

EFFETTO SERRA: SIAMO PRUDENTI, STIAMO A GUARDARE

di Francesco Ramella (francesco.ramella@libero.it)

INTRODUZIONE

Il protocollo di Kyoto, sottoscritto da 160 Paesi, impone (una volta ratificato) ai 38 Paesi maggiormente sviluppati ed ai Paesi in via di transizione di ridurre entro il 2008-2012 le loro emissioni di gas serra in misura pari al 5% rispetto al 1990 (rispetto al 1995 per i fluorocarburi idrati, i perfluorocarburi e l'esafluoruro di zolfo).

La ratifica del protocollo di Kyoto è considerato il primo passo verso la stabilizzazione della concentrazione atmosferica dei gas serra "at a level¹ that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system" come previsto dalla Convenzione sui cambiamenti climatici del 1992.

La riduzione delle emissioni costituirebbe una misura precauzionale da intraprendere anche in assenza di una completa conoscenza del problema.

Ma qual è l'attuale conoscenza scientifica del fenomeno? La temperatura media del nostro pianeta è aumentata? Quali sono state e quali saranno in futuro le conseguenze dell'incremento della temperatura? La riduzione delle emissioni prevista dal protocollo di Kyoto è da considerarsi una misura precauzionale? Esistono approcci alternativi al problema in esame?

Cercheremo qui di dare una risposta a tali domande.

1 LA TEMPERATURA MEDIA DELLA TERRA E' AUMENTATA?

Non vi è dubbio che la concentrazione dei gas serra sia aumentata di oltre il 50% rispetto al livello del periodo preindustriale ed è largamente accettata la tesi secondo la quale tale incremento sia stato causato dalle emissioni antropogeniche (IPCC 2001).

Più articolata è la valutazione da farsi in merito all'evoluzione della temperatura.

Esistono tre principali metodi di misura della temperatura media del pianeta:

- i rilevamenti terrestri;
- i rilevamenti effettuati dai satelliti;
- i rilevamenti delle radiosonde.

¹ Tale livello non è definito: "In past geological periods CO₂ levels were up to 20 times greater than the present value without harming the climate system. There seem to be no obvious connections: while the large fluctuations of the Ice Ages of the past two million years arose after CO₂ levels had fallen to near-present levels, there was a period of widespread glaciation during the Ordovician (440 million years ago) when CO₂ levels were 15 times the present value. From published ice-core data one finds that climate fluctuations were much greater during the low CO₂ levels of the most recent ice age than at the higher CO₂ levels of the present warm interglacial (Holocene) period of the past 10.000 years. Does this result suggest that higher CO₂ levels promote more climate stability and therefore present less "danger to the climate system"? It is something the world should certainly ponder before embarking on economically ruinous policies of drastic emission cuts". (Singer 1998)

1.1 I rilevamenti terrestri

La temperatura globale, calcolata come media dei rilevamenti al suolo e sulla superficie marina, è aumentata nel corso del ventesimo secolo di circa $0,6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (IPCC 2001).

La serie storica delle temperature può essere schematicamente suddivisa in quattro periodi. Il primo (1900-1910) caratterizzato da una riduzione della temperatura di $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Il secondo, dal 1910 al 1945, cui corrisponde una crescita della temperatura pari a $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Il terzo (1945-1976) mostra una riduzione di circa $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Infine l'ultimo periodo, dal 1976 ad oggi, con un aumento pari a $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Esistono numerosi elementi che mettono in dubbio la veridicità della serie storica relativa alla temperatura globale calcolata come media dei rilevamenti effettuati al suolo (Daly 2000a). I principali fattori che causano un errore verso l'alto delle misurazioni sono i seguenti:

- 1) Errori causati dalla variazione delle condizioni ambientali dei luoghi ove sono posizionati gli strumenti di misura.

L'effetto isola di calore urbano. E' causato dall'assorbimento di calore nel corso delle ore diurne da parte degli edifici e delle strade, calore che viene restituito durante le ore notturne; tale fenomeno determina un incremento della temperatura rispetto alle aree rurali circostanti. Ai fini del calcolo della temperatura media globale sono stati introdotti fattori correttivi per tenere in considerazione tale effetto; poiché però sono state considerate come stazioni rurali di riferimento città con popolazione fino a 10.000 abitanti, la correzione apportata ai dati originali è solo parziale. Inoltre non esiste alcuna metodologia oggettiva che consenta di correggere le misurazioni per gli ultimi 10-15 anni (Michaels 2000).

Un altro elemento che falsa la misura della temperatura è rappresentato dalla crescita di vegetazione o dalla costruzione di edifici nell'intorno della stazione di rilevamento; si riduce così la possibilità di cessione di calore verso lo spazio ed il sistema di misura è soggetto alla radiazione infrarossa da parte degli elementi intorno allo stesso.

- 2) Errori dovuti a malfunzionamento degli strumenti o alle procedure di rilevazione.

Una non adeguata manutenzione delle stazioni di misura costituisce un altro fattore di errore; se il contenitore della strumentazione non viene mantenuto pulito e bianco aumenta l'assorbimento del calore e, dunque, il termometro registrerà un incremento fittizio della temperatura. Lo stesso termometro deve inoltre essere calibrato regolarmente in quanto esso tende a deformarsi inducendo anche in questo caso un errore verso l'alto della misurazione. Negli ultimi anni si è passati dalla rilevazione manuale a quella automatica: il contenitore del sistema di misura non viene più aperto e, in assenza della ventilazione dello strumento appena prima della misura, la rilevazione sarà leggermente più elevata rispetto a quella che si sarebbe registrata manualmente.

- 3) Errori causati dalla chiusura delle stazioni di misura.

A partire dall'inizio degli anni '80, nel quadro dei programmi volti al contenimento della spesa pubblica, è stato chiuso un elevato numero di stazioni di rilevamento, in particolare in ambito rurale e nell'emisfero meridionale ovvero nelle aree che facevano registrare i più modesti incrementi di temperatura introducendo così un ulteriore errore verso l'alto nel trend della temperatura media globale.

- 4) Errori causati dalla non omogenea copertura della superficie terrestre (in questo caso l'errore può risultare sia verso l'alto che verso il basso).

Esistono numerose aree della superficie terrestre, zone occupate da deserti, dalla tundra o da rilievi montuosi per i quali non sono disponibili rilievi di temperatura. In altri casi, ad

esempio la parte centrale dell'Australia, la temperatura di una vasta area è equiparata a quella di un singolo punto di misura.

Oltre il 70% della Terra è occupato dagli oceani. Poiché le misurazioni della temperatura dell'aria in tali aree sono assai limitate, al fine della ricostruzione dell'evoluzione storica della temperatura si è fatto riferimento alle misurazioni relative alla temperatura dell'acqua in corrispondenza del livello superficiale degli oceani rilevate dalle imbarcazioni commerciali e militari, ipotizzando che esistesse una forte correlazione fra i due parametri.

Una recente ricerca (Christy e altri 2001) ha però messo in dubbio la fondatezza di tale assunzione. Dal confronto fra le misure di alcune boe situate nella fascia tropicale dell'oceano Pacifico orientale relative al livello di 3 m sotto la superficie marina e quelle riferite ad un'altezza di 3 m sopra la stessa si è infatti riscontrato per il periodo che comprende gli anni '80 e '90², un differenziale nell'incremento di temperatura pari a 0,12 °C (+0,37 °C rilevato nell'acqua e + 0,25 °C nell'aria).

Si rileva infine come il riscaldamento del pianeta nello scorso secolo non sia stato uniforme. Nell'emisfero settentrionale, area per la quale è disponibile la maggior parte delle osservazioni e nella quale il trend di crescita della temperatura è risultato più elevato, il riscaldamento nel periodo invernale è risultato all'incirca doppio di quello del periodo estivo (+0,071 °C per decade contro 0,032 °C per decade) (Balling e altri 1998). Il 78% del riscaldamento nel periodo invernale è riconducibile alle variazioni di temperatura – da -40°C a -38 °C - registrate nelle aree più fredde, quelle occupate dalla Siberia e dalla parte nordoccidentale dell'America, che rappresentano circa il 25% della superficie complessiva (Michaels e altri 2000). All'infuori di tali aree il trend di crescita della temperatura è di soli +0,02 °C per decade (Michaels e altri 2000).

1.2 I rilevamenti dei satelliti e delle radiosonde

Qualora si faccia riferimento alle temperature misurate sia dai satelliti che dalle radiosonde nella troposfera, emerge un quadro differente rispetto a quello che si ricava dalle osservazioni al suolo.

Le misurazioni tramite radiosonde coprono il periodo dal 1958 ad oggi. Il trend della temperatura sull'intero periodo è pari a +0,08 °C per decade (Angell 2002).

Tale trend è pressoché interamente riconducibile all'incremento di temperatura occorso fra il 1976 ed il 1977 dovuto all'azione della Oscillazione Decadale del Pacifico. Tra il 1979 ed il 2001 il trend della temperatura è risultato lievemente negativo (-0,02 °C per decade).

