando le proiezioni del modello C-Cubed (McKibbin e Wilcoxon (1998)), come illustrato nella prossima sezione.

3. La costruzione degli esercizi di simulazione

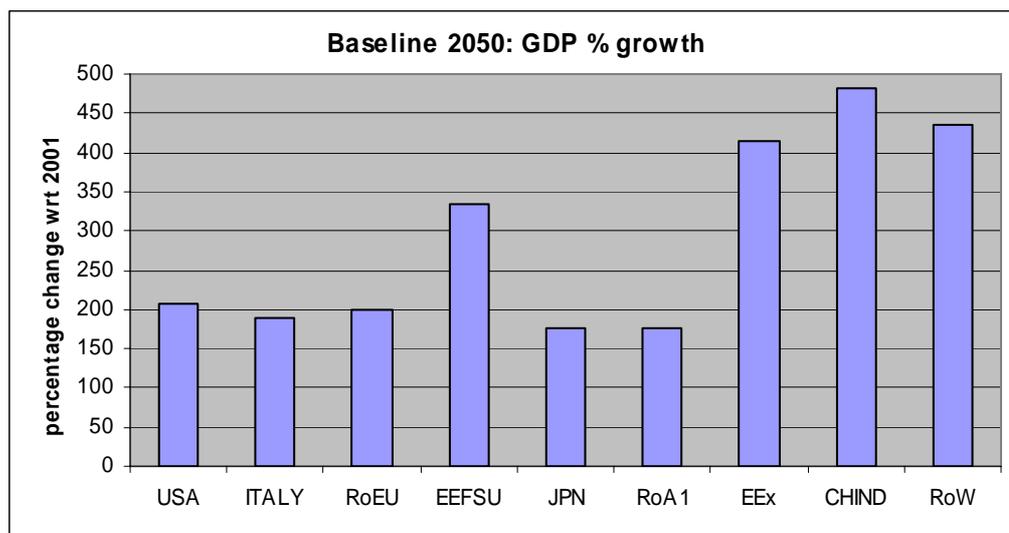
Gli esercizi di simulazione utilizzati per pervenire ad una quantificazione macroeconomica del costo del cambiamento climatico sono basati su un approccio standard di statica comparata. Ciò significa che vengono messi a confronto due ipotetici stati di equilibrio generale: nello specifico, in assenza ed in presenza di uno o più shocks di origine climatica.

Tradizionalmente, i parametri strutturali dei modelli CGE vengono "calibrati", assumendo che la struttura economica, descritta in una recente tavola di contabilità sociale (SAM – Social Accounting Matrix), sia in uno stato di equilibrio generale, in cui la domanda incontra l'offerta in tutti i mercati dei beni e dei fattori. Successivamente, viene stimato un equilibrio "contro-fattuale", imponendo una perturbazione di fattori esogeni al modello (ad es., stock di risorse produttive), eventualmente ricorrendo ad una diversa ripartizione tra variabili esogene ed endogene.

Tabella 1. Disaggregazione settoriale e geografica del modello

Sectors		
<i>Food Industries</i>	<i>Heavy Industries</i>	<i>Ligth Industries</i>
Rice	Coal	Water
Wheat	Oil	Other industries
Cereal Crops	Gas	Market Services
Vegetable Fruits	Oil Products	Non-Market Services
Animals	Electricity	
Forestry	Energy Intensive industries	
Fishing		
Regions		
<i>Code</i>	<i>Description</i>	
USA	United States	
ITALY	Italy	
RoEU	Rest of European Union - 15	
EEFSU	Eastern Europe and Former Soviet Union	
JPN	Japan	
RoA1	Other Annex 1 countries	
EEx	Net Energy Exporters	
CHIND	China & India	
RoW	Rest of the World	

Figura 3. Crescita del PIL nel periodo 2001-2050 nello scenario di base.



Nelle simulazioni che si andranno a descrivere, il modello viene preventivamente “ricalibrato”, non sulla base di dati rilevati in passato, ma costruendo un benchmark futuro, riferito all'anno 2050. Si tratta, in realtà, di una simulazione *sui generis*, in cui vengono modificati dati sullo stock di risorse primarie (lavoro, capitale, terra, risorse naturali) e di produttività, secondo una metodologia suggerita da Dixon e Rimmer (2002), e descritta in Roson (2003). Dato che, in questa fase, vengono del tutto ignorati eventuali shocks, non solo legati al cambiamento climatico, ma anche di natura tecnologica o politica, il benchmark costituisce una ipotetica fotografia della struttura economica mondiale al 2050, in assenza di effetti perturbativi di qualsiasi origine.

Per ottenere il benchmark di riferimento, si è lavorato sul lato dell'offerta di risorse primarie, imponendo stime riguardanti le dotazioni future di lavoro, capitale, terra e risorse naturali, come pure variazioni nella produttività fattoriale e multi-fattoriale, per le diverse regioni e settori che compongono il modello. La maggior parte delle risorse naturali sono trattate come variabili esogene nel modello, ed è quindi sufficiente variare i valori riscontrati nell'anno di calibrazione. In altri casi, variabili endogene sono state sostituite con variabili e parametri esogeni. Stime della dotazione di lavoro e capitale sono state ottenute a partire dai risultati del modello G-Cubed (McKibbin e Wilcoxon (1998)). Stime della dotazione di terra e produttività agricola sono state ottenute dal modello IMAGE (IMAGE (2001)). Per gli stocks di risorse naturali, tenendo conto del particolare trattamento di queste variabili nel modello (Hertel e Tsigas (2002)), si è fatto in modo che le dotazioni varino nel tempo, in maniera tale che il prezzo delle risorse vari in linea con il prodotto

interno lordo.

Le Figure 3-5 e la Tabella 2 riassumono le nostre stime di alcuni aggregati macroeconomici nel periodo 2001-2050.

Le nostre stime suggeriscono una tendenziale ma parziale convergenza delle economie nazionali e regionali. Cina e India sono indicate come regioni dallo sviluppo particolarmente sostenuto, mentre i paesi industrializzati crescono sensibilmente meno. Si noti, in particolare, come l'Italia cresca meno della media europea e degli Stati Uniti, sebbene un po' più che del Giappone e di altri paesi sviluppati (Rest of Annex 1 countries – RoA1). Si veda la Figura 3.

Figura 4. Variazioni delle ragioni di scambio nel periodo 2001-2050 nello scenario di base.

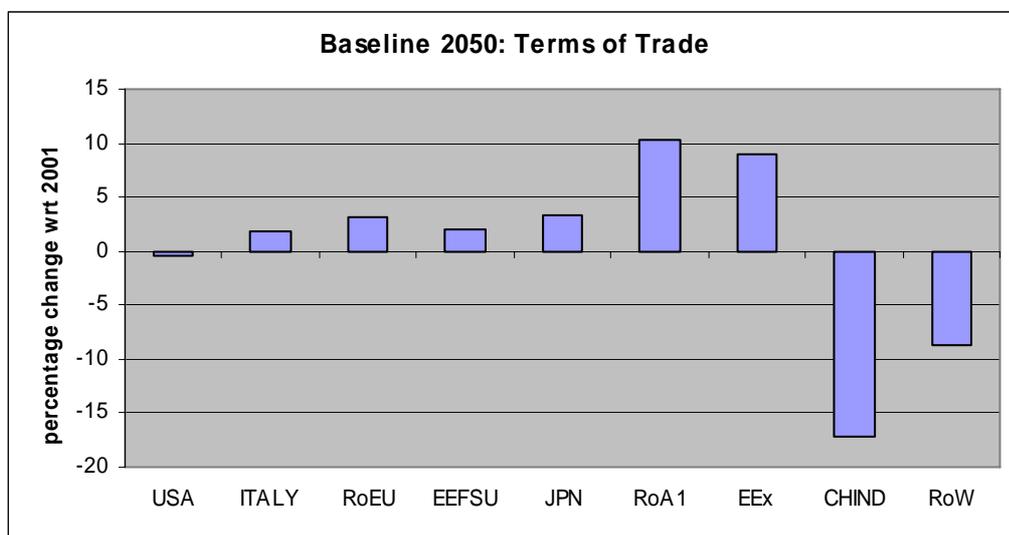
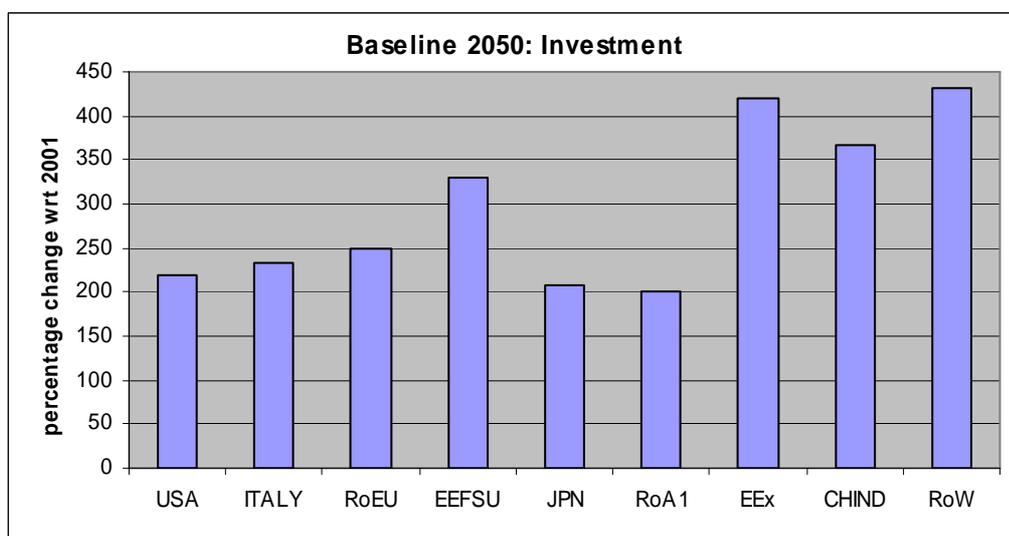


