

INQUINAMENTO

una pubblicazione Etas Kompass Periodici Tecnici



Abbiamo consegnato
il millesimo KOMPAKT,
1000 mezzi al servizio
dell'igiene pubblica



ANTONICELLI

attrezzature per l'igiene pubblica e l'antincendio

ANTONICELLI S.P.A. 20011 CORBETTA (MILANO)
VIA VERDI, 50 TEL. 02-9778781 TELEX 340273 ANTCLL

È l'anidride carbonica nell'atmosfera uno dei futuri maggiori pericoli per l'umanità?

P. Zannetti

Solo in tempi relativamente recenti ci si è cominciati a preoccupare degli effetti non immediati delle emissioni antropogeniche di inquinanti nell'atmosfera (industrie, trasporti, ecc.). Tali effetti sono, ad esempio, il possibile danno alla salute pubblica prodotto da una continua presenza di livelli solo apparentemente innocui di inquinanti, la possibilità di un continuo costante accumulo di sostanze dannose, o la possibile modifica di equilibri ecologici globali, ad esempio una variazione della meteorologia terrestre indotta da un particolare tipo di emissione inquinante.

Tra tutti questi nuovi problemi, il più interessante (e preoccupante) è quello della anidride carbonica, un gas atmosferico abbondantemente emesso (la maggiore emissione antropogenica sulla terra) a seguito di combustione, decadimento, o comunque ossidazione di sostanze contenenti carbonio.

L'anidride carbonica solforosa è praticamente innocua all'uomo ed all'ambiente. Nelle legislazioni ambientali delle varie nazioni essa non viene neppure considerata un inquinante. Eppure essa rappresenta probabilmente il più grosso pericolo potenziale creato dallo sviluppo urbano ed industriale della nostra era. Misure di concentrazione di CO₂ in località estremamente distanti da punti di emissione mostrano infatti un chiaro, inequivocabile e preoccupante accumulo di CO₂ nella atmosfera terrestre.

Altri inquinanti, pure emessi in grosse quantità, possiedono proprietà fisico-chimiche tali da evitare il loro continuo accumulo nella atmosfera (anche se la loro trasformazione può creare talvolta inquinanti «secondari» più dannosi dei «primari»). La concentrazione di CO₂ invece chiaramente cresce, di anno in anno, su tutta la superficie terrestre, come indicato in figura 1.

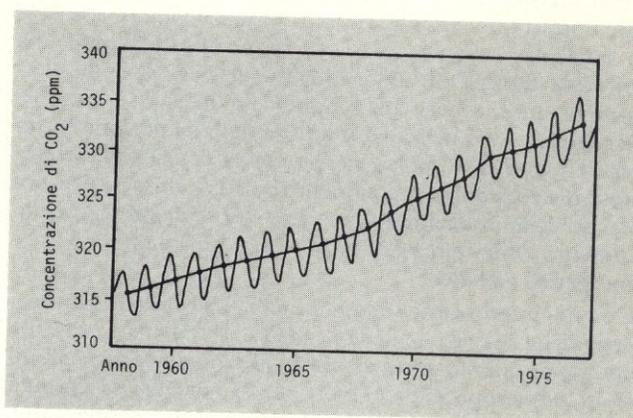
Le cause di ciò sono certamente di origine antropogenica e possono essere ben spiegate dal forte aumento delle emissioni di CO₂ connesso con l'uso crescente di combustibili fossili ed illustrato in figura 2. Se tale crescita nelle emissioni di CO₂ dovesse continuare allo stesso ritmo attuale (circa 4% di aumento annuo), la concentrazione atmosferica di CO₂ potrebbe raddoppiare entro i prossimi 30-50 anni, provocando di conseguenza modificazioni permanenti e preoccupanti alla meteorologia terrestre.