Il trend della temperatura ricavato dai dati raccolti tramite le radiosonde presenta un elevato grado di correlazione con quello che deriva dai dati acquisiti tramite satelliti³ (Microwave Sounding Units) che coprono l'intera superficie terrestre e che fanno registrare un trend dal 1979 al 2001 pari a + 0,05 °C per decade (Christy e altri 2000) a fronte dell'aumento di 0,17 °C per decade del record terrestre (Jones e altri 2001).

² Per gli anni '80 e '90 sono inoltre disponibili misurazioni della temperatura dell'acqua in superficie tramite satelliti che utilizzano sensori a raggi infra-rossi. Tale misurazione consente di registrare la temperatura di uno strato d'acqua di pochi centimetri in quanto la lunghezza d'onda delle radiazioni (intorno ai 10 micron) non consente alle stesse di penetrare l'acqua. Ciò può determinare errori di misura sia verso l'alto che verso il basso. Per questo il margine d'errore di tali misure è di qualche decimo di grado tale da rendere le stesse inutilizzabili per verificare variazioni di temperatura dello stesso ordine di grandezza (Daly 2000a).

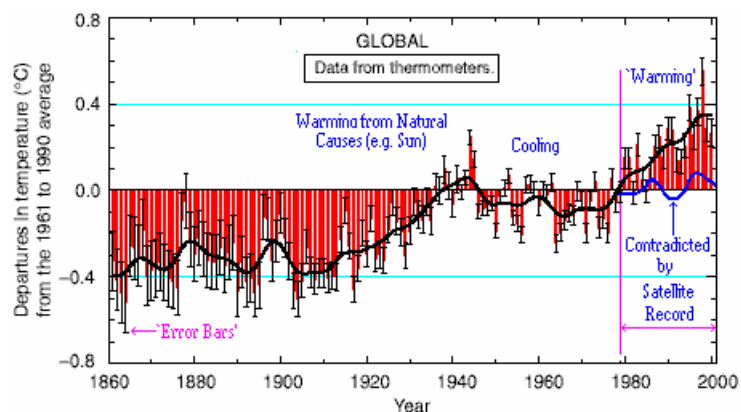
³ Sono state però riscontrate differenze confrontando i dati raccolti tramite satelliti e quelli delle singole radiosonde (Hurrell e altri 2000)

L'oggetto delle misurazioni dei satelliti e di quelle sulla superficie terrestre è, come ovvio, diverso.

Ma, secondo la teoria alla base dei modelli utilizzati per la previsione dell'evoluzione del clima afferma, l'aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera dovrebbe provocare inizialmente un riscaldamento della stessa e successivamente una redistribuzione del calore verso la superficie terrestre; dunque, non è possibile che si verifichi un incremento della temperatura sulla superficie della terra in assenza di un riscaldamento dell'atmosfera.

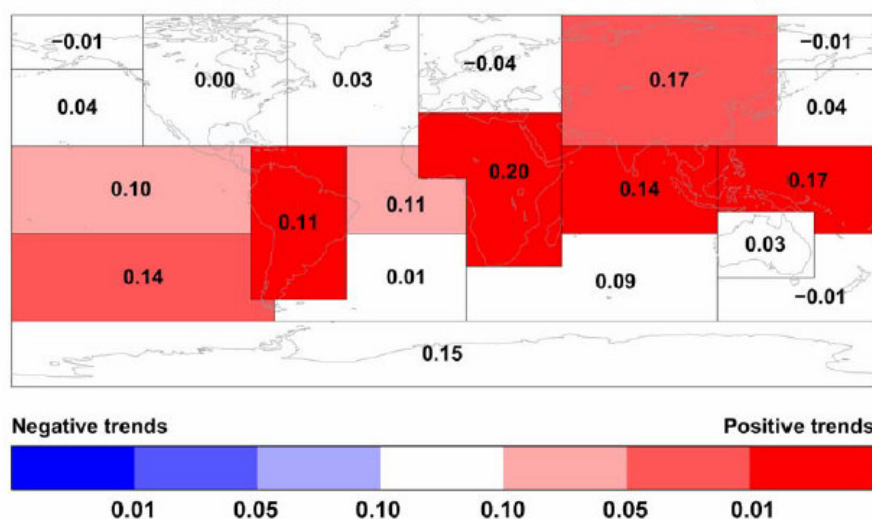
E' inoltre interessante rilevare come la divergenza fra le misurazioni a terra e quelle dei satelliti non sia omogenea su tutta la superficie terrestre e come in corrispondenza delle aree per le quali sono disponibili i dati più affidabili, Europa occidentale, Stati Uniti ed Australia, la differenza fra i due record sia minima (Figura 2).

Figura 1 – Evoluzione della temperatura media della superficie terrestre (1860-2000) e di quella della parte inferiore della troposfera (1979 – 2000)



Fonte: Daly 2000a

Figura 2 – Scostamenti dell'evoluzione delle temperature nelle diverse regioni della Terra rispetto a quelle della parte inferiore della troposfera dal 1979 – 2000 (°C/decade)



Fonte: US Climate Change Science Program 2002

In particolare, non si riscontra alcuno scostamento nel caso degli Stati Uniti, Paese per il quale è disponibile il più affidabile ed esteso record di temperatura. Secondo tale record, i più elevati valori di temperatura nello scorso secolo sono quelli registrati negli anni '30.

1.3 Un riscaldamento senza precedenti?

Secondo l'IPCC (2001: 3), "the rate and duration of warming of the 20th century has been much greater than in any of the previous nine centuries. Similarly, it is likely that the 1990s have been the warmest decade and 1998 the warmest year of the millennium".

Tale affermazione si basa sulle risultanze del lavoro di Mann e altri (1999) che hanno ricostruito l'evoluzione della temperatura nell'ultimo millennio sulla base dell'analisi degli anelli degli alberi e, per gli ultimi cento anni, con riferimento alle misurazioni dirette della stessa.

L'analisi degli anelli degli alberi come *proxy* della temperatura è però scarsamente affidabile; infatti, gli stessi anelli (Daly 2000b):

- 1) si accrescono solamente durante alcuni mesi e non possono quindi fornire indicazioni utili per la ricostruzione del clima nell'arco di un intero anno;
- 2) non consentono di ricostruire la temperatura notturna poiché la fotosintesi si sviluppa solamente nel corso delle ore diurne;
- 3) non consentono di ricostruire la temperatura della superficie marina (71% del pianeta);
- 4) infine, la loro crescita è correlata ad altri fattori oltre che alla temperatura.

Inoltre, i risultati cui è pervenuto Mann sono stati contraddetti dallo studio di Esper e altri (2002) basato sull'analisi degli anelli degli alberi in quattordici siti nelle regioni extra-tropicali dell'emisfero settentrionale.

Secondo tale studio, nel corso dell'ultimo millennio il clima non è risultato affatto stabile: il record della temperatura testimonia infatti la presenza della Piccola Età Glaciale a metà del millennio oltre che del Periodo Caldo Medievale nell'intero emisfero settentrionale con un picco di temperatura intorno all'anno 950.

Una serie di studi relativi a numerose *proxy* sull'intero pianeta che attestano l'esistenza a scala planetaria di tali anomalie climatiche è presentata in Soon e altri (2003: 1). Secondo lo studio inoltre "many records reveal that the 20th century is likely *not* the warmest nor a uniquely extreme climatic period of the last millennium, although it is clear that human activity has significantly impacted some local environments".

Occorre infine sottolineare come una serie di recenti *proxy* non attestino alcun riscaldamento della superficie terrestre negli ultimi decenni (ad esempio Naurzbaev e altri 2000).

2 AUMENTERÀ IN FUTURO LA TEMPERATURA DELLA TERRA?

L'IPCC (2001) stima che, nel corso del XXI° secolo, la temperatura media della Terra possa aumentare tra gli 1,4 ed i 5,8 °C.

Si perviene a tale previsione tramite l'utilizzo di modelli matematici che pongono in relazione il livello di concentrazione dei gas serra nell'atmosfera con la temperatura del pianeta.

2.1 I modelli sono strumenti affidabili per le previsioni dell'evoluzione del clima?

Affinché un modello possa essere considerato uno strumento valido per le previsioni future occorre che esso sia in grado di riprodurre in modo sufficientemente accurato il *trend* reale della temperatura: ebbene, i modelli fino ad oggi elaborati non soddisfano questo requisito.

Nelle parole di V. Gray (2002: 57): "A computer-based mathematical model of any process or system is useless unless it has been validated. Validation of such a model involves the testing of each equation and the study of each parameter, to discover its statistically based accuracy using a range of numerically based probability distributions, standard deviations, correlation coefficients and confidence limits. The final stage is a thorough test of the model's ability to predict the results of changes in the model parameters over the entire desired range. No computer model has ever been validated. Without a validation procedure, no model should be considered to be capable of providing a plausible prediction of future behaviour of the climate".

Nella sua testimonianza davanti alla Commissione "Commercio" del Congresso degli Stati Uniti, R. S. Lindzen (2001: 3) afferma che: "large computer climate models are unable to even simulate major features of past climate such as the 100 thousand year cycles of ice ages that have dominated climate for the past 700 thousand years and the very warm climates of the Miocene, Eocene and Cretaceous. Neither do they do well at accounting for shorter period and less dramatic phenomena like El Niños, quasi-biennial oscillations, or intraseasonal oscillations – all of which are well documented in the data and important contributors to natural variability".

