

Studiare e prevedere i cambiamenti climatici

Annalisa Bracco

Centro Internazionale di Fisica Teorica di Trieste

Introduzione

Le condizioni meteorologiche ed il clima influenzano profondamente la vita sul nostro pianeta. La meteorologia è parte della nostra esperienza quotidiana ed il clima è essenziale per la nostra salute, per la produzione di ciò che mangiamo, in ultimo per la sopravvivenza della nostra specie.

Meteorologia e clima

Volendo analizzare la struttura di un modello climatico, occorre innanzi tutto distinguere tra meteorologia e climatologia. Queste due scienze, la cui nascita e sviluppo hanno avuto spesso punti di contatto, si occupano infatti di fenomeni che avvengono su scale temporali e spaziali assai diverse.

La meteorologia è il risultato della rapida evoluzione (nascita, sviluppo e decadimento) di sistemi atmosferici come, ad esempio, le alte e le basse pressioni alle medie latitudini, i fronti ad esse associati, le piogge e i cicloni tropicali. Poiché l'atmosfera è, con ogni evidenza, un sistema caotico (in cui due stati iniziali che differiscano di un infinitesimo possono evolvere in modo significativamente diverso), la possibilità di previsione delle condizioni meteo è limitata. L'evoluzione di un sistema convettivo alle mesoscale, che interessa cioè un'area di alcune decine di chilometri, ha una possibilità di previsione di alcune ore; cicloni su scale sinottiche, ovvero scale con griglia di alcune centinaia di chilometri, sono prevedibili entro un arco di tempo che varia da alcuni giorni ad una settimana. Un buon modello meteorologico deve pertanto essere in grado di risolvere tutti gli aspetti che determinano le condizioni momentanee, contingenti (ovvero le piogge, la loro intensità, i venti, le nubi, la temperatura e così via), su un'area limitata.

Il clima, invece, è lo stato medio del sistema accoppiato oceano-atmosfera, mediato su diversi anni.

Nonostante il sistema sia probabilmente caotico (non esiste a questo riguardo una prova matematica ma tutte le osservazioni vanno in questa direzione), le quantità medie sono distribuite con una certa regolarità e la loro predicibilità è assai più elevata. Nel valutare tale predicibilità occorre però considerare che il clima possiede una variabilità intrinseca naturale: è infatti funzione del tempo. Cambia da decade a decade, da stagione a stagione, da anno ad anno, fino a variazioni su periodi molto più lunghi, come nel caso delle ere glaciali. Principale responsabile di tali variazioni è la *forzante solare*; poiché la quantità di energia emessa dal

Sole e la distanza tra la Terra e il Sole non sono costanti, l'energia che arriva sul nostro pianeta sotto forma di radiazione è variabile.



Figura 1. Schema dei principali componenti di un modello climatico: i processi, le interazioni e alcuni dei fattori che possono variare per intervento dell'uomo (da IPCC Third Assessment Report, 2001)