Figura 5. Variazioni degli investimenti nel periodo 2001-2050 nello scenario di base.



Nella Tabella 2 sono riportati invece i tassi di variazione percentuale delle quantità prodotte dai diversi settori produttivi considerati nel modello (CGDS indica la produzione di beni di investimento). In tutto il mondo, i settori a crescita più sostenuta sono quelli dei servizi (in Italia, particolarmente il settore dei servizi non di mercato, che consiste principalmente in servizi pubblici). Crescono molto anche i settori delle “utilities”.

Tabella 2. Variazioni della produzione settoriale nel periodo 2001-2050 nello scenario di base.

**Baseline 2050: Main Indicators
Sectoral Production
percentage change wrt 2001**

qo	USA	ITALY	RoEU	EEFSU	JPN	RoA1	EEx	CHIND	RoW
Rice	166.20	83.60	215.96	240.93	155.62	178.58	321.16	405.40	355.10
Wheat	126.99	121.29	133.91	280.54	166.73	268.50	385.01	263.17	315.05
CerCrops	127.37	121.14	89.20	286.33	124.17	198.70	336.94	244.95	325.61
VegFruits	103.85	55.78	61.09	242.34	62.58	169.96	302.91	279.11	273.21
Animals	180.26	121.54	140.41	292.22	139.84	209.21	377.62	435.91	379.64
Forestry	175.73	151.23	162.81	262.94	137.49	150.82	354.03	511.91	390.92
Fishing	133.55	104.36	126.13	221.70	133.85	144.90	270.38	413.16	286.63
Coal	115.20	103.69	103.60	186.95	95.76	124.95	208.54	332.41	235.63
Oil	113.08	97.12	114.86	175.97	114.83	121.42	203.55	341.47	232.76
Gas	177.57	152.17	117.89	261.52	111.15	144.51	311.29	406.04	292.45
Oil_Pcts	127.92	116.48	116.30	183.11	119.86	113.46	251.60	348.98	245.47
Electricity	207.33	140.53	167.47	283.26	170.37	172.39	388.96	518.21	374.37
Water	204.20	175.79	189.94	324.01	177.68	183.82	407.80	573.57	424.77
En_Int_ind	191.63	157.85	157.00	314.09	153.80	151.51	418.61	573.83	397.11
Oth_ind	187.52	139.25	151.50	304.56	133.56	121.47	360.64	514.50	373.04
MServ	215.33	201.65	211.49	351.24	190.88	189.64	461.94	490.28	459.88
NMServ	210.69	243.77	238.39	442.67	190.61	198.21	536.50	620.78	528.27
CGDS	218.28	233.24	248.21	328.86	208.10	200.23	418.90	365.89	431.50

Per poter realizzare degli esercizi di simulazione che stimino gli effetti sull'economia di una serie di effetti del cambiamento climatico è necessario: (a) individuare uno scenario di cambiamento delle temperature e di altre variabili del clima, (b) utilizzare una serie di modelli micro-settoriali specifici che quantifichino gli effetti fisici e/o economici di impatti particolari, (c) tradurre gli effetti stimati (impatti diretti) in variazioni di variabili e parametri presenti nel modello di equilibrio economico generale, (d) calcolare il nuovo equilibrio del modello una volta introdotte tali variazioni.

Per quanto riguarda il primo punto, vengono qui considerati due scenari di variazione della temperatura media mondiale nel periodo 2001-2050. Nel primo la temperatura aumenta di 0,93 °C. Nel secondo di 1,2 °C. Il valore di 1,2 °C rappresenta il valore centrale dello scenario IPCC SRES

A2, mentre l'incremento di 0,93 °C corrisponde al valore centrale nello scenario B1 dell'IPCC. Questa variazione di temperatura è anche quella che è stata stimata con il modello del clima dell'Istituto Max Planck di Amburgo, utilizzando i dati di emissione generati dal nostro modello di equilibrio generale.

Gli impatti analizzati sono elencati qui di seguito. Per quantificarli sono stati utilizzati in primis i risultati emersi nei diversi workshop organizzati in previsione della Conferenza Nazionale sul Clima, e riportati in Alberini e Chiabai (2007), Bigano e Pauli (2007), Bosello et al. (2007), Breil et al. (2007), Gambarelli et al. (2007). Poiché questi riguardavano l'Italia, mentre il modello di equilibrio generale richiede informazioni relative a 9 regioni del mondo, sono stati utilizzati anche altri studi degli impatti fisici e settoriali dei cambiamenti climatici

3.1 Salute Umana

Sono considerati due impatti principali: variazione nelle ore lavorate, riferite a variazioni di mortalità e infermità, e variazioni nella spesa per cure sanitarie, sia da parte delle famiglie, che da parte delle amministrazioni pubbliche. Si osservi che la domanda di beni e servizi rappresenta una variabile normalmente endogena nel modello. In questo caso, viene imposta una variazione nella struttura della domanda, che condurrebbe alle variazioni stimate, in assenza di ulteriori modificazioni di prezzi e reddito, che sono in realtà calcolate endogenamente dal modello.

Gli effetti presi in considerazioni riguardano sei patologie (malaria, dengue, schistosomiasi, diarrea, patologie cardiovascolari e respiratorie), e sono state calcolate per tutte le regioni del modello da Bosello et al. (2006). Le stime di partenza sono ottenute combinando i risultati di diversi studi: Martens et al. (1995), Martin e Lefebvre (1995), e Morita et al. (1994) con dati di mortalità della WHO (Murray e Lopez (1996)). Viene utilizzata la relazione tra incidenza delle malattie e reddito pro-capite sviluppata da Tol e Heinzow (2003), utilizzando stime di reddito per le diverse regioni del modello. I dati sul costo delle cure mediche sono stati ottenuti da una varietà di diverse fonti, specificate in Bosello et al. (2006).

3.2 Agricoltura

Gli impatti sull'agricoltura sono basati su Tol (2002), che ha estrapolato variazioni stimate nel raccolto per alcuni scenari di cambiamento del clima. Nel modello, variazioni nei raccolti sono interpretate come variazioni esogene nella produttività della terra, riferite a diversi tipi di coltura. Da notare che la simulazione assume come invariante l'allocazione della terra nei diversi sotto-

settori, quindi manca una risposta autonoma per quello che riguarda il cosiddetto land-use.

3.3 Turismo

Gli impatti sul turismo sono basati sui risultati del modello HTM v.1.2 (Berrittella et al., 2006). Si tratta di un modello econometrico che stima il numero di turisti per paese, la quota di turisti internazionali sui turisti complessivi, e i flussi turistici tra paesi. Questi ultimi dipendono sia da variabili climatiche, che da variabili ambientali (ad es., lunghezza e tipologie delle coste), come pure da variabili economiche (prezzi e reddito). Questo modello è anche in grado di stimare la spesa media giornaliera dei turisti.

Il modello HTM è calibrato al 1995. Il numero di turisti è determinato da popolazione e crescita economica. La quota di turisti internazionali è più ampia nei paesi ricchi, come pure in quelli caratterizzati da temperature medie molto alte o molto basse. Lo scenario di crescita economica e della popolazione, nonché di cambiamento climatico, è lo scenario IPCC SRES A1B. La variazione regionale di temperatura è basata su una combinazione di 14 modelli GCM (Schlesinger e Williams (1998)).