Per quanto riguarda la capacità di riprodurre il clima dello scorso secolo, l'IPCC (Houghton e altri 1996) ammetteva che i modelli sviluppati all'inizio degli anni '90 stimavano un incremento della temperatura causato dall'aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera molto maggiore di quello effettivamente registrato.

E' stata quindi avanzata l'ipotesi che il riscaldamento della Terra indotto dai gas serra sia stato in parte mascherato dall'azione di altri prodotti della combustione (aerosols) dei quali peraltro, a tutt'oggi, non è stata quantificata con accuratezza né la quantità né la capacità di assorbimento dell'energia irradiata.

Per testare la validità di questa ipotesi sono state confrontate le previsioni dei modelli originali (che non tenevano in considerazione l'effetto degli aerosols) con le misure della temperatura nelle varie zone della Terra (Michaels e Knappenberger 1994). Qualora l'ipotesi del raffreddamento causato dagli aerosols fosse fondata, tali modelli dovrebbero fornire i migliori risultati nelle zone prive degli stessi ossia l'emisfero meridionale e le regioni polari mentre gli scostamenti rispetto all'evoluzione reale della temperatura dovrebbero essere maggiori nelle aree dove più elevata è la concentrazione di tali sostanze ossia l'Europa, la parte orientale del Nord America e l'Asia orientale.

Al contrario, i modelli "senza aerosols" riproducono più accuratamente l'evoluzione della temperatura nelle regioni ove è massima la concentrazione degli stessi aerosols.

Tale constatazione conferma ulteriormente la scarsa affidabilità dei modelli finora sviluppati per la stima dell'evoluzione futura del clima.

2.1.1 Può l'effetto precedere la causa?

L'ipotesi di base dei modelli utilizzati per la previsione dell'evoluzione futura del clima è che un incremento della concentrazione di CO₂, intensificando l'effetto serra naturale, determini un surriscaldamento della Terra.

L'analisi delle serie storiche relative all'evoluzione della temperatura e della CO₂ sembra in effetti mostrare una forte correlazione.

Fischer e altri (1999) hanno ricostruito la serie storica della concentrazione della CO₂ e della temperatura negli ultimi 250mila anni sulla base dell'analisi di carote di ghiaccio in Antartide.

Durante questo intervallo di tempo i tre episodi di riscaldamento più rilevanti sono quelli avvenuti al termine delle ultime tre ere glaciali: in ciascuno di questi episodi l'incremento della temperatura precede quello della CO₂ di un periodo compreso fra i 400 ed i 1.000 anni.

Né fu preceduto da una riduzione della concentrazione della CO₂ l'inizio dell'ultima era glaciale: al contrario, nell'arco di un periodo di circa 15.000 anni la temperatura si abbassò fino a raggiungere i valori caratteristici di un'era glaciale e, quando la quantità di CO₂ nell'atmosfera iniziò a diminuire, la temperatura risultò stabile per alcuni millenni ed in crescita nei successivi 6mila anni.

L'ipotesi secondo la quale un significativo incremento della CO₂ debba necessariamente determinare un drammatico aumento della temperatura non trova quindi riscontro nella passata evoluzione del clima.

2.2 Sono realistici i parametri introdotti nei modelli di previsione?

2.2.1 Le concentrazioni di gas serra

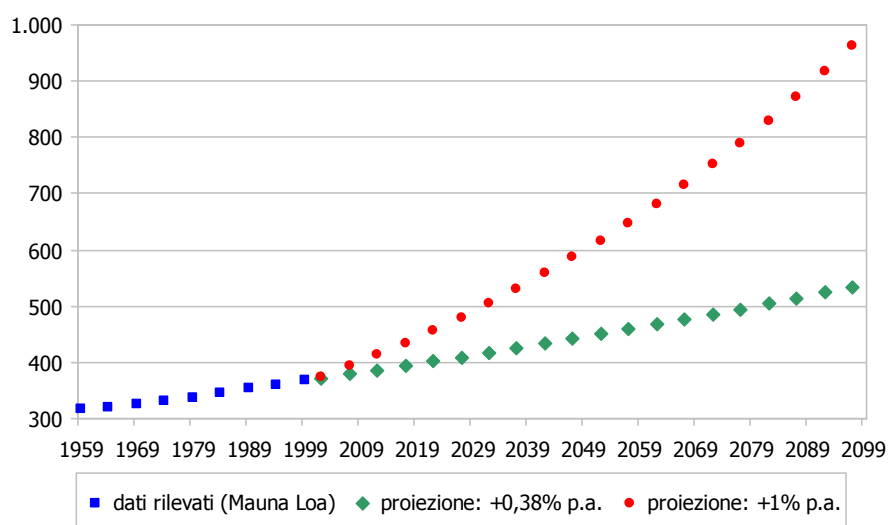
L'assunzione di base della maggior parte dei modelli utilizzati per la previsione dell'evoluzione del clima è la crescita della concentrazione di CO₂ ad un tasso pari al 1% annuo (Houghton e altri 1996: 538-540). Ma, come riconosce l'IPCC (Houghton e altri 1996: 533): "The CO₂ content in the atmosphere has not and likely will not, increase at this rate"; aggiunge però lo stesso IPCC: "if regarded as a proxy for all greenhouse gases, however, an "equivalent CO₂ increase of 1% a year does give a forcing within the range of SRES [Special report on emissions scenarios] scenarios".

In realtà, il peso percentuale degli altri gas serra si è ridotto negli ultimi decenni. In particolare la concentrazione del metano è andata stabilizzandosi negli ultimi anni⁴.

Una ipotesi alternativa in merito all'evoluzione della concentrazione di CO₂ è stata avanzata da Idso e Idso (2001); essa si basa sulla correlazione fra popolazione del pianeta e concentrazione dell'anidride carbonica negli ultimi 350 anni: la quantità di CO₂ nell'atmosfera risulta direttamente proporzionale alla popolazione. Sulla base della previsione che il numero di abitanti della Terra raggiungerà un massimo di circa 9 miliardi di abitanti intorno all'anno 2070 (Lutz e altri 2001), si ipotizza che la CO₂ raggiungerà un picco di 421 ppm per successivamente riportarsi a valori inferiori.

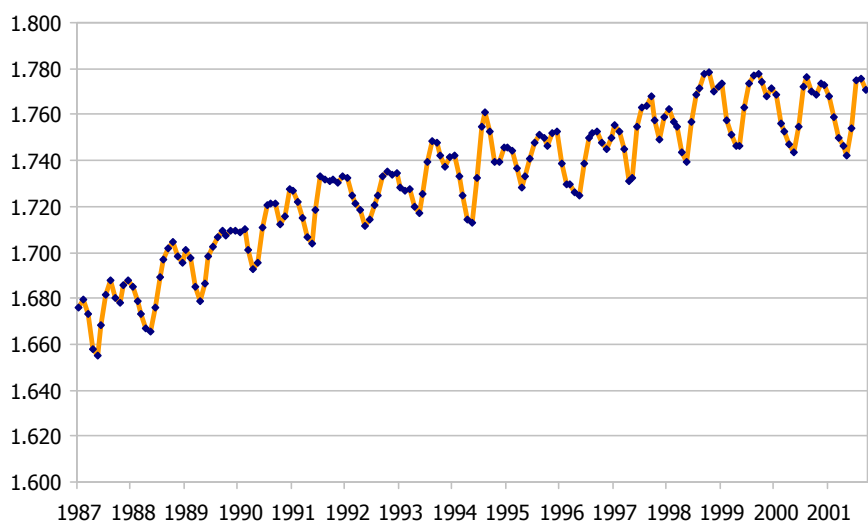
⁴ "The cause of stabilization is not completely known, but there is no doubt that airplanes have helped. Like automobiles, aircraft emit nitrogen oxides (NO_x) as a result of high-temperature combustion. At surface, NO_x cooks in sunlight to form low level ozone (O₃). At flight level, the sun is much more intense, and the propensity to form ozone is even greater. Ozone breaks down ultimately to OH[•], known as hydroxyl radical, which is highly reactive with methane. So airplanes ultimately accelerate the removal of methane from the atmosphere" (Michaels e altri 2000: 32-33)

Figura 3 – Concentrazione della CO₂ nell'atmosfera [ppmv]