Varie ipotesi sono state formulate sulle possibili conseguenze causate da un futuro aumento della concentrazione di CO₂ nella atmosfera fino a valori 2-3 volte gli attuali. Il problema è però talmente complesso, con parametri fisico-chimici ancora praticamente ignoti, che le previsioni variano enormemente da uno studio all'altro. Tutti gli studiosi praticamente concordano sul fatto che un aumento della CO₂ provoca un aumento della temperatura media terre-

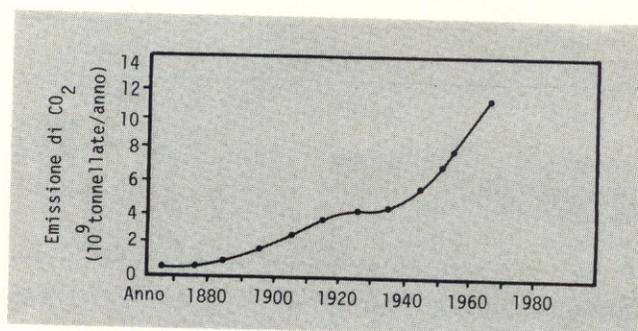
stre. Di quanto, però, ancora non si sa con certezza: troviamo i pessimisti, con i loro 10 gradi di aumento di temperatura ai poli (ed i conseguenti immaginabili disastri ecologici), e gli ottimisti, sicuri delle capacità di «feedback» (1) dell'ambiente terrestre e comunque scettici sulla importanza relativa della CO₂ nel bilancio energetico terrestre. Entrambi hanno buone ragioni da sostenere, mancando un modello matematico accurato e globale del problema fisico in esame.

Il problema è complicato dal fatto che le misure di temperatura non danno alcun aiuto, anzi, se vogliamo, complicano ulteriormente il problema mostrando (figura 3) una crescita di circa 0.6 gradi nel periodo 1880-1940, che poteva

1. *Medie mensili (oscillanti stagionalmente) e medie annuali dei valori di CO₂ misurati nell'osservatorio di Mauna Loa (Hawaii) nel periodo 1958-1977. Il ciclo stagionale è dovuto alla fotosintesi vegetale nell'emisfero settentrionale (rimozione della CO₂ durante la stagione di crescita e suo rilascio nel periodo autunno-inverno). L'aumento nel periodo 1958-1977 è stato del 5%. Il tasso corrente di incremento è circa 1 ppm all'anno.*



2. *Emissioni medie decennali di CO₂ dovute alla combustione antropogenica di fossili naturali.*



P. Zannetti, AeroVironment Inc.

(1) Letteralmente «alimentazione da dietro.» In senso lato, rappresenta la capacità di un sistema di reagire ad una variazione con meccanismi stabilizzanti di controllo.

essere attribuita all'aumento della CO₂, seguita da un calo di circa 0.5 gradi dal 1940 al 1976. Tali misure confermano la complessità del problema globale e la necessità di considerare, unitamente alla CO₂, tutte le altre possibili variabili del problema, se si vuole definire un meccanismo numerico attendibile per la simulazione del problema fisico e la conseguente previsione dei valori futuri di temperatura. La letteratura recente è alquanto ricca di studi in questo settore. Abbiamo quindi cercato di esplorare le più recenti ipotesi per fare un po' il punto della situazione e riassumere le diverse posizioni del mondo scientifico in questo campo che rappresenta forse il più importante argomento di studi sia nel settore della meteorologia applicata che in quello dell'inquinamento.

Il ruolo della CO₂ nel bilancio energetico terrestre

La temperatura terrestre è il risultato di un delicato e complesso bilancio energetico (figura 4). Circa il 34% della radiazione solare è riflessa direttamente nello spazio (le nuvole sono le principali responsabili di tale fenomeno, chiamato albedo terrestre). Il resto della radiazione solare passa attraverso l'atmosfera (si dice che l'atmosfera è «trasparente» a tale radiazione) ed è assorbita dal suolo terrestre. La terra, riscaldata, emette radiazione termica, irraggiando dunque energia nello spazio. A questo punto interviene però l'effetto «serra»: la atmosfera *non* è trasparente alla radiazione termica terrestre e la assorbe quasi completamente. L'atmosfera dunque «isola» in un certo senso il calore terrestre rimandando indietro, verso la terra, una buona parte della radiazione termica prodotta da quest'ultima. Senza questo «isolante termico» la temperatura della terra sarebbe mediamente 40 gradi inferiore a quella attuale, con conseguenze facilmente immaginabili.