Queste informazioni sono state utilizzate nel modello ICES in due modi. E' stato introdotto un fattore che modifica la struttura di spesa delle famiglie, aumentando (nel caso di maggior numero di turisti) o diminuendo la spesa per servizi di mercato. Inoltre, viene modificato il reddito nazionale spendibile, tenendo conto del maggiore o minore potere di spesa, indotto dalla variazione nel numero di turisti presenti. Questa procedura è resa necessaria dal fatto che il modello ICES è basato su un concetto di PIL riferito al territorio, per cui la spesa dei turisti è interpretata come consumi interni, e non come esportazione di servizi. L'adeguamento del reddito nazionale si rende quindi necessario per tener conto del fatto che il reddito speso dai turisti è stato, in realtà, generato all'estero.

3.4 Livello dei mari

La perdita di terreni costieri è stata stimata elaborando i risultati di diversi modelli (Hoozemans et al. (1993), Bijlsma et al. (1996), Nicholls e Leatherman (1995), Nicholls et al. (1995) e Beniston et al. (1998)). La metodologia ed alcuni risultati sono descritti in maggior dettaglio in Bosello et al. (2007). In questo contesto, si assume che non vengano effettuate misure atte al contenimento degli effetti di inondazione o erosione ("no protection").

In Bosello et al. (2007) viene considerato uno scenario alternativo, in cui si assume vengano

effettuati investimenti in protezione costiera, tali da mantenere invariato lo stock di risorse naturali.

Nel caso qui considerato, gli effetti di innalzamento del livello del mare sono interpretati come riduzioni nello stock della risorsa “terra”. In aggiunta, vengono pure considerate perdite nello stock di capitale (infrastrutture). Questo secondo scenario viene mantenuto separato, sia perché non è chiaro se e quanto le infrastrutture possano essere colpite da un fenomeno particolarmente lento nel suo evolversi, sia perché mancano del tutto stime realistiche di questi effetti. Ad ogni modo, per avere un termine di paragone, si sono effettuate delle simulazioni in cui lo stock di risorse capitale viene ridotto dello stesso valore percentuale dello stock di terra.

3.5 Desertificazione

Gli effetti di desertificazione vengono considerati solo per l'Italia, attraverso una riduzione esogena della risorsa terra, in maniera del tutto analoga a quella già illustrata per l'innalzamento dei mari. I dati sono stati calcolati in base alla classificazione del Piano Nazionale per la Lotta alla Siccità, che distingue tra aree non sensibili, sensibili e molto sensibili. Viene assunto che lo 0,11% dei terreni sia già affetto da fenomeni di desertificazione, e che questa percentuale salga al 3,86% nel 2050. Le informazioni impiegate sono state ottenute rielaborando i risultati riportati in Gambarelli et al. (2007).

3.6 Energia

Variazioni nella domanda di energia, come conseguenza di aumenti di temperatura, sono stati calcolati utilizzando parametri di elasticità stimati da Bigano et al. (2006). Questo studio analizza gli effetti della temperatura sulla domanda di una serie di inputs energetici, stimando la variazione di domanda per consumo finale, per vari livelli di temperatura. Nel modello, le variazioni di domanda sono introdotte per mezzo di un parametro esogeno, in maniera simile a quanto già esposto per il caso del turismo.

Tabella 3. Impatti dei cambiamenti climatici considerati nello studio e relativi scenari

Scenario	Description
CC	Climate Change effects: <ul style="list-style-type: none">• Health,• Agriculture,• Tourism,• Energy demand,• Sea level rise
CC+Cap(SLR)	CC scenario effects including an additional capital loss equal to land loss in percentage due to SLR.
CC+Desert	CC scenario effects including land loss due to desertification only for Italy.
CC+Desert+Cap(SLR):	CC scenario effects including an additional capital loss equal to land loss in percentage due to SLR and land loss due to desertification only for Italy.

In sintesi, nel modello sono state sperimentate le seguenti combinazioni di scenari descritte nella Tabella 3, in cui ogni scenario è riferito ai due diversi livelli di riferimento di variazione della temperatura.

4. Illustrazione e discussione dei risultati

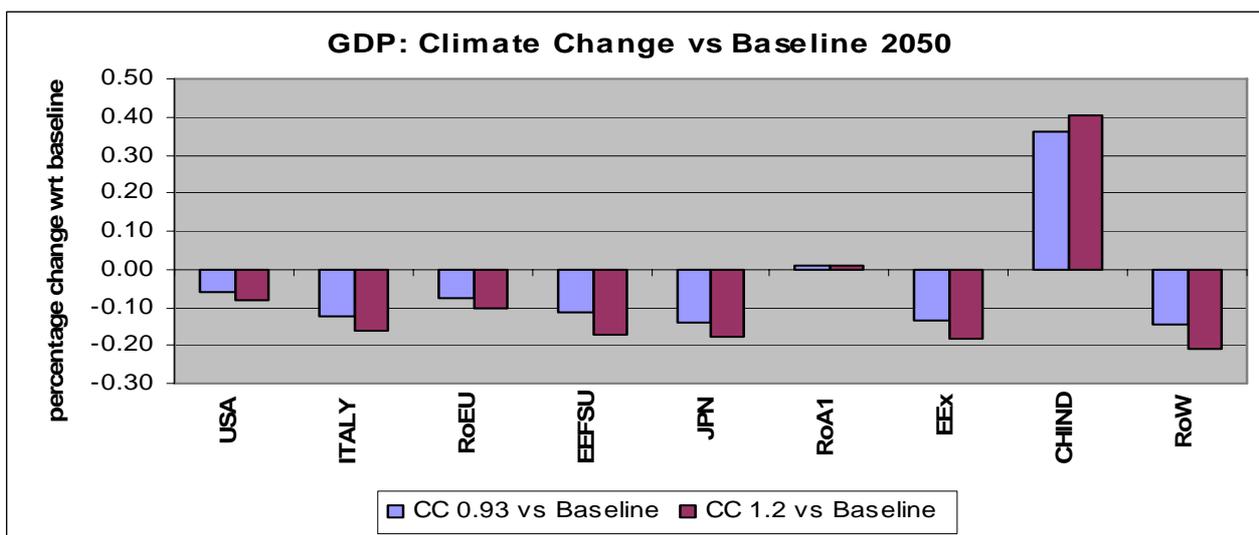
I risultati delle simulazioni riguardano l'applicazione congiunta di tutti gli shocks riferiti ai diversi impatti, raggruppati nelle categorie indicate. A seguito dell'introduzione di tali shocks, il modello produce una stima di una grande quantità di variabili macroeconomiche: variazioni di reddito nazionale, spesa delle famiglie, investimenti, flussi commerciali per coppia di regioni e settori produttivi, prezzi dei prodotti e dei fattori, variazioni equivalenti di benessere, ed altro.

Dall'analisi dei risultati non è sempre agevole risalire ad una interpretazione univoca degli stessi, sia per la molteplicità degli impatti, sia per la presenza di effetti di secondo ordine, spesso significativi. Inoltre, è importante tenere a mente il significato che le diverse variabili macroeconomiche assumono in questo contesto. Ad esempio, una spesa per adattamento, forzata dal cambiamento del clima, rappresenta pur sempre un flusso di reddito per altri individui presenti nel sistema economico, e come tale può produrre effetti trascurabili sul Prodotto Interno Lordo, se non addirittura di segno contrario a quanto ci si potrebbe aspettare. Anche impatti globalmente negativi,

quali potrebbero essere perdite di risorse primarie, potrebbero generare miglioramenti di reddito e benessere, se portassero con sé miglioramenti significativi nelle ragioni di scambio.

La Figura 6 illustra le variazioni nel PIL (GDP) registrate nello scenario CC, per i due livelli di incremento della temperatura considerati.

Figura 6. Variazioni del GDP nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico



Come è ragionevole attendersi, lo scenario di variazione della temperatura a +1,2 °C genera effetti più rilevanti di quelli relativi alla variazione di +0,93 °C, ma non modifica il quadro qualitativo. Si osservano generali riduzioni di reddito per quasi tutti i paesi, con un'unica, importante eccezione: la regione Cina-India. In quest'ultimo caso, l'aumento degli investimenti internazionali sembra essere la causa principale dell'aumento del PIL in tale regione.