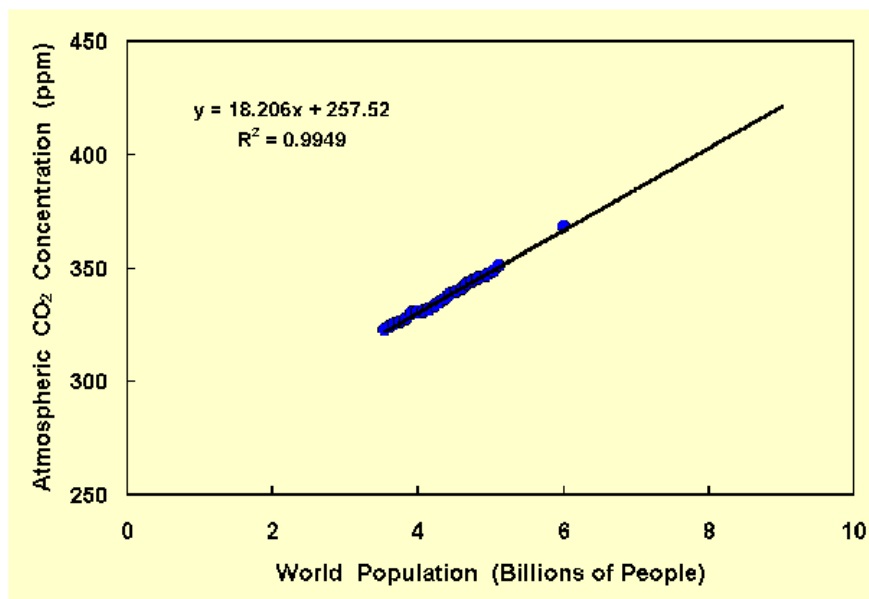
Fonte: nostra elaborazione su dati Keeling e altri 2002; Houghton e altri 2001

Figura 4 – Concentrazione del metano nell'atmosfera misurata nella stazione di Mauna Loa, Hawaii [ppbv]



Fonte: nostra elaborazione su dati WMO World Data Centre for Greenhouse Gases 2003

Figura 5 – Correlazione fra concentrazione della CO₂ in atmosfera e popolazione mondiale



Fonte: Idso e Idso 2001

2.2.2 Una crescita economica non realistica?

Le ipotesi relative alla crescita economica utilizzate come input degli scenari di evoluzione delle emissioni di gas serra da parte dell'IPCC sono state recentemente criticate da Ian Castles del National Centre for Development Studies della Australian National University, già capo dell'Ufficio statistico nazionale australiano e da David Henderson della Westminster Business School, già capoeconomista dell'OECD.

E' stata in particolare messa in discussione la metodologia adottata dall'IPCC per la stima dei PIL dei diversi Paesi calcolati sulla base dei tassi di cambio di mercato.

Tale metodologia fa sì che l'attuale divario esistente fra Paesi poveri e Paesi ricchi sia sovrastimata rispetto a quella che si avrebbe esprimendo i valori dei PIL in base al criterio della parità del potere di acquisto, oggi accettata dai maggiori organismi internazionali.

Poiché gli scenari dell'IPCC prevedono una progressiva riduzione del divario della ricchezza fra i diversi Paesi, l'assunzione di valori attuali di ricchezza per i Paesi poveri inferiori a quelli reali implica la previsione di tassi di crescita assai elevati, tassi che non hanno riscontro nel passato.

Tale sovrastima riguarda tutti gli scenari formulati dall'IPCC, compresi quelli caratterizzati dai tassi di crescita più contenuti.

Ad esempio, nello scenario che prevede la minor crescita di emissioni, il reddito procapite di Paesi quali Sud Africa, Algeria, Argentina, Libia, Turchia e Nord Corea alla fine di questo secolo è stimato essere superiore a quello degli Stati Uniti.

Nello scenario caratterizzato dalle più elevate stime di crescita, il PIL procapite del Sud Africa, che oggi è il 12% di quello degli Stati Uniti, sarebbe pari al doppio di quello degli USA nel 2050.

La ricchezza procapite al 2100 in Asia sarebbe compresa, a seconda dello scenario preso in considerazione, fra 70 e 140 volte il livello attuale; a termine di paragone, si fa

notare come negli Stati Uniti nel corso del diciannovesimo secolo il reddito medio è aumentato in termini reali di cinque volte (di 20 volte in Giappone).

In alcuni scenari inoltre, la previsione della crescita delle emissioni non è stata determinata in funzione dello sviluppo economico ma è stata assunta *a priori*.

2.3 Un modesto riscaldamento del pianeta?

Sebbene le previsioni di crescita della temperatura nel corso del prossimo secolo varino in un intervallo assai ampio, i modelli utilizzati per le previsioni sono caratterizzati dalla stessa forma funzionale.

Tutti i modelli prevedono infatti una crescita della temperatura nel prossimo secolo con andamento lineare (Michaels e altri 2000). Il parametro che differenzia i vari modelli è il tasso annuo di crescita della temperatura.

Un andamento lineare è quello che è stato registrato (misure al suolo) negli ultimi trent'anni con un riscaldamento pari a 0,15 °C per decade. Lean e Rind (1998) hanno stimato che una quota del riscaldamento rilevato, pari a 0,02 °C per decade, sia riconducibile all'incremento dell'attività solare. Depurando l'aumento di temperatura da questo contributo, il tasso di crescita si attesterebbe intorno ai 0,13 °C per decade e, quindi, la temperatura al termine di questo secolo potrebbe risultare maggiore di 1,3 °C rispetto a quella attuale (ossia ad un livello inferiore a quello minimo stimato dall'IPCC).

3 COSTI E BENEFICI DEL RISCALDAMENTO

In base alle stime di Nordhaus (1994), in buon accordo con quelle avanzate dall'IPCC, la ricchezza prodotta a livello mondiale nel 2100 in presenza di un raddoppio della concentrazione di CO₂ risulterebbe inferiore dell'1-2% rispetto a quelle che si registrerebbe in assenza di effetto serra. Poiché, ipotizzando un tasso di crescita annua dell'1,5%, la ricchezza procapite nel 2100 si attesterebbe intorno a quattro volte il livello attuale, l'impatto del riscaldamento globale risulterebbe assai limitato. Esso equivarrebbe a raggiungere nel 2101 il livello di ricchezza che, in assenza dell'effetto serra, verrebbe conseguito nell'anno 2100.

E' prevedibile che l'impatto sarà diversificato nelle diverse aree della Terra: positivo per i paesi sviluppati dislocati principalmente nelle aree temperate o fredde ma negativo per i Paesi poveri dove la temperatura media è più elevata, il suolo agricolo più povero, la tecnologia e le infrastrutture meno sviluppate.

Tra i principali effetti negativi di un incremento della temperatura vengono abitualmente citati i seguenti:

- a) l'innalzamento del livello del mare;
- b) gli impatti sulla salute umana: diffusione di malattie quali colera, malaria, febbre gialla, effetti correlati ad episodi di caldo anomalo;
- c) l'incremento della frequenza di eventi meteorologici estremi.

3.1 Innalzamento del livello del mare

L'innalzamento del livello del mare è un fenomeno reale che ha avuto inizio circa quindicimila anni fa con l'aumento della temperatura seguita alla fine dell'ultima era glaciale: da allora il livello del mare è cresciuto complessivamente di 120 metri. Tale fenomeno continuerà in futuro con il procedere dello scioglimento dell'Antartide, indipendentemente da qualsiasi influenza sul clima dell'attività umana.

La stima dell'incremento del livello del mare di 10-20 cm nello scorso secolo (IPCC 2001) non deriva da misurazioni empiriche ma dalla combinazione di misurazioni e di calcoli modellistici sviluppati per tenere in considerazione il rialzo della superficie terrestre al termine dell'ultima era glaciale (Post Glacial Rebounds) ed i movimenti tettonici (Daly 2000c); tali modelli sono principalmente riferiti al bacino dell'Atlantico settentrionale.

Negli altri oceani l'evidenza di un incremento del livello del mare è assai più debole. In particolare la costa australiana, rappresentativa del livello di tre oceani, mostra una crescita di soli 1,6 cm nell'intero secolo. Non si registra alcun incremento del livello del mare in numerose isole dell'Oceano Pacifico.

Inoltre, esaminando in dettaglio la variazione del livello del mare e quello della temperatura nello scorso secolo, Singer (1999) non ha riscontrato alcuna correlazione fra i due fenomeni: in particolare non si registra alcun incremento del livello del mare nel periodo compreso fra il 1920 ed il 1940 caratterizzato da un riscaldamento di circa 0,3 °C. Ciò attesterebbe che, nelle attuali condizioni climatiche, l'effetto dello scioglimento dei ghiacci e dell'espansione termica degli oceani dovuta al riscaldamento è minore di quello correlato alla maggior evaporazione degli stessi oceani ed al successivo accumulo di ghiaccio in Antartide e Groenlandia: secondo tale teoria un eventuale riscaldamento futuro avrebbe l'effetto di moderare anziché accelerare la velocità di crescita del livello dei mari.

A partire dall'anno 1992 sono disponibili i rilevamenti dell'altezza dell'intera superficie marina acquisiti tramite i satelliti Topex/Poseidon (le altre misure fanno riferimento solamente alle zone costiere): il trend di crescita del livello del mare è pari a 2,3 mm all'anno a fronte di una previsione dell'IPCC per il prossimo secolo che varia fra gli 0,9 e gli 8,8 mm all'anno⁵.

Inoltre, l'incremento del livello del mare non è un fenomeno omogeneo: Tsimplis e Baker (2000) hanno verificato che il livello del Mar Mediterraneo è diminuito negli ultimi 40 anni di circa 5 cm: tale evoluzione sarebbe riconducibile ai cambiamenti della circolazione atmosferica nell'area del Nord Atlantico, ed alla variazione della temperatura e della salinità nelle acque profonde dello stesso Mediterraneo.