I costituenti dell'atmosfera principalmente responsabili di tale importante fenomeno sono l'acqua, il vapore acqueo e la anidride carbonica. Tali sostanze, infatti, hanno una notevole capacità di assorbimento della radiazione elettromagnetica intorno alla lunghezza d'onda di 15 µm, corrispondente alla massima intensità della radiazione terrestre. Un aumento della concentrazione di CO₂ nella atmosfera provoca quindi un aumento nell'assorbimento atmosferico della radiazione terrestre e, conseguentemente, un aumento della temperatura dovuto ad un nuovo bilancio energetico globale.

È quindi interessante vedere il ruolo delle emissioni antropogeniche nel ciclo globale della CO₂. La tabella 1 presenta una stima (molto approssimata) di tali valori. Considerazioni semiempiriche permettono di spiegare la crescita annua di circa 0.7-1 ppm nei valori di concentrazione di CO₂ (vedi figura 1) in termini di contributo delle crescenti emissioni antropogeniche: si sa infatti che l'ammontare della CO₂ accumulata nella atmosfera ogni anno è circa la

Emissioni	Assorbimenti	Depositi
Vulcani	0.1 Fotosintesi	60 Combustibili fossili
Industrie	13 Oceani	100 Oceani
Respirazione e decadimento	60	40.000
Oceani	100	130.000

Tabella 1 - Ciclo terrestre della CO₂ (stime approssimate del 1969 espresse in unità di 10⁹ tonnellate).

metà della emissione antropogenica totale. Sembra dunque che il ciclo «naturale» di CO₂ non riesca ad assorbire più della metà della «perturbazione» prodotta dall'uomo, con la conseguente crescita dei valori globali di CO₂. Se tale ipotesi è corretta, possiamo calcolare quale sarà la concentrazione massima di CO₂ dopo che tutto il carbone ed il petrolio estraibili saranno stati consumati: CO₂ dovrebbe aumentare fino a 990 ppm, tre volte i valori attuali.

Gli effetti causati da un aumento della CO₂ nell'atmosfera

Il modello matematico di Manabe e Wetherald [1] fornisce preoccupanti risultati. Una concentrazione di CO₂ intorno ai 600 ppm produrrebbe infatti un aumento medio terrestre di circa 2-3 gradi di temperatura, con punte di 7-10 gradi per le alte latitudini. Il conseguente scioglimento dei ghiacci polari produrrebbe [2] un innalzamento di 5 metri nel livello degli oceani, allagando quindi le città costiere e gran parte della Florida e dell'Olanda.

È vero che il modello di Manabe e Wetherald possiede numerose e rilevanti semplificazioni: un limitato dominio di calcolo con una geografia semplificata, nessuna variazione stagionale, nessun trasporto di calore per mezzo delle correnti oceaniche e nuvolosità costante. I risultati sono comunque preoccupanti, e sono inoltre confermati da altri simili studi [3, 4] e da recente più accurato e complesso modello degli stessi autori [5].