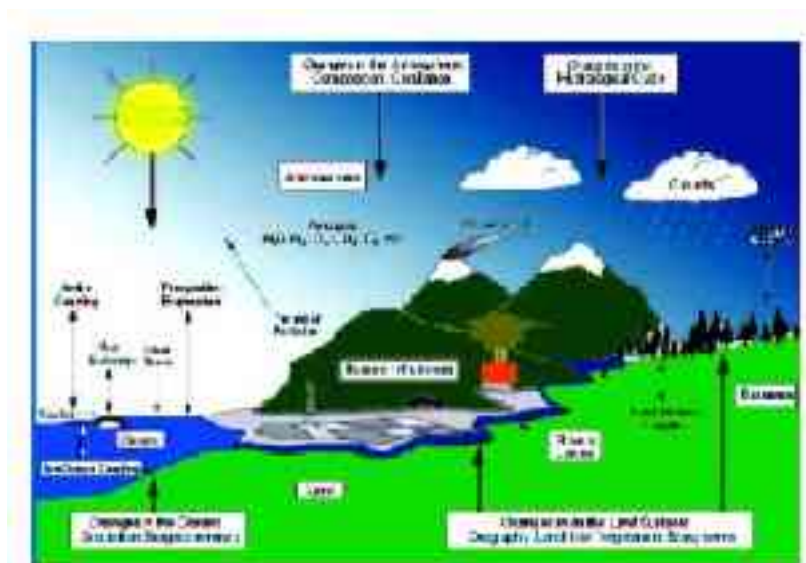


Figura 2. Andamento delle temperature medie sulla superficie terrestre dal 1860 al 2000 (da IPCC Third Assessment Report, 2001)

Qualora poi i forzanti climatologici subiscano mutamenti aperiodici, dovuti ad eventi occasionali, come ad esempio lo spostamento delle piattaforme continentali nel passato o l'aumento dei gas di effetto serra e la drastica riduzione delle aree boschive ad opera dell'uomo nell'ultimo secolo, si può assistere ad un cambiamento climatico. Con cambiamenti climatici si intendono pertanto variazioni statisticamente significative dello stato

medio del sistema oceano-atmosfera che persistono per decenni o più. Variazioni e cambiamenti climatici, causati da forzanti esterne, possono essere, almeno in parte, previsti, soprattutto nel loro impatto su scala globale. Per fare ciò occorre dunque un modello in grado di rappresentare il clima del nostro pianeta allo stato attuale e di simularne l'evoluzione futura.

Un modello climatico deve considerare gli scambi di calore tra oceano e atmosfera, la loro composizione e circolazione, la radiazione solare, la posizione dei continenti e dei ghiacci, il ciclo idrologico, l'uso del territorio e tutte le variazioni che possono intervenire, siano esse di origine naturale o antropogenica (vedi fig. 1). A questo proposito è utile ricordare che un numero sempre maggiore di osservazioni evidenzia come il clima terrestre sia in fase di riscaldamento.

La temperatura superficiale media è aumentata di 0.6°C nel corso del ventesimo secolo.

Contemporaneamente si è registrato un aumento di 10-20 cm del livello medio del mare, un aumento delle precipitazioni e una diminuzione dei ghiacciai e della copertura nevosa.

Nell'emisfero settentrionale il tasso di crescita delle temperature è stato il più elevato mai registrato e gli anni '90 sono stati la decade più calda dell'ultimo millennio (vedi fig. 2). L'uomo è, almeno in parte, responsabile di tale riscaldamento: dall'inizio dell'era industriale, con l'uso di combustibili fossili, sono infatti aumentati tutti i principali gas cosiddetti di effetto serra: l'anidride carbonica (CO_2) del 31%, il metano (CH_4) del 151% e l'ossido di azoto (N_2O) del 17%. L'attuale concentrazione di CO_2 è superiore a quella degli ultimi 20 000 anni (vedi fig. 3).

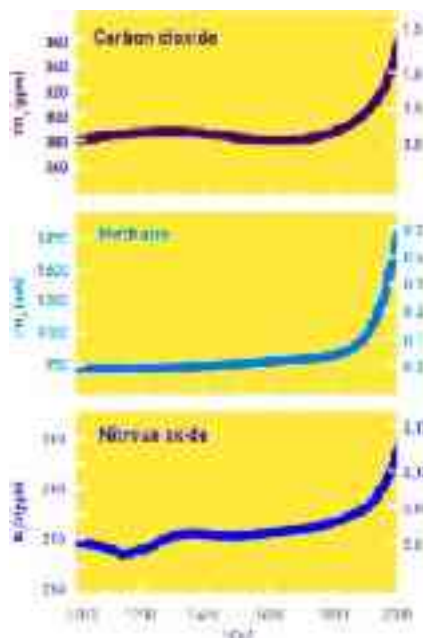


Figura 3. Concentrazioni globali di tre gas di effetto serra nell'atmosfera negli ultimi 1000 anni.