Misurando la variazione percentuale degli investimenti, però, è il Giappone a registrare i maggiori incrementi (Figura 7). Questo risultato è, in una certa misura, duale rispetto alla variazione stimata delle ragioni di scambio. L'effetto è più significativo, in termini di PIL, per Cina e India, perchè maggiori sono gli investimenti nella baseline. Essendo gli investimenti una delle componenti del prodotto interno lordo, questo effetto tende a far aumentare il PIL. Si ricordi, inoltre, che gli investimenti sono allocati a livello internazionale, sulla base del rendimento atteso futuro, che è legato al rendimento attuale. Il rendimento attuale riflette la produttività marginale. Quindi, un alto rendimento, associato a forti investimenti, segnala una relativa scarsità di capitale, sia in assoluto, sia rispetto ai fattori più sostituibili, come il complesso composito dell'energia.

Figura 7. Variazioni degli investimenti nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico

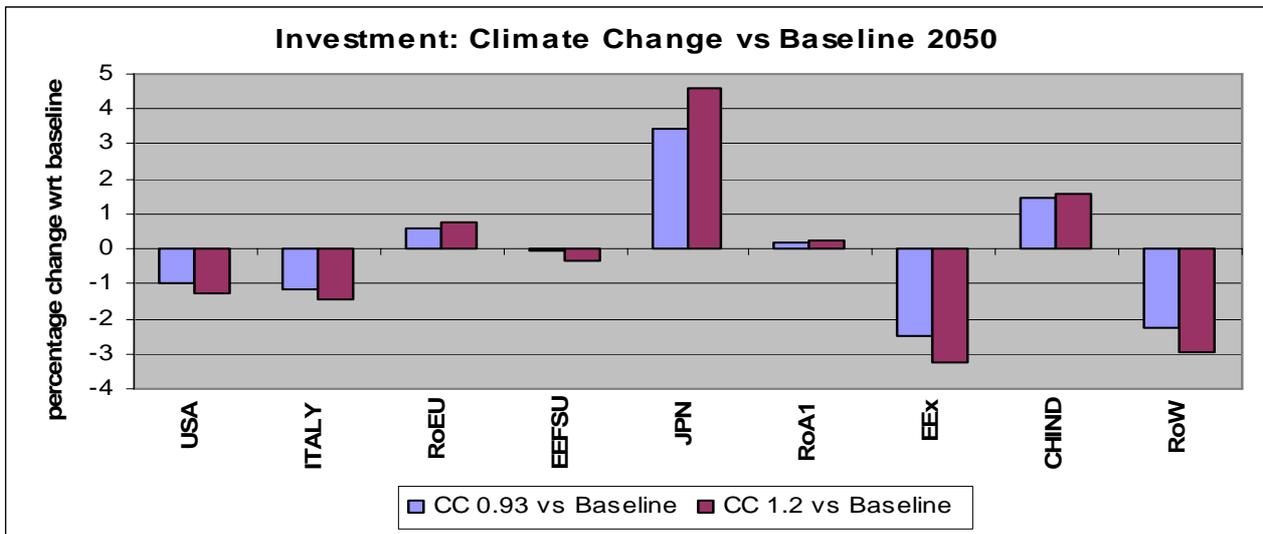
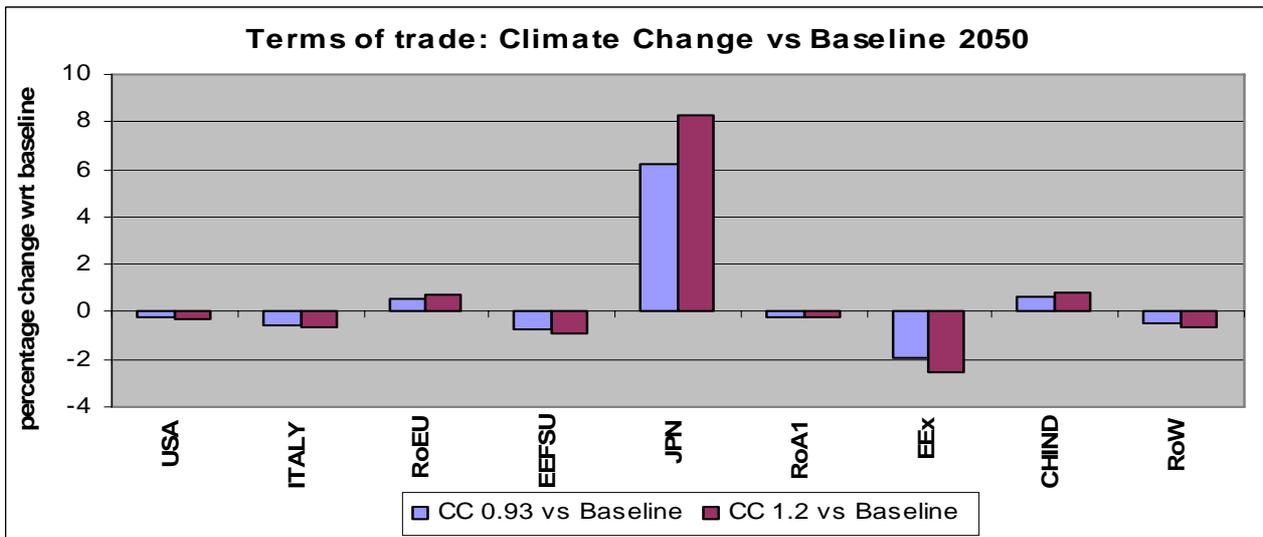


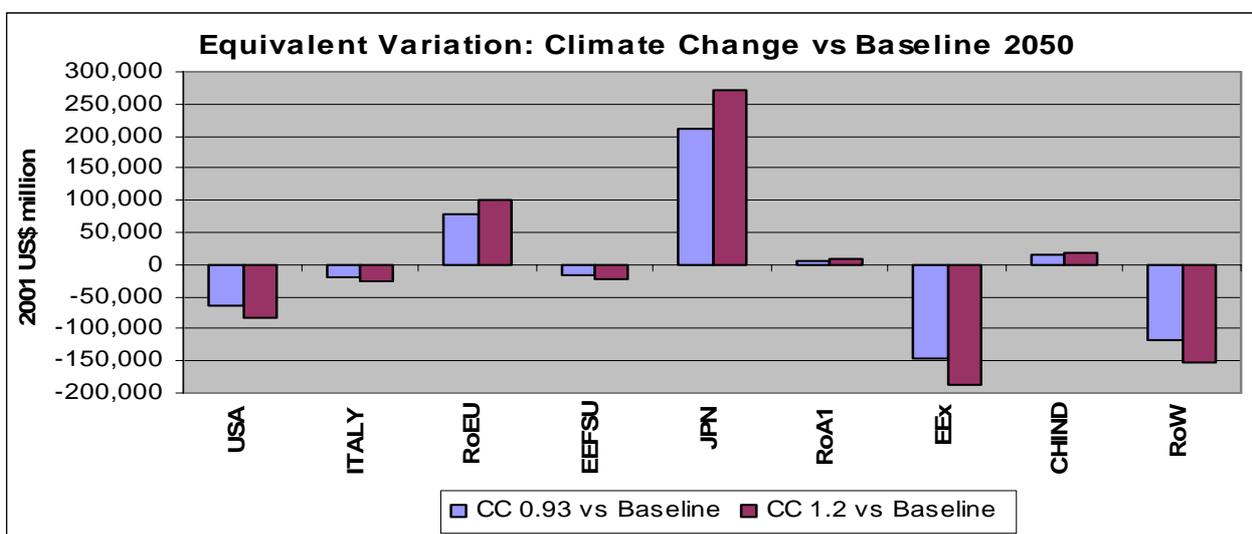
Figura 8. Variazioni delle ragioni di scambio nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico



Le ragioni di scambio sono definite come rapporto tra indice dei prezzi delle esportazioni e indice dei prezzi delle importazioni. Dunque, un miglioramento delle ragioni di scambio di un paese deve comportare un peggioramento delle ragioni di scambio per qualche altro paese. Gli investimenti, invece, vengono allocati internazionalmente, sulla base dei rendimenti relativi attesi futuri. Se non cambia significativamente il reddito mondiale, non cambia neppure il risparmio complessivo da investire nelle diverse regioni. In entrambi i casi, dunque, si osserva un effetto di redistribuzione su scala mondiale (Figura 8).