La mancanza di adeguate conferme sperimentali ed, in special modo, il comportamento della temperatura media terrestre negli ultimi decenni hanno comunque indotto numerosi ricercatori ad un attento esame critico dei risultati sopra presentati. Newell e Dopplick [6], in particolare, propongono un semplice metodo per il calcolo dell'aumento di temperatura alle basse latitudini in conseguenza di un raddoppio della CO₂ nell'atmosfera. Essi trovano un aumento di soli 0.25 gradi, un ottavo di quanto generalmente trovato dagli altri autori. Quando però essi cercano di calibrare il loro metodo per confermare la correttezza dei loro risultati, essi incontrano notevoli critiche da parte di Watts [7] il cui riesame dei dati sembra dare ragione al modello numerico dei «pessimisti» Manabe e Wetherald. La parte più difficoltosa dell'intero problema è dovuta probabilmente al fatto che la CO₂ non è il gas più importante per l'assorbimento della radiazione elettromagnetica terrestre: il ruolo del vapore acqueo è dieci volte più importante e molto difficile da prevedere. Il bilancio energetico globale è inoltre estremamente sensibile alla nuvolosità: un leggero aumento della temperatura terrestre dovrebbe produrre maggiore evaporazione, quindi maggiore nuvolosità, quindi un aumento della albedo terrestre (cioè minore irraggiamento solare al livello del suolo); questa sarebbe una tipica «risposta compensatrice» (o feedback) da parte del «sistema» terrestre.

Vi è anche chi esprime la speranza che l'aumento di CO₂ possa procurare in media benefici effetti all'umanità. Secondo alcuni, infatti, un moderato aumento della temperatura terrestre renderebbe più gradevole la vita sul nostro pianeta, con una migliore distribuzione delle precipitazioni, un aumento della fertilità dei terreni nell'emisfero nordico ed un conseguente movimento di popolazioni dalle aree ad attuale alta densità residenziale verso aree più accoglienti e meno abitate. Inoltre, dal momento che una nuova glaciazione naturale è attesa entro qualche millennio, l'aumento di CO₂ potrebbe ritardare, o comunque alleviare tale sgradevole fenomeno controbilanciando in qualche modo la attesa diminuzione progressiva della temperatura.

Recenti risultati [8] di uno studio EPRI [9]

Una intensa indagine è stata condotta dalle Radian Corporation per conto dell'EPRI in questo campo.

I risultati più importanti mostrano che il contributo degli Stati Uniti alla emissione globale di CO₂ è stato del 28% nel 1973. Futuri contributi dovrebbero rimanere entro il 28% fino al 2025. Le proiezioni delle emissioni globali di CO₂ per il 2025 mostrano un aumento di 3-6 volte quelle attuali (2-5 volte senza il contributo delle emissioni USA). Negli Stati Uniti i settori maggiormente responsabili delle emissioni di CO₂ sono stati (nel 1974) i servizi pubblici (26%), i trasporti (27%) e l'industria (38%), con proiezioni, nel 2000, rispettivamente di 30-40%, 26-30%, e 15-17%.

Le conclusioni di tale studio sono le seguenti:

1 - gli Stati Uniti non possono risolvere da soli il problema della CO₂ riducendo le proprie emissioni; solo uno sforzo globale può produrre risultati positivi;

2 - l'abbattimento ed il controllo della CO₂ è estremamente difficile e costoso, manca una valida tecnologia nel settore e l'unico controllo applicabile a breve termine è la massima possibile conservazione di energia;

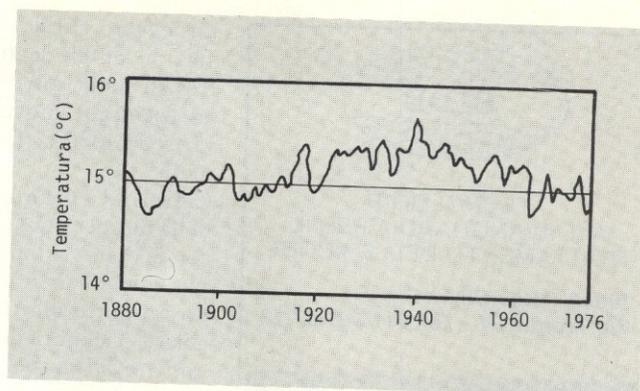
3 - è necessario sviluppare nel futuro quelle fonti di energia che non producono CO₂, anche se, comunque, la riduzione delle emissioni da parte dell'industria energetica non risolverà, da sola, il problema globale della CO₂.

