

I MODELLI CLIMATICI PER CAPIRE IL CLIMA E I CAMBIAMENTI

LA COMPRESIONE DEL FUNZIONAMENTO DEL CLIMA NON SI PUÒ RAGGIUNGERE ANALIZZANDO LE SINGOLE CAUSE IN UN LABORATORIO REALE. OGGI I MODELLI CLIMATICI RAPPRESENTANO IL “LABORATORIO VIRTUALE” IN CUI I DIVERSI FATTORI VENGONO PESATI E INTEGRATI: ESSI CONSENTONO DI RICOSTRUIRE EGREGIAMENTE IL CLIMA PASSATO E DI OTTENERE IMPORTANTI INFORMAZIONI SULLE CAUSE DEL RECENTE CAMBIAMENTO CLIMATICO.

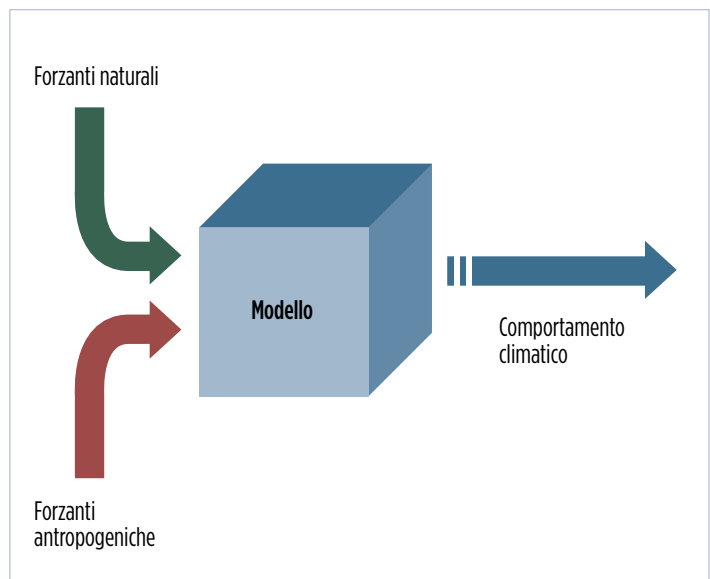
Una delle maggiori difficoltà nel parlare di clima a livello divulgativo risiede nel fatto che la disciplina scientifica che si occupa dei cambiamenti climatici non rientra nei canoni della scienza che si studia a scuola. Nei semplici esperimenti di meccanica che si effettuano alle superiori, ad esempio, ogni fattore causale ha un determinato effetto e l'effetto finale di due o più cause è la somma degli effetti che sarebbero stati causati da ogni fattore preso singolarmente. Nel sistema climatico non è così. Qui non siamo più in quel “paradiso della linearità”: non solo può mancare la diretta proporzionalità lineare tra una causa e un effetto, ma addirittura possono esistere catene circolari causa-effetto in cui l'ultimo effetto della catena va a retroagire sulla causa da cui è partita la catena stessa, cambiandone il valore. In questi casi si parla di *feedback*.

Inoltre il sistema climatico è pensabile come costituito da vari sottosistemi in interazione tra loro: l'atmosfera, gli oceani, i ghiacci, il suolo, la vegetazione ecc. Ogni cambiamento in uno di questi sottosistemi influisce sugli altri e ne riceve *feedback*. Di ognuno di questi sottosistemi conosciamo piuttosto bene la dinamica e le leggi che lo governano: ad esempio, sappiamo che l'atmosfera è un miscuglio di gas reali – cioè con passaggi di stato dell'acqua – e che è anche un fluido, dunque per essa varranno le leggi della termodinamica e della fluidodinamica. Tuttavia, mentre i singoli elementi si possono studiare in laboratorio, la complessità dell'interazione tra i vari sottosistemi non è gestibile nella realtà sperimentale: servirebbe una Terra gemella in cui fare esperimenti ma, è proprio il caso di dirlo, non ce la possiamo permettere!