Il modello è anche in grado di fornire stime della variazione equivalente del benessere dei consumatori (Figura 9). La variazione equivalente viene definita come quella variazione ipotetica di reddito, a parità di prezzi iniziali, che indurrebbe lo stesso livello di benessere stimato negli equilibri contro-fattuali. Si tratta di un risultato da prendere con molta cautela, in quanto il benessere è una semplice funzione dei livelli di consumo, e non distingue tra i tipi di consumo effettuato. Se, ad esempio, viene incrementata la spesa per servizi sanitari, questo viene registrato come un aumento di benessere, a parità di altre condizioni.

Figura 9. Valore delle variazioni equivalenti nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico



Nella nostra analisi del valore macroeconomico degli impatti dei cambiamenti climatici abbiamo preso in considerazione vari scenari. Quanto finora esposto riguarda lo scenario di base (vedi Tabella 3), ma è interessante analizzare le conseguenze macroeconomiche anche degli altri, in cui vengono considerate ipotesi di shock diverse, ad esempio includendo la desertificazione e le perdite di capitale infrastrutturale come conseguenza dell'innalzamento dei mari. Riportiamo qui di seguito alcuni grafici, simili a quelli precedenti, per tutti e quattro gli scenari considerati, ma limitandoci al caso in cui la variazione di temperatura nel 2050 è pari a +0,93 °C, dato che i risultati non risultano qualitativamente diversi nel caso di variazione di temperatura pari a +1,2°C nel 2050.

La Figura 10 mostra l'impatto sul PIL del cambiamento climatico nei quattro scenari. Si può osservare come, introducendo l'effetto di desertificazione, che per costruzione riguarda solo l'Italia,

ci sia un significativo peggioramento della situazione per il nostro paese, ma ovviamente non per il resto del mondo. Si noti anche che il danno complessivo espresso in termini di perdita di PIL aumenta in Italia del 35% in presenza di desertificazione e impatto sulle infrastrutture dell'incremento del livello del mare.

Figura 10. Variazioni del GDP nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico nei quattro scenari

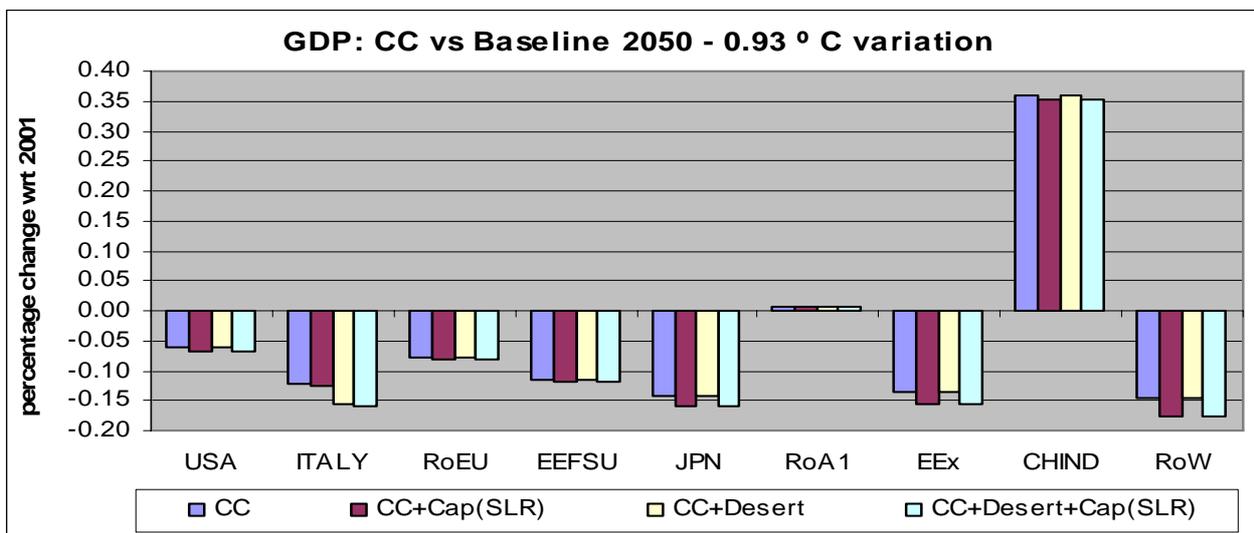


Figura 11. Variazioni degli investimenti nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico nei quattro scenari

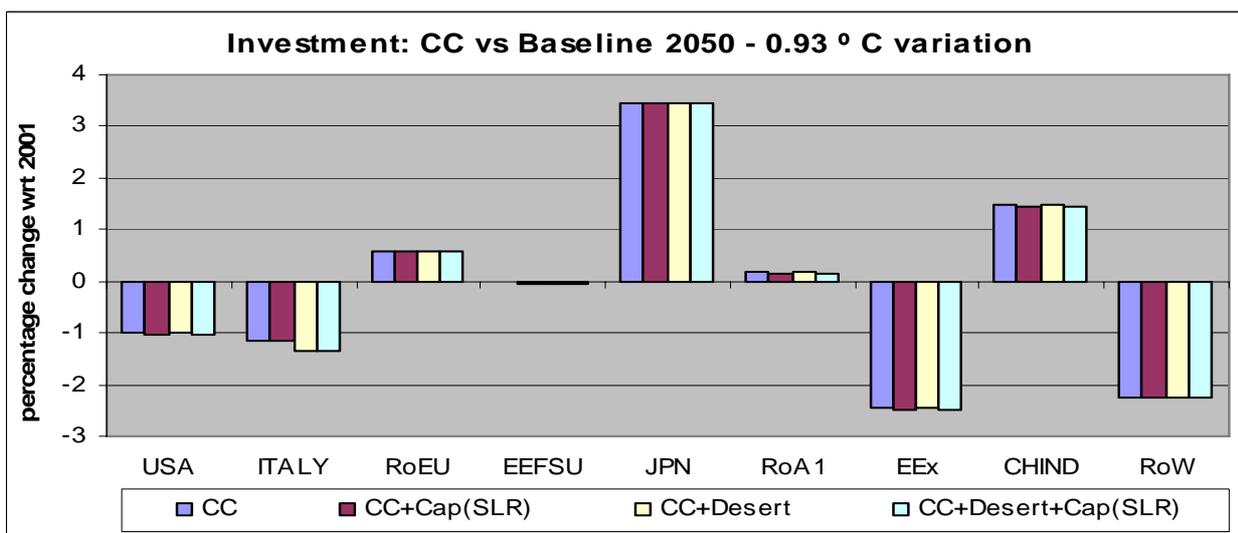


Figura 12. Variazioni delle ragioni di scambio nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico nei quattro scenari