Un maggiore uso del carbone in USA e le sue conseguenze sui livelli di CO₂

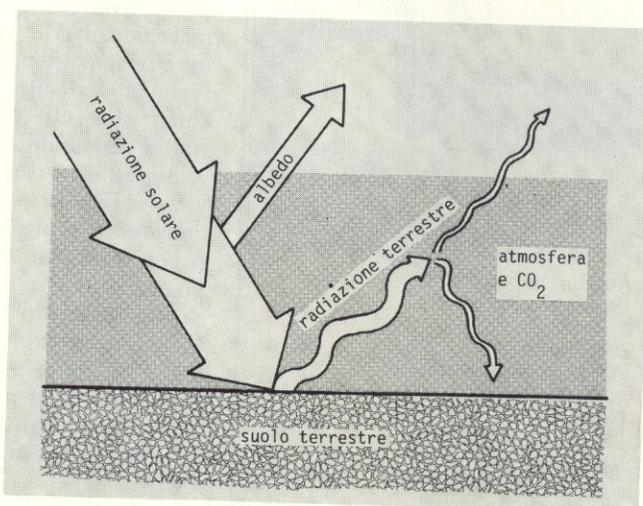
La crisi energetica ed, in particolare, l'alto costo attuale del petrolio greggio hanno stimolato negli Stati Uniti sia l'uso diretto del carbone come combustibile, sia il suo utilizzo per la produzione di combustibile sintetico. Tale politica di «recupero» del carbone trova la sua spiegazione nel fatto che gli USA possiedono ampie e sicure riserve di tale combustibile, il cui crescente utilizzo ridurrebbe notevolmente la dipendenza economico-politica degli USA dai paesi esportatori di petrolio.

Notevole controversie sono però sorte a proposito dell'aumento di CO₂ conseguente a tale maggiore utilizzo del carbone. In particolare, un recente rapporto, [10] destinato ai massimi organi statunitensi per il controllo ambientale, considera due alternative: l'uso diretto del carbone come combustibile, e il suo utilizzo per la produzione di combustibile sintetico. Pare che la seconda alternativa aumenti di un ulteriore 40% le emissioni totali di CO₂, aggravando quindi tutte le problematiche discusse nei paragrafi precedenti.

Il problema della CO₂ è comunque un problema globale e pertanto un eventuale aumento delle emissioni in USA va considerato su una più ampia scala. Questo è appunto l'obiettivo di un accurato studio [11] tendente alla stima dell'impatto globale del programma statunitense per lo sviluppo del combustibile sintetico. I risultati mostrano che tale programma aumenterebbe la emissione globale (di tutti i paesi) di meno dello 0.1% per anno. Se consideriamo il fatto che, secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), tale tasso annuo di aumento può variare tra il 2 ed il 4% a seconda di altri fattori, si può concludere che il programma statunitense dovrebbe avere un impatto trascurabile. Questi altri fattori, che sempre secondo la Organizzazione Meteorologica Mondiale si trovano ad avere un peso molto maggiore, sono: il tipo di miscela combustibile utilizzata, l'efficienza degli apparecchi terminali che richiedono energia per il loro funzionamento, e le eventuali modifiche nell'utilizzo pro capite della energia.



3. Variazione della media annuale della temperatura al suolo nell'emisfero nordico.



4. Bilancio calorifero sulla superficie terrestre e ruolo della atmosfera e della CO₂.

Cause naturali per le variazioni della temperatura terrestre

Se analizziamo la figura 3 con l'intento di vedere nello sviluppo industriale la causa diretta delle modifiche nella temperatura terrestre, due ipotesi chiave sono generalmente proposte per spiegare il periodo di «riscaldamento» (1880-1940) e quello di «raffreddamento» (1940-1980). La prima variazione sarebbe dovuta naturalmente all'aumento di CO₂ nella atmosfera, mentre la seconda sarebbe la conseguenza delle crescenti concentrazioni di solidi sospesi nell'atmosfera. Questi «aerosol» frutto del recente ed intensivo sviluppo urbano ed industriale, rendono la atmosfera meno «trasparente» alla luce solare e, conseguentemente, causano una lieve ma importante diminuzione nel flusso calorifero che raggiunge il suolo terrestre.