Per quanto concerne le stime dei danni alle infrastrutture costiere, l'IPCC afferma che l'entità dei danni potrebbe ammontare a decine di miliardi di dollari per paesi quali Egitto, Polonia e Finlandia. Ma, come osservato da Lomborg (2001), tali danni si verificherebbero solo in assenza di misure volte a prevenirli. Ad esempio, nel caso della Polonia, i potenziali danni correlati ad un incremento del livello del mare di 100 cm, compresi fra 28 e 46 miliardi di dollari, potrebbero essere evitati con l'adozione di sistemi di protezione dalle inondazioni il cui costo ammonterebbe a 6,1 miliardi di dollari.

3.2 Salute umana

Le potenziali conseguenze negative più rilevanti sulla salute umana di un riscaldamento del pianeta sono due: l'incremento della mortalità correlata agli episodi di caldo anomalo e la diffusione di malattie diffuse dagli insetti, in particolare la malaria.

Per quanto riguarda le conseguenze degli episodi di caldo anomalo è stato dimostrato (Keatinge e altri 2000) come nei Paesi europei l'incremento della mortalità non si verifichi in corrispondenza di una temperatura fissa ma quando in ciascuna località la temperatura si attesta su valori significativamente più elevati di quelli usuali (intorno ai 17.3 °C in Finlandia, 22.3 °C a Londra e 25.7 °C ad Atene). Ciò dimostra come la popolazione sia in grado di

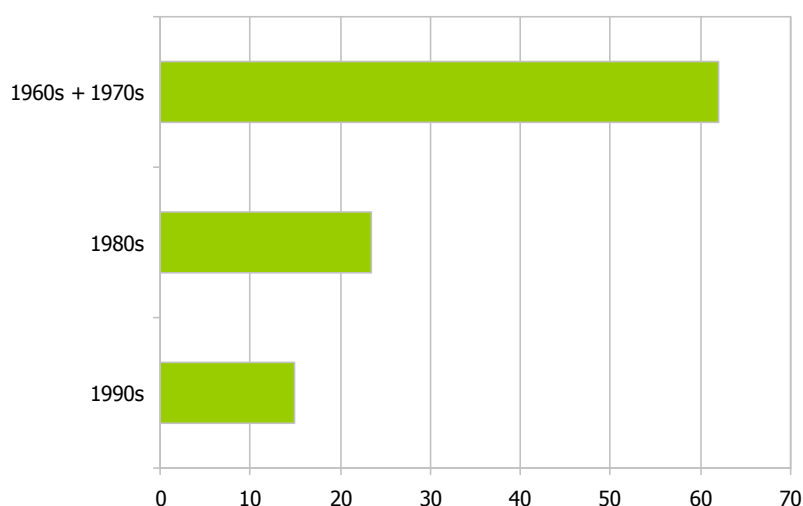
⁵ Le previsioni relative al futuro innalzamento sono state progressivamente ridimensionate: le prime ipotesi prevedevano un rialzo di 2 o 3 m per un raddoppio della CO₂ e, agli inizi degli anni '90, la stima era compresa fra i 31 ed i 110 cm (Singer 1999).

adattarsi alle diverse condizioni climatiche quali quelle che potrebbero essere indotte da un eventuale riscaldamento del pianeta.

Un altro studio (Davis e altri 2002) relativo ad alcune delle maggiori aree metropolitane dell'area orientale degli Stati Uniti ha dimostrato come a partire dagli anni '60 i tassi di mortalità relativi ad episodi di temperature anomale ed il numero assoluto di decessi siano drasticamente diminuiti: tale evoluzione è riconducibile oltre che alle capacità di adattamento biofisiche, al miglioramento dell'assistenza medica e alla maggior diffusione degli impianti di aria condizionata.

Nella città di Boston, ad esempio, si è passati da una media di 60 decessi per milione di abitanti nel corso degli anni '60 e '70 ai circa 15 decessi per milione di abitanti negli anni '90, pur in presenza di un modesto incremento della temperatura nel periodo estivo e dell'invecchiamento della popolazione.

Figura 6 – Numero medio di decessi per milione di abitanti correlati ad episodi di caldo anomalo nella città di Boston dal 1960 al 2000



Fonte: nostra elaborazione su dati Davis e altri 2002

Occorre inoltre ricordare che il numero di morti correlato ad episodi di basse temperature è più elevato di quello attribuibile a quelle più elevate della media: un aumento della temperatura, in particolare se concentrato nel periodo invernale, potrebbe determinare quindi un beneficio complessivo netto. Bentham (1997) stima che un incremento della temperatura media di 3 °C in Gran Bretagna determinerebbe una riduzione del numero di decessi per anno pari a 17.500 unità.

Con riferimento alla diffusione di malattie, è forse sufficiente ricordare che malaria e febbre gialla erano molto più diffuse in Europa ed in Nord America nel secolo scorso, in presenza di una temperatura media più bassa, di quanto non lo siano oggi (la malaria era malattia endemica in Europa anche nel corso della Piccola Età Glaciale). Infatti, l'elemento decisivo ai fini della diffusione di tali malattie non è rappresentato dalla temperatura ma, piuttosto, dalle condizioni sanitarie ed abitative in cui vive la popolazione.

Il riemergere di malattie trasmesse da vettori in diverse parti del globo (la malaria nella Provincia di Henan in China, la malaria e la dengue fever nell'America meridionale, il colera in Perù e Ruanda) sembra essere riconducibile più alla urbanizzazione che può portare ad un

peggioramento delle condizioni sanitarie e facilitare il diffondersi di malattie infettive oltre che alla riduzione dell'uso del DDT ed alla clorinazione dell'acqua che non all'incremento della temperatura. In molti paesi in via di sviluppo l'incidenza della malaria è diminuita, aumentata e nuovamente diminuita in stretta correlazione con il tasso di irrorazione delle abitazioni (Goklany 2000).

3.3 Fenomeni meteorologici estremi

Per quanto riguarda gli eventi meteorologici estremi, è lo stesso IPCC (2001: 5) a negare che la loro frequenza sia aumentata in misura significativa durante il ventesimo secolo: "Changes globally in tropical and extra-tropical storm intensity and frequency are dominated by inter-decadal to multi-decadal variations, with no significant trends evident over the 20th century. Conflicting analyses make it difficult to draw definitive conclusions about changes in storm activity, especially in the extra-tropics. No systematic changes in the frequency of tornadoes, thunder days, or hail events are evident in the limited areas analysed".

Tale evoluzione è coerente con il fatto che "the most important energy source for extratropical storms is the temperature difference between the tropics and the poles which is predicted by computer models to decrease with global warming. This also implies reduced temperature variation associated with weather since such variations result from air moving from one latitude to another" (Lindzen 2001: 3).

A partire dal 1944, quando ebbero inizio le ricognizioni aeree del fenomeno, il numero e l'intensità degli uragani nell'Oceano Atlantico (zona per la quale si dispone dei dati più accurati) sono diminuiti (Landsea 1996).

La frequenza degli episodi di precipitazioni intense nell'Emisfero settentrionale è aumentata di un modesto 2-4% (IPCC 2001).

3.4 Agricoltura

Migliaia di esperimenti hanno dimostrato che un aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera favorisce, tranne pochissime eccezioni, la crescita delle piante attraverso una serie di effetti (Idso 2001):

- 1) la fertilizzazione aerea: questo effetto fa sì che in corrispondenza di un incremento della concentrazione di CO₂ pari a 300 ppm la produttività dei vegetali erbacei s'incrementi di un terzo mentre quella dei vegetali lignificati si accresca del 50% o più;
- 2) il miglioramento dell'efficienza nell'uso dell'acqua da parte delle piante. La principale conseguenza di tale effetto è l'estensione dell'area di vegetazione delle piante in zone che risultavano in precedenza troppo secche. A sua volta tale fenomeno riduce l'erosione del suolo e la tendenza alla desertificazione;
- 3) più elevati livelli di CO₂ consentono alle piante di adattarsi meglio a numerosi stress ambientali quali una bassa fertilità del suolo, una modesta intensità della luce, l'elevata salinità del suolo e dell'acqua, l'elevata temperatura dell'aria, ecc. Una serie di esperimenti hanno mostrato come l'incremento della concentrazione di CO₂ determina un innalzamento della temperatura alla quale le piante vegetano in condizioni ottimali;

Un recente studio (Alexandrov and Hoogenboom 2000a) ha dimostrato come negli Stati Uniti gli effetti negativi della crescita della temperatura e della riduzione delle precipitazioni sulla resa di soia ed arachidi (due coltivazioni per le quali è stato ipotizzato un impatto negativo del riscaldamento globale) sarebbero più che compensati da quelli positivi derivanti dall'aumento della concentrazione della CO₂ nell'atmosfera. Analoghi

risultati sono stati ottenuti con riferimento alla coltivazione del grano in Bulgaria (Alexandrov and Hoogenboom 2000b);

- 4) la maggior crescita delle foreste indotta dall'aumento della CO₂ determina inoltre un accrescimento della capacità di assorbimento della stessa CO₂ da parte del suolo terrestre⁶.