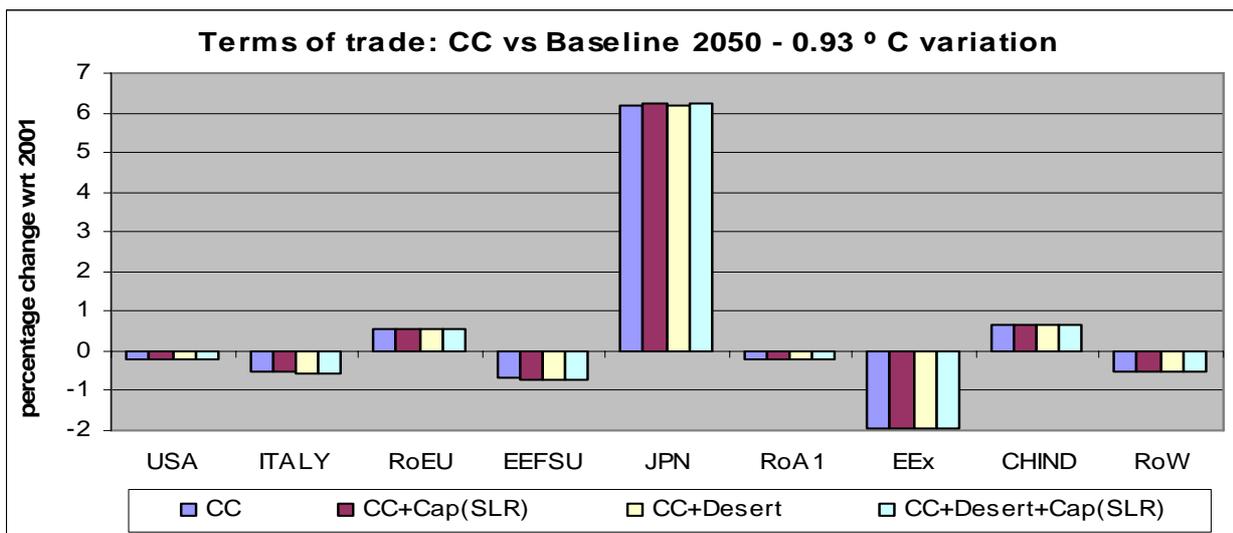
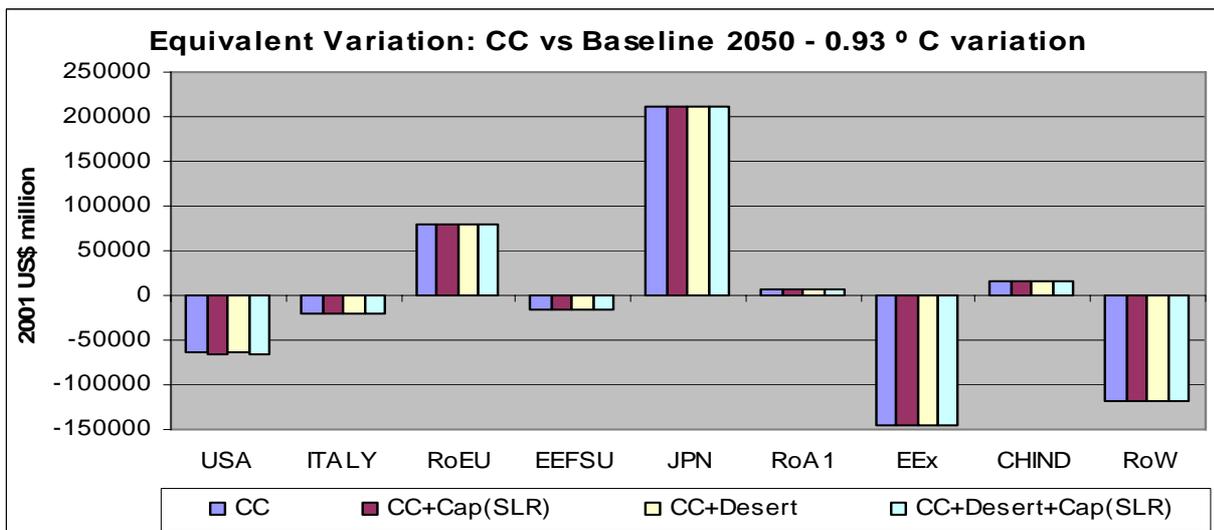


Figura 13. Variazioni delle variazioni equivalenti nel 2050 indotte dagli effetti del cambiamento climatico nei quattro scenari



Sintetizzando i tanti risultati ottenuti utilizzando il modello ICES, potremmo concludere che per l'Italia il cambiamento climatico produrrebbe una perdita minima annua di Prodotto Interno Lordo compresa tra lo 0,12% e lo 0,16%, se la temperatura salisse di 0,93 °C nel periodo 2001-2050, e tra lo 0,16% e lo 0,20% se la variazione di temperatura fosse di +1,2 °C da qui al 2050. Poiché gli impatti dei cambiamenti climatici si avverteranno soprattutto nella seconda metà del secolo, il

danno espresso in termini di perdita di PIL raggiungerà nel 2100 un range tra 0,9% e l'1,14% del PIL (sempre del 2100 a prezzi correnti) nel primo scenario e tra 1,02% e 1,28% del PIL nel secondo scenario.

Nel 2050 si registrerebbe quindi una perdita di benessere equivalente alla riduzione di reddito nazionale di circa 20-30.000 milioni di euro a prezzi correnti. Si tratta di una cifra rilevante, pari ad un'importante manovra finanziaria. Il valore sarebbe sei volte più grande nel 2100.

Utilizzando tali cifre e ipotizzando che il danno provocato dai cambiamenti climatici sia una funzione, lineare o quadratica, della variazione di temperatura, è possibile calcolare la perdita di PIL indotta, nel corso di tutto questo secolo, dal cambiamento climatico. Ciò permette il confronto con altri studi e soprattutto con i valori contenuti nel recente rapporto IPCC. La Tabella 4 riassume i nostri risultati nei due scenari.

Tabella 4 : Ammontare del danno complessivo del cambiamento climatico per l'Italia espresso come percentuale sul PIL (danno cumulato scontato su PIL cumulato scontato, periodo di riferimento 2001-2100)

Scenario B1 (+0,93° nel 2050)	danno quadratico nella temperatura	danno esponenziale nella temperatura
Tasso di sconto: 3%	0.12%	0.14%
Tasso di sconto: 1%	0.18%	0.19%

Scenario A2	danno quadratico nella temperatura	danno esponenziale nella temperatura
Tasso di sconto: 3%	0.20%	0.22%
Tasso di sconto: 1%	0.38%	0.36%

Queste stime sono in linea con quelle del quarto rapporto IPCC (IPCC, 2007c) anche se molto più contenute di quelle presentate nella Stern Review (Stern, 2007). Sia il rapporto Stern che quello dell'IPCC non sono però riferiti all'Italia. Va anche ribadito che l'impatto del cambiamento climatico è di natura essenzialmente distributiva e che il danno in termini di variazione del PIL qui calcolato tiene conto dell'adattamento autonomo che passa attraverso le variazioni di prezzo e i nuovi equilibri sui mercati mondiali. Questo valore è quindi più corretto di quelli spesso proposti che non tengono conto degli aggiustamenti che i cambiamenti climatici indurranno nei vari settori

economici e nelle varie aree geografiche del mondo.

È quindi interessante disaggregare queste stime, per identificare i settori italiani più colpiti dal cambiamento climatico. La Tabella 5 illustra, per l'Italia, le variazioni settoriali di produzione nei diversi scenari.

Tabella 5. Impatti settoriali del cambiamento climatico in Italia nel 2050

Sectoral Production ITALIA: CC vs Baseline 2050 - 0.93 ° C variation
percentage change

Sector	Temperature Change 0.93 ° wrt to 2001			
	CC	CC+Cap(SLR)	CC+Desert	CC+Desert+Cap(SLR)
Rice	4.76	4.75	3.37	3.36
Wheat	1.45	1.44	-1.45	-1.45
CerCrops	2.20	2.20	0.53	0.53
VegFruits	2.93	2.92	0.11	0.11
Animals	2.49	2.49	0.82	0.82
Forestry	1.98	1.98	2.07	2.06
Fishing	0.78	0.77	0.80	0.79
Coal	0.07	0.07	0.08	0.08
Oil	-1.88	-1.89	-1.84	-1.84
Gas	-3.72	-3.72	-3.55	-3.56
Oil_Pcts	-0.17	-0.17	-0.24	-0.24
Electricity	1.80	1.80	1.84	1.84
Water	3.34	3.33	3.29	3.29
En_Int_ind	2.88	2.89	3.10	3.11
Oth_ind	3.46	3.46	3.41	3.41
MServ	-0.71	-0.72	-0.70	-0.70
NMServ	-0.87	-0.88	-0.87	-0.87
CGDS	-1.14	-1.16	-1.33	-1.36

In uno scenario di innalzamento della temperatura di 0.93°C nel 2050 rispetto al 2001, i settori che registrano una maggiore riduzione nella quantità fisica prodotta sono quelli dei servizi (da -0,71% a -0,87%), ed alcuni settori dell'energia (petrolio -1,88%, gas -3,72%). Questi ultimi riflettono un calo nella domanda mondiale di gas e petrolio, dovuto principalmente alle minori necessità di riscaldamento invernale, mentre aumenta la domanda e la produzione di energia elettrica (+1,8%), anche per il maggior utilizzo di condizionatori. In uno scenario in cui al cambiamento climatico si affianchi anche un aumento dei fenomeni di desertificazione, sarebbe ovviamente il settore agricolo a registrare un forte calo di produzione, soprattutto per quel che riguarda la produzione di grano (-1.45%), ma anche frutta e verdura.

Si osserva anche una significativa riduzione nella produzione di beni di investimento. Tuttavia, questo fenomeno è legato al calo degli investimenti, che avviene in Italia ma non in tutti i paesi del

mondo. Nella Tabella 6 vengono presentate le variazioni delle produzioni settoriali, per lo scenario base, anche per le altre regioni del modello.