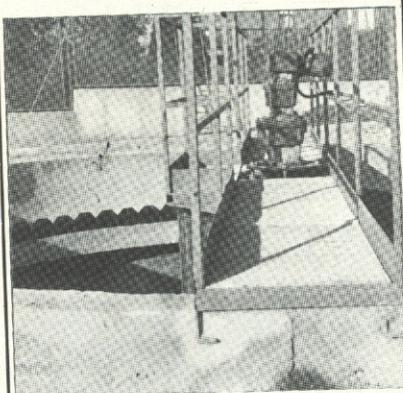
Ma il «trend» mostrato in figura 3 può essere anche interpretato in modo più «naturale», senza la «presunzione» che l'uomo abbia avuto un effetto così ampio sull'ambiente. Un recentissimo studio di Agee [12] affronta l'intero problema sotto questo aspetto, giunge ad alcune conclusioni e formula interessanti e plausibili ipotesi.

Agee innanzi tutto prova in maniera ampia e completa che esiste un generale raffreddamento nell'emisfero nordico terrestre durante il periodo 1940-1980. Tale raffreddamento (circa 0.5 gradi nella media) ha interessato principalmente le latitudini medie ed alte, anche se, in una latitudine media (circa 40° N) troviamo che alcune regioni mostrano



TECNOLOGIE
ALL'AVANGUARDIA PER IL
TRATTAMENTO DELLE ACQUE

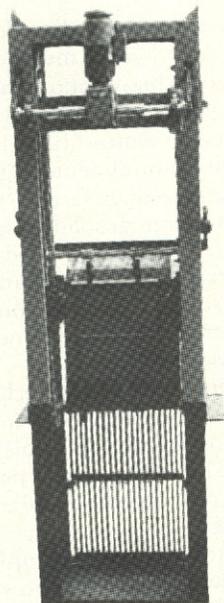
10043 ORBASSANO (TO)
Via Trento, 31 - Tel. 011/901.37.12



Aeratori di superficie
Chiarificatori
Coclee
Disoleatori
Dissabbiatori centrifughi
Elettroagitatori
Griglie
Centraline di dosaggio
Ispessitori
Decantatori statici
Sedimentatori statici
Ponti «VA e VIENI»
Ponti a catena

Impianto di dosaggio
per polielettrolita

Monoblocco per scarichi
biologici



TECNOLOGIA E PREZZO
AL SERVIZIO DELLA ECOLOGIA

un leggero riscaldamento medio (costa occidentale degli USA), mentre altre (gli Stati Uniti centrali ed orientali, ad esempio) mostrano un notevole raffreddamento, fino a punte di 2.2 gradi.

Correlando il comportamento medio della temperatura negli ultimi 90 anni con le osservazioni delle attività delle macchie solari è possibile ipotizzare un rapporto diretto tra la variabilità solare (ciclo di Gleissberg di circa 90 anni) e la temperatura terrestre. La ipotesi presentata da Agee è dunque che la temperatura negli ultimi 90 anni è il risultato di una «forzatura» esterna, e precisamente il parametro solare, dove una maggiore attività (più macchie solari) è associata ad un minore irraggiamento.

Nel caso tale ipotesi sia corretta è chiaro che l'effetto della CO₂ è stato finora trascurabile rispetto alle cause «naturali» (tra cui i vulcani, la cui attività contribuisce ad una diminuzione della temperatura a causa degli «aerosol» emessi). Nel caso però di un nuovo ciclo di Gleissberg (il ciclo attuale dovrebbe terminare alla fine del secolo) ci potremmo trovare con un riscaldamento globale provocato sia dall'aumento della intensità solare, che da un più intenso effetto serra causato dalle crescenti concentrazioni di CO₂.