Più in generale, il vincolo principale per la produzione agricola a livello mondiale è rappresentato dal freddo piuttosto che dal caldo: non vi è sostanzialmente nessuna area della Terra troppo calda o umida per la crescita di patate, della cassava, o delle banane mentre la coltivazione di grano, soia e riso è limitata nell'area compresa fra 45° di latitudine nord e sud.

E' quindi verosimile che un modesto riscaldamento comporti un beneficio complessivo all'agricoltura, come confermato dall'IPCC (McCarthy e altri 2001).

Modesti effetti negativi potrebbero verificarsi nei paesi poveri solo in presenza di un rapido e del tutto irrealistico incremento della temperatura (+ 4,0 ÷ 5,2 °C al 2060).

4 IL PROTOCOLLO DI KYOTO ED IL PRINCIPIO DI PRECAUZIONE

Pur in assenza di certezze scientifiche definitive in merito al problema del riscaldamento del pianeta, l'adozione del protocollo di Kyoto viene da più parti caldeggiata sulla base del cosiddetto "principio di precauzione".

L'articolo 3.3 della Convenzione sui cambiamenti climatici del 1992 afferma: "The parties should take precautionary measures to anticipate, prevent or minimise the causes of climate change and mitigate its adverse effects. Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty should not be used as a reason for postponing such measures, taking into account that policies and measures to deal with climate change should be cost effective so as to ensure global benefits at the lowest possible cost" (United Nations 1992: 9).

Un'altra formulazione del principio di precauzione si ritrova nella Dichiarazione di Wingspread: "When an activity raises threats of harm to human health or the environment, precautionary measures should be taken even if some cause and effect relationships are not established scientifically".

Tale argomentazione non tiene nella dovuta considerazione il fatto che l'adozione di misure precauzionali può, a sua volta, causare nuove e più gravi minacce (o aggravare quelle esistenti) per l'uomo e per l'ambiente.

E' quanto accadrebbe con l'adozione di politiche quali quelle previste dal protocollo di Kyoto, volte a ridurre le emissioni di gas serra più velocemente di quanto non accadrebbe naturalmente grazie al miglioramento della tecnologia.

Qualora il contenimento delle emissioni previsto dal protocollo di Kyoto fosse conseguito, si avrebbe una riduzione della temperatura al 2100 rispetto allo scenario tendenziale pari a circa 0,15 °C (Nordhaus and Boyer 1999; Parry e altri 1998).

I benefici maturati sarebbero quindi del tutto marginali: ad esempio il minor incremento del livello del mare sarebbe pari a 2,5 cm (Wigley 1998).

Quali sarebbero le conseguenze negative?

- 1) Una minor crescita economica per i Paesi obbligati a ridurre le emissioni.

⁶ "North American vegetation is growing so fast that it may be absorbing the entire annual carbon dioxide emissions from the United States and Canada" (Michaels e altri 2000: 177)

In base ai dati riportati da Lomborg (2001: 303-304), il costo del protocollo di Kyoto per Stati Uniti, Europa, Giappone, Canada, Australia e Nuova Zelanda ammonterebbe a circa l'1% del PIL nel 2010. Tale costo sarebbe destinato a crescere per i Paesi dell'OECD al 2% del PIL nel 2050 ed al 4% a fine secolo.

ICCF (2002) stima, nell'ipotesi che gli Stati Uniti non ratifichino il protocollo, una riduzione del PIL nel 2010 rispetto all'evoluzione tendenziale pari al 2,9% per la Germania, all'1,9% per l'Olanda, e all'1,8% nel Regno Unito. Il numero di disoccupati nei tre Paesi aumenterebbe di circa 1,5 milioni di unità. Il prezzo del gasolio da riscaldamento potrebbe aumentare di oltre il 20%. La benzina ed il gasolio da autotrazione salirebbero di una percentuale compresa fra il 5 ed il 10%. Il prezzo dell'energia elettrica raddoppierebbe. Per l'Italia, ICCF (2003) prevede una riduzione del PIL pari allo 0,5% ed una diminuzione dell'occupazione pari a circa 50mila unità (nello scenario di riferimento è stato assunto che le azioni correnti potranno raggiungere il 43% delle riduzioni previste nell'obiettivo di Kyoto mentre le ulteriori riduzioni avverranno attraverso l'acquisto di crediti da altri paesi o da partecipazioni a progetti di Joint implementation e la partecipazione ai Clean Developments Mechanisms; si presuppone un prezzo di 100 Euro a tonnellata per ogni credito di emissioni).

- 2) La minor crescita economica dei paesi sviluppati avrebbe ripercussioni negative sui Paesi poveri in quanto ridurrebbe le loro esportazioni.

Nel periodo fra il 1995 ed il 1997, le esportazioni hanno rappresentato rispettivamente il 17,9% ed il 25,5% del PIL dei Paesi a basso e medio reddito a fronte di una quota pari al 14,2% ed al 21,7% registrata nel periodo 1990-92; in soli cinque anni il peso dell'export sul PIL è dunque cresciuto del 26% e del 13%. La crescita della quota delle esportazioni sul PIL è risultata ancora più rapida per i paesi meno sviluppati (dal 13,1 al 17,9% del PIL corrispondente ad un aumento del 37%). Un'analisi condotta dalla Banca Mondiale ha mostrato come la riduzione dell'1% del PIL dei Paesi sviluppati provoca una diminuzione delle esportazioni dei paesi in via di sviluppo pari ad oltre 50 miliardi di dollari (Goklany 2000).

Come noto, la crescita del reddito è correlata al miglioramento delle condizioni di alimentazione e di quelle sanitarie. Con lo sviluppo economico, si riduce il tasso di mortalità infantile e si allunga la speranza di vita. Anche un modesto declino (o una mancata crescita) del reddito dei paesi poveri si tradurrebbe quindi in un rilevante impatto negativo. Tale impatto non sarebbe peraltro limitato all'uomo ma si estenderebbe anche all'ambiente. Una società più povera ha livelli di produttività agricola più bassi e, quindi, per ottenere un dato *output*, necessita della conversione in terreno agricolo di una quota più elevata di foreste; viene così a ridursi il potenziale effetto di assorbimento di CO₂ (*carbon sinks*) e si induce una maggiore pressione sulla biodiversità (tra il 1980 ed il 1995 la superficie coperta da foreste è diminuita di 190 milioni di ettari nei paesi in via di sviluppo mentre è aumentata di 20 milioni di ettari in quelli sviluppati).

Il minor reddito disponibile porterebbe inoltre ad un incremento del numero di morti premature dovute all'inquinamento atmosferico *indoor* che, oggi, nei paesi in via di sviluppo, ammontano a circa 2,4 milioni (WHO 1997), a causa del maggiore uso per il riscaldamento e la cottura dei cibi di legna da ardere, carbonella, letame essiccato e scarti delle produzioni agricole.

- 3) Ricadute negative della minor crescita economica in termini di riduzione della speranza di vita si avrebbero anche nei Paesi sviluppati. Secondo le stime di Cohen (2002), uno dei maggiori rischi individuali è rappresentato dalla povertà. In Gran Bretagna, la differenza nella speranza di vita fra professionisti ed operai non specializzati è pari a 7,2 anni; analoga differenza si registra in Finlandia. L'aumento del prezzo dell'elettricità potrebbe

inoltre indurre alcune persone a ridurre l'utilizzo dei condizionatori e quindi incrementare la mortalità in presenza di elevate temperature.

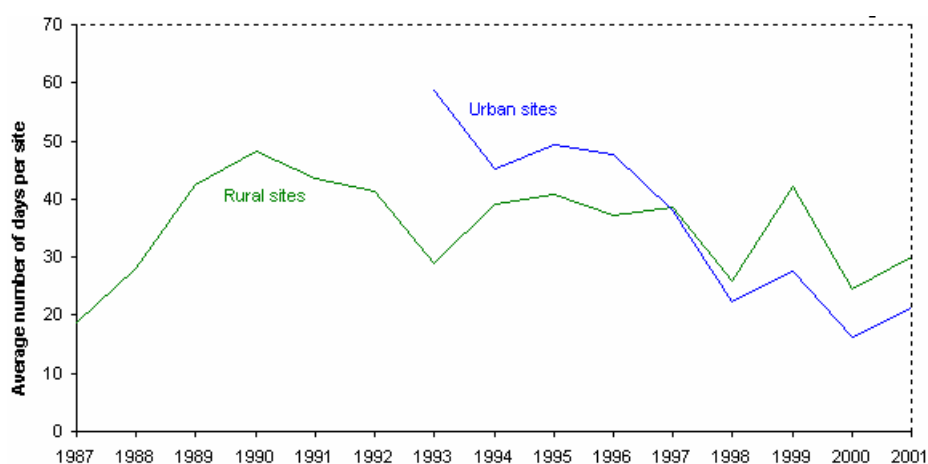
- 4) Conseguenze negative potrebbero derivare anche dall'adozione di eventuali provvedimenti volti a imporre limiti ai consumi delle autovetture. L'analisi condotta dal Committee on the Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards (2002) relativamente alla imposizione di un tetto massimo al consumo medio di carburante delle auto prodotte da ciascuna azienda costruttrice prevista dall'Energy Policy and Conservation Act emanato dal congresso degli Stati Uniti nel 1975, ha dimostrato come tale provvedimento abbia causato, a seguito del ridimensionamento delle dimensioni medie delle auto, un incremento del numero di decessi in incidenti stradali compreso fra le 1.300 e le 2.600 unità per anno.