Tabella 6. Impatti settoriali del cambiamento climatico nel mondo nel 2050

CC: Climate Change effects

Sectoral Production: CC vs Baseline 2050 - 0.93 ° C variation

go	USA	ITALY	RoEU	EEFSU	JPN	RoA1	EEx	CHIND	RoW
Rice	3.55	4.76	1.49	1.39	-9.85	5.51	4.12	1.21	2.14
Wheat	-0.43	1.45	-0.97	1.65	-15.22	5.76	3.12	2.16	-0.51
CerCrops	0.29	2.20	0.54	1.66	-9.56	5.13	3.30	2.45	-1.99
VegFruits	0.62	2.93	0.47	1.98	-11.16	5.16	3.00	1.83	-0.35
Animals	0.66	2.49	-1.17	1.51	-10.94	2.35	2.81	2.37	1.14
Forestry	0.85	1.98	-0.29	1.23	-8.78	0.45	1.82	0.21	1.17
Fishing	0.54	0.78	0.08	1.15	-2.42	0.52	1.16	0.45	0.60
Coal	0.06	0.07	-0.46	0.54	-1.96	0.29	0.71	-0.33	0.03
Oil	-1.29	-1.88	-1.84	-1.44	-2.43	-1.39	-0.81	-1.77	-1.29
Gas	-2.44	-3.72	-6.47	-3.57	-23.78	-2.19	0.14	-1.18	0.38
Oil_Pcts	-1.76	-0.17	-2.23	-3.40	-3.14	-1.27	-0.21	-1.38	0.47
Electricity	-0.62	1.80	-3.23	-1.59	-8.72	-2.40	1.06	-0.70	1.61
Water	0.43	3.34	-1.05	1.06	-6.88	-0.93	1.46	0.08	2.07
En_Int_ind	1.08	2.88	-1.08	1.50	-9.37	-0.52	3.40	-0.24	3.71
Oth_ind	1.17	3.46	-1.45	1.83	-11.47	-0.42	4.37	0.67	2.79
MServ	-0.37	-0.71	0.94	0.37	4.29	0.61	-2.33	0.21	-1.69
NMServ	0.16	-0.87	-0.16	-0.90	-0.71	-0.45	-0.12	-0.45	0.21
CGDS	-1.01	-1.14	0.59	-0.03	3.44	0.18	-2.46	1.47	-2.24

Va infine sottolineato che la stima del danno macroeconomico qui proposta non considera i costi “non di mercato”, ovvero che influenzano realtà non soggette a scambio e quindi che non hanno un prezzo (ad esempio, la biodiversità o il patrimonio artistico e architettonico). Ne’ siamo pervenuti ad una stima degli impatti sulle famiglie distinta per fasce di reddito. Infatti, anche rispetto a questa dimensione, gli effetti dei cambiamenti climatici in Italia saranno essenzialmente distributivi con fasce della popolazione e del sistema economico che subiranno danni importanti e altre che non saranno probabilmente toccate o potranno più facilmente adattarsi. Questi punti verranno approfonditi nella prossima sezione.

5. Gap conoscitivi

I risultati illustrati in precedenza sono il frutto di un lavoro di ricerca e di estensione del modello ICES che, per quanto innovativo allo stato attuale della ricerca, è limitato da una serie di carenze conoscitive. In quanto esercizio di sintesi, che riporta ad un quadro macroeconomico i diversi impatti settoriali, questo studio e’ soggetto alle critiche e alle cautele già manifestate con

riferimento agli studi di settore (si vedano Alberini e Chiabai (2007), Bigano e Pauli (2007), Bosello et al. (2007), Breil et al. (2007), Gambarelli et al. (2007)).

Su un piano più propriamente modellistico, è necessario rilevare come non tutti gli studi microsettoriali producano informazioni che siano suscettibili di applicazione ed inserimento in un modello CGE dell'economia mondiale, per una serie di ragioni: differenze non eliminabili nelle unità di misura e nei concetti utilizzati, mancanza di copertura regionale o settoriale completa, incoerenza con altri studi impiegati nel modello, riferimento a variabili che non possiedono valore di mercato o possiedono mercati informali o imperfetti. Su quest'ultimo punto, è importante sottolineare come i parametri strutturali dei modelli CGE derivino da statistiche di contabilità nazionale, e dunque il modello tende ad ignorare tutti quegli elementi che non passano per transazioni di mercato debitamente registrate.

Si pensi, ad esempio, a fattori che possono contribuire al benessere, ma che non sono valutabili dai mercati, come il paesaggio o il valore di esistenza di specie animali in pericolo di estinzione. A questi casi vanno aggiunti quelli delle risorse che sarebbero suscettibili di valutazione di mercato, ma che, per ragioni varie, possiedono mercati parziali o imperfetti. Un noto paradosso, è che il Prodotto Interno Lordo non varia se brucia una foresta, ma aumenta se vengono spese risorse per spegnere l'incendio o per il rimboschimento.

Queste problematiche sono ben note agli economisti, e significativo progresso è stato fatto, negli ultimi anni, verso la definizione di una contabilità nazionale "allargata", ovvero "verde", che tenga conto anche delle variazioni negli stocks di risorse naturali. Tuttavia, queste statistiche non sono ancora prodotte in maniera sistematica e secondo standard uniformati a livello internazionale. Pertanto, non è ancora possibile utilizzare queste basi informative per calibrare modelli di equilibrio economico generale, soprattutto a livello mondiale.

Un problema simile riguarda una risorsa importante come l'acqua. Sebbene in alcuni modelli CGE sia enucleato un settore "Acqua", questo tiene conto solo dei servizi di distribuzione (acquedotti, ecc.). Non tiene conto dei servizi di irrigazione, che spesso non sono pagati o sono pagati in misura irrisoria, ne' dell'acqua piovana, sebbene si tratti di un fattore fondamentale in agricoltura, suscettibile di variare in relazione al cambiamento climatico. Alcuni tentativi sono attualmente in corso, anche da parte di enti di ricerca italiani, per considerare questo fenomeno (in parte attraverso variazioni di produttività in agricoltura, in parte attraverso la simulazione di un mercato dell'acqua). I risultati sono, però, ancora del tutto preliminari.

Altri tipi di impatti pongono problemi ulteriori. Si pensi, ad esempio, agli eventi estremi. Il legame tra cambiamento climatico e frequenza di eventi estremi è, di per sé, particolarmente difficile da rilevare e quantificare scientificamente. In ogni caso, si tratta di una valutazione di natura probabilistica, mentre i modelli di equilibrio generale non sono modelli stocastici. E' possibile, ed anche relativamente facile, simulare in un modello CGE le conseguenze economiche di un particolare evento disastroso, che accada in un particolare momento ed in una particolare regione, ma non è scontato come si debba interpretare e modellare un aumento generalizzato del rischio. Calzadilla, Roson e Pauli (2007) provano a valutare le conseguenze in termini di variazione del risparmio precauzionale, rilevando come la maggior esposizione ad eventi estremi aumenti la volatilità dei sistemi economici, con possibili ricadute sul flusso degli investimenti.

Un'altra grande questione riguarda la rappresentazione della dinamica temporale nei modelli di equilibrio economico generale. Tradizionalmente, i modelli economici dinamici possiedono una struttura stilizzata, spesso ridotta ad un unico settore, ed in cui è generalmente assente il commercio internazionale. Esistono, comunque, modelli CGE dinamici, con strutture particolarmente complesse e che vengono impiegati in applicazioni particolari. L'utilizzo di modelli di questo tipo in campo ambientale è allo stadio pionieristico. Con particolare riferimento al cambiamento climatico, si presenta anche l' enorme difficoltà di rendere compatibili modelli con orizzonti temporali assai diversi: raramente i modelli CGE dinamici considerano periodi futuri superiori a dieci anni dal tempo presente, mentre i modelli climatici tipicamente considerano orizzonti di cento anni ed anche più. Fornire una stima realistica della struttura dell'economia mondiale, della sua disaggregazione settoriale e dei flussi di commercio internazionale su periodi così lunghi supera le attuali capacità della comunità scientifica.

6. Sintesi conclusiva

Gli impatti macroeconomici del cambiamento climatico sono essenzialmente effetti di natura distributiva. Questo significa che si genereranno vincitori e perdenti tra soggetti, settori e regioni. Significa anche che il dato macroeconomico aggregato, nella sua natura di sommatoria di micro-effetti, può celare in realtà impatti anche molto rilevanti, che si possono verificare su scala inferiore.

In questo studio abbiamo presentato i risultati di un modello di simulazione che tiene conto della capacità intrinseca dei sistemi socio-economici di modificare la propria struttura, in risposta a segnali di prezzo provenienti dai mercati. Non tutti i possibili impatti del cambiamento economico hanno potuto essere presi in considerazione, per mancanza di dati o di evidenza scientifica (ad

esempio quelli relativi ad eventi estremi o quelli su biodiversità). Le nostre stime del danno macroeconomico da cambiamento climatico vanno quindi considerate dei valori minimi, sia perché alcuni impatti importanti non sono considerati, sia perché l'impatto è calcolato dopo che il sistema economico si è autonomamente adattato al cambiamento climatico. E questa transizione può implicare dei costi che il modello non quantifica.