Conclusioni

La conclusione generale è che, in mezzo a molte interessanti ma contraddittorie ipotesi, non abbiamo ancora né gli strumenti matematici, né le misure sperimentali per una corretta e sicura comprensione delle future variazioni della temperatura terrestre in funzione di un aumento della CO₂ nella atmosfera.

In particolare, le nostre previsioni dovrebbero mirare alla simulazione delle condizioni «transitorie» (tra un equilibrio ed un altro) estremamente difficili da riprodurre numericamente, ma essenziali al nostro problema, dal momento che calcoli limitati a nuove future condizioni «stazionarie» (cioè nuovi equilibri) possono produrre risultati relativi a condizioni che richiedono secoli per essere raggiunti, mentre il nostro maggiore interesse è la simulazione a breve termine (20-50 anni) del problema fisico in esame. Un commento finale a titolo di curiosità [13]: la frase «effetto serra» è oggi universalmente usata per rappresentare l'effetto della atmosfera e della CO₂ in particolare. Si è però scoperto che essa viene usata impropriamente. Si credeva infatti, che il vetro della

serra mantenesse il calore all'interno assorbendo i raggi infrarossi, così come la atmosfera assorbe l'irraggiamento terrestre. Si è però scoperto che la vera ragione dal calore dentro la serra è la eliminazione del raffreddamento dovuto a *convezione* (movimento dell'aria) e non di quello dovuto a *radiazione* (il vetro, cioè, è incapace di assorbire la quantità di calore necessaria per creare la temperatura interna). Nonostante ciò, è oramai troppo tardi per sostituire tale fortunata espressione, e quindi il termine «effetto serra» rimane, e rimarrà, nella letteratura scientifica per indicare quello che Roger Revel, nel 1957, definì «il più importante esperimento geofisico su larga scala intrapreso dall'uomo»: l'aumento forzato della concentrazione globale di CO₂ nella atmosfera.

Bibliografia

- [1] *The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model* - Journal of Atmospheric Sciences, 32, 3-25 (1975).
- [2] Mercer: *West Antarctic ice sheet and CO₂ greenhouse effect: a threat of disaster* - Nature, 271, 321-325, 1978.
- [3] Schneider: *On the carbon dioxide-climate confusion* - Journal of Atmospheric Sciences, 32, 2060-2066, 1975.
- [4] Augustsson Ramanathan: *A radiative-convective model study of the CO₂ climate problem* - Journal of Atmospheric Sciences, 34, 448-451, 1977.
- [5] Manabe e Wetherald: *On the distribution of climate change resulting from an increase of CO₂ content of the atmosphere* - Journal of Atmospheric Sciences, 37, 99-118, 1980.
- [6] *Question concerning the possible influence of anthropogenic CO₂ on atmospheric temperature* - Journal of Applied Meteorology, 18, 822-825, 1979.
- [7] Watts: *Discussion of (10)* - Journal of Applied Meteorology, 494-495, 1980.
- [8] Terra: *CO₂ and spaceship earth* - EPRI Journal, July-August, 22-27, 1978.
- [9] Electric Power Research Institute, uno dei massimi organismi di ricerca in campo ecologico in USA.
- [10] Woodwell, MacDonald, Reville e Keeling: *The carbon dioxide problem: implications for policy in the management of energy and other resources* - Report to President's Council on Environmental Quality, Washington, D.C. 1979.
- [11] Moskowitz, Morris e Albanese: *The global carbon dioxide problem: impacts of U.S. synthetic fuel and coal-fired electricity generating plants* - Journal of the Air Pollution Control Association, 30, 353-357, 1980.
- [12] *Present climatic cooling and a proposed causative mechanism* - Bulletin of the American Meteorological Society, 61, 1356-1367 (1980).
- [13] Williamson: *Fundamentals of Air Pollution* - Addison-Wesley, 1973.