A riguardo della mobilità, occorre inoltre sottolineare come le politiche pubbliche che mirano a ridurre l'utilizzo dell'autovettura a favore dei mezzi di trasporto collettivo non possano che portare a risultati del tutto marginali, pur in presenza di investimenti e sussidi pubblici ingenti.

Il fatto che l'esistenza di un sistema di trasporto collettivo di elevato livello qualitativo, sia in ambito locale che a scala nazionale, non comporti alcuna significativa riduzione dell'utilizzo dell'auto privata – ad eccezione di limitate aree nel centro delle aree urbane – trova conferma dal raffronto fra la percorrenza media annua in automobile per abitante dell'Europa (EU15) e quella relativa a Paesi Bassi e Svizzera, Stati che dispongono di due delle migliori reti di trasporto collettivo in ambito continentale: a fronte dei 10.454 km percorsi in Europa si registravano nel 1995 circa 9.900 km in Olanda (European Commission 1999) e 9.500 km in Svizzera (DATEC 1998).

Una diversa ripartizione modale fra trasporto privato e trasporto pubblico comporterebbe peraltro benefici tutt'altro che sostanziali anche sotto il profilo della riduzione dell'inquinamento atmosferico (spesso presentata come beneficio indiretto delle politiche volte a ridurre le emissioni di CO₂).

Figura 7 – N° di giorni con inquinamento atmosferico moderato⁷ o più elevato nel Regno Unito dal 1987 al 2001



Fonte: UK Government Sustainable Development 2002

⁷ Con il termine inquinamento moderato si intende la presenza nell'aria di almeno un inquinante ad una concentrazione superiore al livello al di sotto del quale è inverosimile che si abbiano effetti sulla salute umana.

Il fattore largamente predominante nell'evoluzione delle emissioni è rappresentato dalla riduzione delle emissioni unitarie dei veicoli conseguita grazie all'evoluzione tecnologica, come dimostrato, ad esempio, dall'evoluzione della qualità dell'aria nelle aree urbane del Regno Unito dove, pur in presenza di un rilevante incremento della mobilità privata, il numero di giorni caratterizzati da inquinamento atmosferico moderato o elevato si è ridotto fra il 1993 ed il 2001 da 59 a 21 (UK Government Sustainable Development 2002).

Poiché la riduzione delle emissioni prevista dal protocollo di Kyoto comporterebbe costi più probabili, di maggior entità e che si manifesterebbero in tempi più ravvicinati dei benefici, il principio di precauzione, correttamente inteso, porta quindi ad escludere l'opportunità della sua implementazione.

5 CONCLUSIONI

Durante lo scorso secolo la temperatura media della Terra è aumentata, secondo le misurazioni effettuate sulla superficie del pianeta, di 0,6 °C. All'incirca metà di tale riscaldamento è avvenuto prima del 1945 e non può essere attribuito, se non in misura marginale, alle emissioni di gas-serra: oltre l'80% dei gas sono infatti stati emessi negli ultimi 60 anni. Tra il 1945 ed il 1975 la temperatura è diminuita di circa 0,2 °C e negli ultimi trent'anni si è avuto un nuovo incremento di 0,5 °C.

Tale aumento di temperatura è concentrato prevalentemente nelle zone più fredde del pianeta, nel periodo invernale e durante le ore notturne.

Le misurazioni della temperatura al suolo negli ultimi venti anni sono però contraddette da quelle della troposfera acquisite da satelliti e caratterizzate da un maggiore livello di precisione. Le misure dei satelliti, poi, concordano con quelle, indipendenti, delle radiosonde utilizzate per le previsioni meteorologiche. Il trend di crescita della temperatura secondo le misurazioni dei satelliti sarebbe di 0,05 °C per decade contro i 0,17 °C per decade dedotto dai rilievi terrestri.

L'attuale temperatura della Terra è molto probabilmente inferiore a quella registrata nel periodo dell'Ottimo Climatico Medievale.

Le stime dell'aumento della temperatura per il futuro sono formulate tramite modelli la cui ipotesi di base è che un aumento della concentrazione dei gas serra ed in particolare della CO₂ causi un riscaldamento del pianeta.

Tale ipotesi non trova però riscontro nell'evoluzione passata del clima. Negli ultimi 250mila anni, i tre episodi di riscaldamento più rilevanti sono quelli avvenuti al termine delle ultime tre ere glaciali: in ciascuno di questi episodi l'incremento della temperatura precede quello della CO₂ di un periodo compreso fra i 400 ed i 1000 anni.

Caratteristica comune dei modelli è l'ipotesi di un andamento lineare della temperatura: assumendo che la crescita lineare della temperatura registrata alla superficie negli ultimi decenni prosegua nel futuro, si può stimare un riscaldamento nel prossimo secolo inferiore agli 1,5 °C.

Le ipotesi di sviluppo e di crescita delle emissioni utilizzate negli scenari dell'IPCC non trovano riscontro nell'evoluzione passata dell'economia mondiale: ad esempio, nello scenario che prevede la minor crescita di emissioni, il reddito procapite di Paesi quali Sud Africa, Algeria, Argentina, Libia, Turchia e Nord Corea sarebbe alla fine di questo secolo superiore a quello degli Stati Uniti.

In presenza di un raddoppio della concentrazione della CO₂ nell'atmosfera, i costi del riscaldamento climatico sarebbero modesti, intorno all'1-2% della ricchezza prodotta a livello mondiale.

L'applicazione integrale del protocollo di Kyoto avrebbe un impatto non discernibile sull'evoluzione della temperatura: la differenza alla fine del 21° secolo rispetto allo scenario tendenziale si attesterebbe intorno ai 0,15 °C.

I costi indotti dall'implementazione del protocollo di Kyoto sono più rilevanti, più probabili e più ravvicinati nel tempo degli eventuali benefici. In base al principio di precauzione, correttamente inteso, è dunque da rigettare una politica di riduzione delle emissioni più veloce di quella conseguibile attraverso l'avanzamento tecnologico e all'eliminazione di sussidi, quali quelli previsti per il carbone, economicamente ingiustificati.

Sarebbero inoltre auspicabili la riduzione delle tasse sui profitti aziendali e, più in generale, modifiche del regime di tassazione e regolamentazione esistente al fine di incentivare gli investimenti in nuovi impianti ed in tecnologia accelerando così il processo di sostituzione degli apparati più inefficienti.

La priorità di intervento dovrebbe essere rivolta alla risoluzione di problemi attuali, quali la malnutrizione e la malaria nei paesi poveri, che potrebbero essere aggravati dal cambiamento climatico.

La crescita della popolazione mondiale determinerà nei prossimi decenni un forte aumento della domanda di cibo. Per rispondere a tale domanda e, contemporaneamente, limitare la trasformazione della superficie terrestre coperta da foreste in terreno agricolo, occorrerebbe cercare di incrementare la produttività delle coltivazioni, in particolare in condizioni ambientali non ottimali come quelle che potrebbero essere causate dal cambiamento climatico: siccità dovuta all'incremento di temperatura ed alla redistribuzione delle precipitazioni o una più elevata salinità causata dalla maggiore evaporazione e dall'intrusione di acqua marina nelle aree costiere.

Una seconda linea d'azione è quella che mira alla riduzione della vulnerabilità della società alle avversità, qualunque ne sia la causa, grazie alla crescita economica. L'Olanda è in grado di far fronte ai rischi di inondazione (anzi, vive "sott'acqua") ma il Bangladesh no. Un uragano in Florida non provoca vittime (grazie alle loro auto, i cittadini americani si possono spostare in poche ore di centinaia di chilometri), in Nicaragua sì. Un terremoto in Turchia provoca migliaia di morti, in Giappone no.

Tali politiche d'intervento, accrescimento della adattabilità e riduzione della vulnerabilità alle condizioni climatiche avverse, determinerebbero un incremento della soglia oltre la quale la concentrazione dei gas serra potrebbe diventare pericolosa e sarebbero quindi congruenti con l'obiettivo della Convenzione sui cambiamenti climatici e del protocollo di Kyoto.

BIBLIOGRAFIA

Adler, J.H. (Ed.). 1997. *The costs of Kyoto. Climate change policy and its implications*. Washington: Competitive Enterprise Institute

Alexandrov, V.A. and G. Hoogenboom. 2000a. "Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the Southeastern USA". *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 45-63.

Alexandrov, V.A. and G. Hoogenboom. 2000b. "The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria". *Agricultural and Forest Meteorology*, 104: 315-327.

Angell, J.K. 2002. Global, hemispheric e zonal temperature deviations derived from radiosonde records. In *Trends Online: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.

AVISO. 2003. *Mean Sea Level*.

http://www-aviso.cnes.fr:8090/HTML/information/frames/applications/actu/niveau_moyen_uk.html

Balling, R.C., P.J. Michaels e P.C. Knappengerger. 1998. "Analysis of winter and summer warming rates in gridded temperature timeseries". *Climate Research*, 9: 175-181.