È evidente l'influenza antropogenica durante l'era industriale.

(Grafico riadattato da IPCC Third Assessment Report, 2001)

Questi gas, naturalmente presenti nell'atmosfera, sono responsabili dell'assorbimento della radiazione infrarossa emessa da superficie terrestre, atmosfera e nuvole e della riflessione della stessa in tutte le direzioni, inclusa quella verso il basso e quindi verso la superficie terrestre. I gas serra hanno quindi il ruolo di intrappolare calore all'interno dell'atmosfera (vedi fig. 4). Il primo effetto diretto del loro aumento è pertanto una maggiore quantità di energia riflessa negli strati bassi dell'atmosfera. Vi è incertezza sui molteplici feedback e sugli effetti indiretti. Un aumento della temperatura induce, ad esempio, un aumento di emissioni dirette (feedback negativo) e, nello stesso tempo, un aumento di aria caldo-umida e quindi di vapor d'acqua, uno dei gas responsabili dell'effetto serra (feedback positivo).

È dunque necessario identificare e comprendere i processi coinvolti nella determinazione del clima al fine di quantificarne il loro impatto. Esistono ancora grandi incertezze.

La modellizzazione numerica è uno degli strumenti fondamentali per studiare e capire l'evoluzione del clima del nostro pianeta.

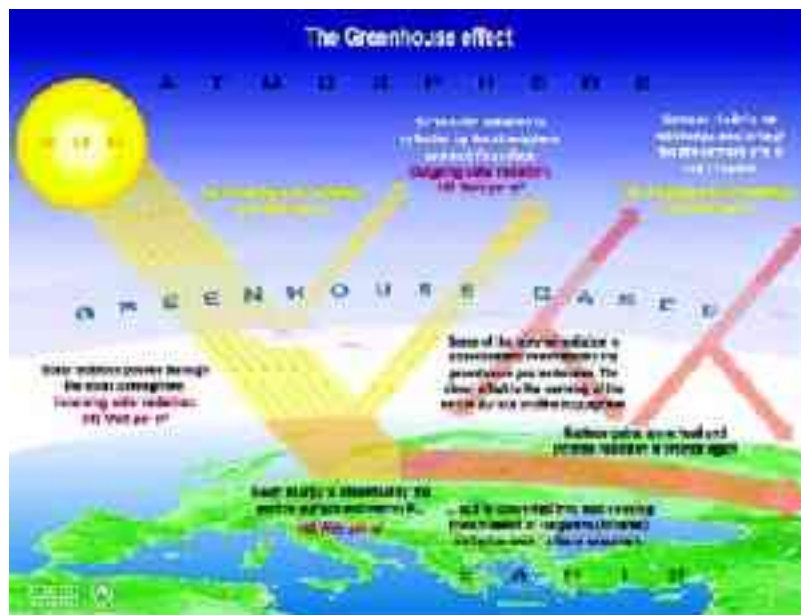


Figura 4. Bilanciamento energetico medio sulla Terra. Circa il 49% (168Wm^{-2}) dell'energia solare è assorbito dalla superficie terrestre. Tale energia ritorna nell'atmosfera sotto forma di calore, di calore latente (per processi di evaporazione e traspirazione) e di radiazione infrarossa. La maggior parte di questa radiazione è assorbita dall'atmosfera che, a sua volta, la riemette in tutte le direzioni (da Vital Climate Graphics: United Nations Environment Programme / GRID-Arendal)

Gli ingredienti di un modello di circolazione generale (GCM)

L'idea di sviluppare un modello matematico in grado di predire le condizioni meteorologiche future, basandosi sulle osservazioni del passato, risale a L.F. Richardson. Richardson, impegnato al fronte come

barelliere durante la Prima Guerra Mondiale, analizzò tutti i dati meteorologici disponibili a partire dalle 7 a.m. del 20/05/1910.