Per l'Italia, è stato calcolato che il cambiamento climatico condurrebbe ad una perdita annua di Prodotto Interno Lordo compresa tra lo 0,12% e lo 0,16%, se la temperatura salisse di 0,93 °C nel periodo 2001-2050, e tra lo 0,16% e lo 0,20% se la variazione di temperatura fosse di +1,2 °C. Si registrerebbe una perdita di benessere equivalente alla riduzione di reddito nazionale (del 2050) di circa 20-30 miliardi di Euro a prezzi correnti. In Italia si registrerebbe un deterioramento delle ragioni di scambio, ovvero le importazioni costerebbero più delle esportazioni, e si assisterebbe ad un calo abbastanza significativo degli investimenti (tra 1,14% e 1,70%).

Cumulando il danno da cambiamento climatico nel corso di tutto il XXI secolo, si assisterebbe in Italia ad una perdita di PIL complessivo compresa tra 0,12% e 0,19% se la temperatura salisse di 0,93 °C nel periodo 2001-2050, e tra lo 0,20% e lo 0,38% se la variazione di temperatura in quel periodo fosse di +1,2 °C (la variazione di temperatura è stata estrapolata al 2100 seguendo gli scenari B1 e A2 dell'IPCC). I settori con i danni maggiori risulterebbero essere quello energetico, quello agricolo e quello dei servizi (con perdite che si aggirano intorno all'1-3% della produzione complessiva).

Riferimenti Bibliografici

- Alberini, A., Chiabai, A. (2007), *Quali sono i costi ed i benefici dell'adattamento rispetto ai rischi per la salute dell'uomo dovuti ai cambiamenti climatici?*, Report prepared for the APAT Workshop on "Cambiamenti climatici ed eventi estremi: rischi per la salute in Italia", Roma, 25 giugno 2007.
- Berritella, M., Bigano, A., Roson, R., Tol, R.S.J. (2006), "A General Equilibrium Analysis of Climate Change Impacts on Tourism", *Tourism Management*, vol.25(5), pp. 913-924.
- Beniston, M., Tol, R. S. J., Delecolle, R., Hoermann, G., Iglesias, A., Innes, J., McMichael, A. J., Martens, W. J. M., Nemesova, I., Nicholls, R. J., Toth, F. L. (1998), "Europe," in *The Regional Impacts of Climate Change -- An Assessment of Vulnerability, A Special Report of IPCC Working Group II*, R. T. Watson, M. C. Zinyowera, & R. H. Moss, eds. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 149-185.
- Bigano, A., Bosello, F., Marano, G. (2006). *Energy Demand and Temperature: a Dynamic Panel Analysis*, Fondazione ENI Enrico Mattei Working Paper No. 112.06.
- Bigano, A., Pauli, F. (2007), *Dimensioni socio-economiche, costi dell'inazione e strategie di adattamento per l'impatto del cambiamento climatico sul sistema idrogeologico italiano*, Report prepared for the APAT Workshop on "Cambiamenti climatici e dissesto idrogeologico: scenari futuri per un programma nazionale di adattamento", Napoli, 9-10 luglio 2007.
- Bosello, F., Marazzi, L., Nunes, P. A. L. D. (2007), *Le Alpi italiane e il cambiamento climatico: elementi di vulnerabilità ambientale ed economica, e possibili strategie di adattamento*, Report prepared for the APAT Workshop on "Cambiamenti climatici e ambienti nivo-glaciali: scenari e prospettive di adattamento", Saint-Vincent, 2-3 luglio 2007.
- Bosello, F., Roson, R., Tol, R.S.J. (2006), "Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health", *Ecological Economics*, vol.58(3), pp.579-591.
- Bosello, F., Roson, R., Tol, R.S.J. (2007), "Economy-wide Estimates of the Implications of Climate Change: Sea Level Rise", *Environmental and Resource Economics*, vol.37, pp. 549-571.
- Bijlsma, L., Ehler, C. N., Klein, R. J. T., Kulshrestha, S. M., McLean, R. F., Mimura, N., Nicholls, R. J., Nurse, L. A., Perez Nieto, H., Stakhiv, E. Z., Turner, R. K., Warrick, R. A. (1996), "Coastal Zones and Small Islands," in *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and*

Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses -- Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1 edn, R. T. Watson, M. C. Zinyowera, & R. H. Moss, eds. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 289-324.

Breil, M., Catenacci, M., Travisi, M. (2007), *Impatti del cambiamento climatico sulle zone costiere: Quantificazione economica di impatti e di misure di adattamento – sintesi di risultati e indicazioni metodologiche per la ricerca futura*, Report prepared for the APAT Workshop on “Cambiamenti climatici e ambiente marino-costiero: scenari futuri per un programma nazionale di adattamento”, Palermo, 27-28 giugno 2007.

Burniaux J-M., Truong, T.P., (2002) *GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model*, GTAP Technical Paper n.16 (www.gtap.org).

Calzadilla, A., Pauli, F., Roson, R., (2007) “Climate Change and Extreme Events: an Assessment of Economic Implications”, *International Journal of Ecological Economics and Statistics*, vol. 7(1), pp. 5-28, 2007

Dixon, P., Rimmer, M., (2002) *Dynamic General Equilibrium Modeling for Forecasting and Policy*, North Holland.

Gambarelli, G., Giupponi, C., Gorla, A. (2007), *La desertificazione, i costi dell'inazione e la valutazione delle opzioni di adattamento al cambiamento climatico*, Report prepared for the APAT Workshop on “Le variazioni climatiche e i processi di desertificazione: verso piani di monitoraggio e strategie di riduzione della vulnerabilità e di adattamento”, Alghero, 21-22 giugno 2007.

Hertel, T.W., (1996) *Global Trade Analysis: Modeling and applications*, Cambridge University Press.

Hertel, T.W., Tsigas, M. (2002), GTAP Data Base Documentation, Chapter 18.c “Primary Factors Shares” (www.gtap.org).

Hoozemans, F. M. J., Marchand, M., Pennekamp, H. A. 1993, *A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production at a Global Scale (second, revised edition)*, Delft Hydraulics, Delft.

IMAGE (2001), *The IMAGE 2.2 Implementation of the SRES Scenarios*, RIVM CD-ROM

Publication 481508018, Bilthoven, The Netherlands.

IPCC (2007), *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the IPCC. IPCC Fourth Assessment Report.

Martens, W. J. M., Jetten, T. H., Rotmans, J., Niessen, L. W. (1995), 'Climate Change and Vector-Borne Diseases -- A Global Modelling Perspective', *Global Environmental Change*, vol.5 (3), 195-209.

Martin, P. H., Lefebvre, M. G. (1995), 'Malaria and Climate: Sensitivity of Malaria Potential Transmission to Climate', *Ambio*, vol. 24 (4), 200-207.

McKibbin, W.J, Wilcoxon, P.J., (1998) The Theoretical and Empirical Structure of the GCubed Model, *Economic Modelling*, vol. 16(1), pp. 123–48.

Morita, T., Kainuma, M., Harasawa, H., Kai, K., Matsuoka, Y. (1994), *An Estimation of Climatic Change Effects on Malaria*, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba.

Murray, C. J. L., Lopez, A. D. (1996), *Global Health Statistics* Harvard School of Public Health, Cambridge.

Nicholls, R. J., Leatherman, S. P. (1995), "Global Sea-level Rise," in *When Climate Changes: Potential Impact and Implications*, K. M. Strzepek & J. B. Smith, eds. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.

Nicholls, R. J., Leatherman, S. P., Dennis, K. C., Volonte, C. R. (1995), "Impacts and Responses to Sea-Level Rise: Qualitative and Quantitative Assessments", *Journal of Coastal Research*, Special Issue 14, 26-43.

Roson, R. (2003), *Modelling the Economic Impact of Climate Change*, EEE working paper n.9, ICTP, 2003, and proceedings of the 2003 EcoMod Conference, Istanbul, July 2003.

Schlesinger, M.E., L.A. Williams (1998), *Country-Specific Model for Intertemporal Climate*, Electric Power Research Institute, Palo Alto.

Tol, R.S.J. (2002), "Estimates of the Damage Costs of Climate Change - Part 1: Benchmark Estimates.", *Environmental and Resource Economics*, vol. 21(2), 47-73.

Tol, R.S.J., T. Heinzow (2003), *Estimates of the External and Sustainability Costs of Climate*

Change, FNU-32, Centre for Marine and Climate Research, Hamburg University, Hamburg.