Beckerman. W. 2002. *A poverty of reason. Sustainable development and economic growth*. Oakland, California: The Independent Institute.

Bentham, C., Health. In *Economic impacts of the hot summer and unusually warm year of 1995*, edited by J. Palutikof, S. Subak e M. Agnew. Norwich: University of East Anglia.

Castle I. e D. Henderson. 2003. "The IPCC Emissions Scenarios: An Economic-statistical Critique", *Energy and the Environment*, Volume 14, No. 2-3, 159-186.

Christy, J.M., R.W. Spencer e W.D. Braswell. 2000. "MSU Tropospheric temperatures: Data set construction and radiosonde comparisons". *J. Atmos. Oceanic Tech*, 17: 1153-1170.

Christy, J.R., D.E. Parker, S.J. Brown, I. Macadam, M. Stendel e W.B. Norris. 2001. "Differential trends in tropical sea surface and atmospheric temperatures". *Geophysical Research Letters*, 28: 183-186.

Cohen, B.L. 2002. *How to rank risks*.

http://healthfactsandfears.com/featured_articles/feb2002/risks022702.html

Committee on the Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards, Board on Energy and Environmental Systems, Transportation Research Board, National Research Council. 2002. *Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards*. Washington: National Academy Press.

Daly, J.L. 2000a. *Report to the Greening Earth Society "The Surface Record: 'Global Mean Temperature' and how it is determined at surface level"*.

<http://www.greeningearthsociety.org/Articles/2000/surface1.htm>

Daly, J.L. 2000b. *The 'Hockey Stick': A new low in climate science*.

<http://john-daly.com/hockey/hockey.htm>

Daly, J.L. 2000c. *Testing the waters. A report on sea levels*.

<http://www.greeningearthsociety.org/Articles/2000/sea.htm>

Daly, J.L. 2002. *A Crack in the 'Hockey Stick'*.

<http://john-daly.com/press/press-02a.htm#crack>

DATEC. 1998. *I trasporti ieri oggi domani, Rapporto SST 1/98*. Berna.

Davis, R.E., P.C. Knappenberger, W.M. Novicoff e P.J. Michaels. 2002. "Decadal changes in heat-related human mortality in the eastern United States". *Climate Research*, 22: 175-184

de Freitas, C.R. 2002. "Are observed changes in the concentration of carbon dioxide in the atmosphere really dangerous?". *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, vol. 50, no. 2: 297-327

Esper, J., E.R. Cook e F.H. Schweingruber. 2002. "Low-Frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability". *Science*, 295: 2250-2253.

European Commission. Directorate-General for Energy and Transport. 1999. *EU Transport in figures*. Bruxelles.

- Fischer, H., M. Wahlen, J. Smith, D. Mastroianni e B. Deck. 1999. "Ice core records of atmospheric CO₂ around the last three glacial terminations". *Science*, 283: 1712-1714.
- Goklany, I. M. 2000. *Applying the Precautionary Principle to Global Warming*, Policy Study Number 158. Center for the Study of American Business. Washington University. St. Louis, MO. U.S.A.
- Gray, V. 2002. *The greenhouse delusion. A critique of "Climate change 2001"*. Brentwood. Essex, Multi- Science Publishing Co Ltd.
- Keeling C.D., T.P. Whorf e the Carbon Dioxide Research Group. 2002. *Atmospheric CO₂ concentrations (ppmv) derived from in situ air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii*. Scripps Institution of Oceanography (SIO), University of California, La Jolla, California.
- Keatinge, W.R., G.C. Donaldson, E. Cordioli, M. Martinelli, A.E. Kunst, J.P. Mackenbach, S. Nayha e I. Vuori. 2000. "Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study". *British Medical Journal*, 316: 118-124.
<http://www.bmj.com/cgi/content/full/316/7125/118>
- Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander., N. Harris, A. Kattenberg e K. Maskell. 1996. *Climate Change 1995: The science of climate change, contribution of the WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Nouguer, P.J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell e C.A. Johnson (Eds.). 2001. *Climate Change 2001: The scientific basis*. New York: Cambridge University Press.
- Hurrell, J. W., S. J. Brown, K. E. Trenberth e J. R. Christy, 2000. "Comparison of tropospheric temperatures from radiosondes and satellites: 1979–98". *Bull. Amer. Met. Soc.*, 81, 2165-2177.
- International Council For Capital Formation (ICCF). 2002. *Kyoto Protocol and beyond: economic impact on EU countries*.
- International Council For Capital Formation (ICCF). 2003. *The economic impact on Italy of implementing the Kyoto protocol and additional greenhouse gas reductions planned for the post-2012 period*.
- Idso, C.D. 2001. "Earth's rising atmospheric CO₂ concentration: Impacts on the biosphere". *Energy & Environment*, 12: 287-310.
- Idso, C.D. e K.E. Idso. 2001. The End of Atmospheric CO₂ Growth. *CO₂ Science Magazine*, Editorial Commentary. Volume 4, Number 35: 29 August
http://www.co2science.org/edit/v4_edit/v4n35edit.htm
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *WG1 Third Assessment Report, Summary for policymakers*. New York: United Nations.
- Jones, P.D., T.J. Osborn, K.R. Briffa, C.K. Folland, B. Horton, L.V. Alexander, D.E. Parker e N.A. Rayner. 2001. "Adjusting for sample density in grid-box land and ocean surface temperature time series". *Journal of Geophysical Research*, 106: 3371-3380.
- Landsea, C. W., N. Nicholls, W. M. Gray e L. A. Avila. 1996. "Downward trends in the frequency of intense Atlantic hurricanes during the past five decades". *Geophysical Research Letters*, 23: 1697-1700.
- Lean, J. e D. Rind. 1998. "Climate forcing by changing solar radiation". *Journal of Climate*, 11, 3069–3094.

- Lindzen, R.S. 2001. *Testimony before the Senate Environment and Public Works Committee on 2 May 2001*.
<http://www-eaps.mit.edu/faculty/lindzen/Testimony/Senate2001.pdf>
- Lomborg, B. 2001. *The skeptical environmentalist*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lutz, W., W. Sanderson e S. Scherbov. 2001. "The end of world population growth". *Nature*, 412: 543-545.
- McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken e K.S. White (Eds.). 2001. *Climate Change 2001: Impacts, adaptations and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mann, M.E., R.S. Bradley e M.K. Hughes. 1999. "Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties e limitations". *Geophysical Research Letters*, 26(6): 759-762.
- Michaels, P.J. e Knappenberger P.C. 1994. "General circulation models: testing the forecast". *Technology: Journal of the Franklin Institute*, Vol. 331A: 123-133.
- Michaels, P.J., P.C. Knappenberger, R.C. Balling Jr e R. E. Davis. 2000. "Observed warming in cold anticyclones". *Climate research*, 14:1-6.
- Michaels, P.J. e Balling, R.C., Jr. 2000. *The satanic gases*. Washington: Cato Institute.
- Naurzbaev K.M. e E. A. Vaganov. 2000. "Variation of early summer and annual temperature in east Taymir and Putoran (Siberia) over the last two millennia inferred from tree rings". *Journal of Geophysical Research*, 105: 7317-7326.
- Nordhaus, W. 1994. *Managing the Global Commons*, Cambridge: Mit Press.
- Nordhaus, W. e J. Boyer. 1999. "Requiem for Kyoto: an economic analysis of the Kyoto Protocol." *The Energy Journal*, Kyoto Special Issue: 93-130
- Parry, M., N. Arnell, M. Hulme, R. Nicholls e Matthew Livermore. 1998. "Buenos Aires and Kyoto targets do little to reduce climate change impacts". *Global Environmental Changes*, 8(4): 285-289
- Singer, S.F. 1998. *Letter to the Editor*. Foreign Affairs
- Singer, S.F. 1999. *Hot Talk, Cold Science*. Oakland, California: The Independent Institute.
- Singer, S.F. 2000. *Climate policy from Rio to Kyoto*, Stanford: Hoover Institution, Stanford University
- Soon W., S. Baliunas, C. Idso, S. Idso e D. R. Legates. 2003. "Reconstructing climatic and environmental changes of the past 1000 years: a reappraisal". *Energy & Environment*. Vol. 14. Nos. 2 & 3.
- Tsimplis, M.N. e T.F. Baker. 2000. "Sea level drop in the Mediterranean Sea: An indicator of deep water salinity and temperature change?". *Geophysical Research Letters*, 27: 1731-1734.
- United Nations. 1992. *United Nations Framework Convention on Climate Change*.
<http://unfccc.int/reFonte/docs/convkp/conveng.pdf>
- UK Government Sustainable Development. 2002. *Headline indicators of sustainable development for the UK*.
<http://www.sustainable-development.gov.uk/indicators/headline/h10.htm>.
- US Climate Change Science Program. 2002. *Draft white paper: understanding recent atmospheric temperature trends and reducing uncertainties*. Washington.

World Health Organization (WHO). 1997. *Health and Environment in Sustainable Development: Five years after the Earth Summit. Executive Summary*. Geneva: World Health Organization.

Wigley, T. M. L. 1998. "The Kyoto Protocol: CO₂, CH₄ and climate implications." *Geophysical Research Letters*, 25(13): 2, 285-288.