Dopo sei mesi di lavoro, egli produsse le prime previsioni (forecast) per un'area di pochi chilometri quadrati, aiutandosi unicamente con una sorta di pallottoliere. I risultati furono assai deludenti. Ciononostante, al termine del conflitto propose di aprire uno stabilimento per fare previsioni meteorologiche.

Occorrerà attendere altri 25 anni per avere il primo modello matematico consistente, sviluppato da J. Charney al Massachusetts Institute of Technology, e l'aprile del 1950 per la prima integrazione numerica su un computer ENIAC.

I modelli climatologici si compongono essenzialmente di due parti, le *equazioni Dinamiche* e le *parametrizzazioni*. Tra le equazioni sono da ricordare:

- a) la 2^a legge di Newton, che descrive il bilancio delle forze in gioco, in particolare pressione e forza di Coriolis;
- b) le equazioni idrostatiche, che tengono conto degli effetti legati alla gravità e al gradiente di pressione;
- c) le equazioni termodinamiche, che descrivono le variazioni di temperatura che possono avvenire per avvezione e per evaporazione o condensazione;
- d) l'equazione di continuità, che esprime la conservazione delle masse in gioco;
- e) l'equazione di stato dei gas perfetti;
- f) l'equazione per il vapor d'acqua.

Diversi fenomeni fisici, invece, sono parametrizzati, perché non se ne possiede ancora un'esatta descrizione matematica o perché avvengono su scale troppo piccole per essere risolti dai modelli climatici attualmente a disposizione. Tra questi i più importanti sono:

- g) i fenomeni radiativi;
- h) i processi che avvengono sulla superficie del nostro pianeta (ad esempio le variazioni nella biomassa);
- i) i processi turbolenti;
- j) la dinamica interna alle nuvole e le precipitazioni su scala intermedia;
- k) la convezione e le precipitazioni di origine convettiva;
- l) le onde di gravità.

Le previsioni dei modelli climatici dipendono, prima di tutto, dalle parametrizzazioni scelte. Valutarne l'impatto e dunque stimare l'attendibilità dei risultati non è semplice e costituisce una delle tematiche di ricerca che ha ricevuto maggiore attenzione negli ultimi anni. Il problema è generalmente affrontato con il cosiddetto metodo *Monte Carlo*. Si costruisce un set di soluzioni usando lo stesso modello con diverse combinazioni dei parametri.

Si simula quindi il clima tra gli anni 1950 e 2050.

I risultati vengono poi giudicati, o pesati, sulla base delle osservazioni tra il 1950 e oggi.

Nel fare ciò si considera l'abilità del modello nel riprodurre tanto il clima attuale, quanto le variazioni climatiche ed i *trend* dell'ultimo cinquantennio.

Un esempio di questa metodologia è dato in *figura 5*. Lo stesso modello è utilizzato per simulare le variazioni della temperatura media sulla superficie terrestre utilizzando diverse forzanti. Il pannello in alto a sinistra evidenzia, in grigio, l'evoluzione prevista dal modello qualora vengano considerate solo forzanti naturali, ovvero la radiazione solare e le eruzioni vulcaniche. Il modello mostra una variabilità che non coincide con quella dei dati osservati (in rosso). Nel pannello a destra, invece, sono stati considerati solo *forcing* antropogenici, ovvero i gas di effetto serra e gli aerosol. La variabilità del modello è aumentata e si ritrova un aumento molto simile a quello misurato negli ultimi 50 anni.

Qualora vengano considerati sia i forzanti di origine naturale che quelli antropogenici (pannello centrale in basso), il modello mostra un buona correlazione con i dati osservati per l'intero periodo simulato.

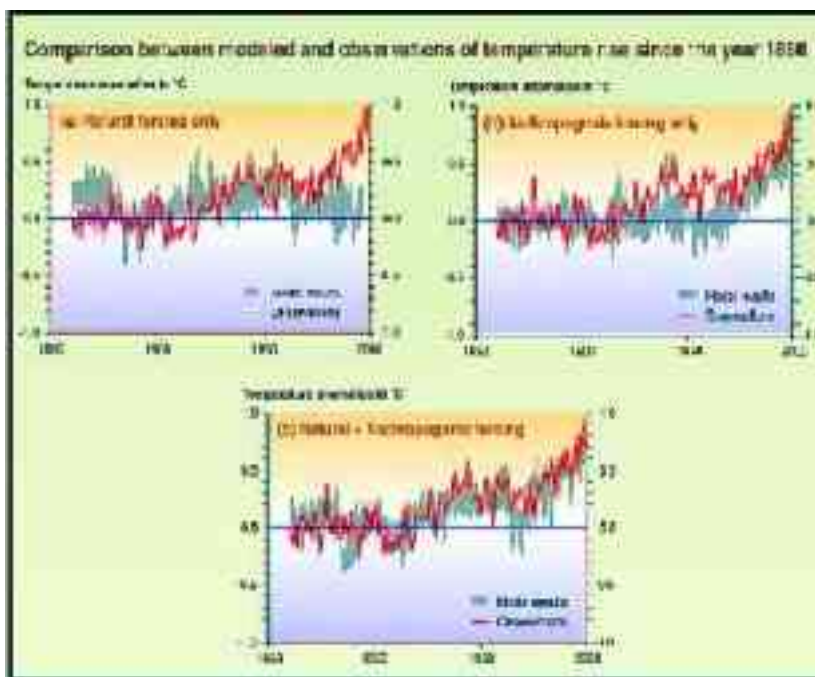


Figura 5. Si veda descrizione nel testo
(da IPCC Third Assessment Report, 2001)

Occorre infine ricordare che il clima è un sistema non lineare: la risposta alla variazione simultanea di due parametri non equivale alla somma delle risposte alle due perturbazioni imposte singolarmente e non esiste una semplice relazione tra la causa della perturbazione ed il suo effetto. Questo complica notevolmente l'esplorazione delle parametrizzazioni implementate. Ad esempio, in un modello ideale che contenga "solo" 9 parametri, l'esplorazione di 5 valori differenti, per ciascuno di essi, richiede la costruzione di 59 (circa 2 000 000) soluzioni.

Conclusioni

Molto lavoro deve ancora essere fatto per arrivare ad una comprensione dei cambiamenti climatici del passato e ad una eventuale previsione di quelli futuri sul lungo periodo. È però chiaro che l'uomo sta sostanzialmente modificando la composizione dell'atmosfera con le emissioni di gas e con l'uso indiscriminato del territorio.

Il Pannello Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) nel 2001 ha pubblicato un rapporto con proiezioni di un aumento globale della temperatura compreso tra gli 1.4 ed i 5.8°C nel corso del periodo 1990-2100. Il valore più basso si riferisce all'ipotesi di utilizzo di fonti di energia alternative, gas naturali e carbone, al rapido sviluppo di nuove tecnologie, ad una maggiore omologazione nella distribuzione delle ricchezze e ad un aumento limitato della popolazione mondiale;

quello più elevato descrive invece lo scenario in cui lo sviluppo di nuove tecnologie e l'introduzione di nuove forme di energia siano rallentati, la popolazione mondiale aumenti sensibilmente e rimangano forti disparità tra i redditi nei paesi poveri e quelli dei paesi più sviluppati.

Tenendo conto delle incertezze nelle emissioni di gas, della velocità di mescolamento nell'oceano e della solo parziale comprensione del ruolo giocato dal ciclo del carbonio e dagli aerosol nella determinazione del clima, si è stimato che la probabilità di un aumento compreso tra 1.7 e 4.9°C è del 90%.