In questa situazione, due cose appaiono chiare: non si possono fare quattro conti alla carlona sulle singole cause di cambiamento, ma tutti i fattori vanno

FIG. 1
SISTEMA CLIMATICO

Il sistema climatico, descritto dal modello, risponde alle forzanti esterne con un cambiamento del suo comportamento rilevabile da variabili climatiche come la temperatura globale.



pesati insieme; inoltre, non possiamo fare tutto ciò in un laboratorio reale. E allora, che fare?

La risposta è venuta con l'avvento del computer, che è diventato un laboratorio virtuale in cui possiamo immettere la nostra conoscenza teorica dei sottosistemi, dei fenomeni e dei processi conosciuti, e possiamo valutare in maniera integrata i cambiamenti indotti da cause considerate esterne al sistema climatico, che qui è descritto nella sua dinamica. In sostanza, si sono sviluppati dei modelli climatici – *Global Climate Models* (Gcm) e *Regional Climate Models* (Rcm) – che simulano nel computer il comportamento del clima, facendo evolvere nel tempo del modello il valore di grandezze come la temperatura e le precipitazioni, che noi possiamo anche misurare nel sistema reale.

La validazione dei modelli e gli esperimenti di attribution

È chiaro che un modello, per essere valido, deve simulare correttamente la

realtà, altrimenti rimane un bel giocattolo fine a se stesso. Così, la bontà dei modelli climatici si valuta sulla loro capacità di ricostruire il clima passato. Esistono ovviamente modelli paleoclimatici che mirano a ricostruire le ere glaciali e i periodi interglaciali delle ultime centinaia di migliaia di anni. Qui non ci occupiamo di loro, ma solo dei modelli che mirano a simulare correttamente i cambiamenti climatici recenti.

Data per assodata una variabilità naturale del clima che dovrebbe evidenziarsi nel modello dalle complesse interazioni tra i vari sottosistemi del sistema climatico, ciò che si vuole valutare sono i cambiamenti al clima stesso apportati dalla variazione di cause (che diremo “forzanti”) considerate esterne al sistema (*figura 1*). Tra le forzanti naturali possiamo considerare le variazioni nella radiazione proveniente dal Sole e nelle polveri vulcaniche; tra quelle antropogeniche, cioè di origine umana, si possono annoverare le quantità di gas serra presenti in atmosfera, quelle di solfati, e magari i cambiamenti nell'uso del suolo e nella deforestazione. Per validare un

modello climatico, allora, si immettono nel modello i valori misurati o stimati di queste grandezze, ad esempio per l'ultimo secolo, e si va a vedere se il modello simula correttamente gli andamenti di alcune variabili medie (come la temperatura globale) e se presenta una loro distribuzione sul pianeta consistente con le osservazioni.

Un esempio di validazione di questo tipo è presentato in *figura 2(a)*. Come si vede, l'insieme di questi Gcm è in grado di ricostruire egregiamente l'andamento crescente della temperatura globale nell'ultimo secolo, sia pur sottostimando un po' il massimo termico intorno al 1940 e sovrastimando lievemente il minimo relativo degli anni 50. È interessante vedere, inoltre, come venga colta molto bene la crescita decisa che parte dagli anni 60. Ulteriori validazioni (sia pur talvolta meno evidenti di questa) vengono dalla considerazione di altre variabili e dalle mappe spaziali degli output di questi modelli. Un aspetto da considerare è che modelli diversi danno tutti ricostruzioni molto simili.

Un altro aspetto interessante del lavoro con i modelli è che, una volta che si abbia a disposizione un modello validato, si possono effettuare esperimenti che nella realtà non sarebbero possibili. I più interessanti sono quelli di *attribution*, che mirano a rispondere a una serie di domande: quali sono state le cause fondamentali del recente riscaldamento globale? A cosa lo possiamo "attribuire"? Dipende da cause naturali o antropogeniche?

Sfruttando la libertà che abbiamo nel manipolare la realtà simulata nei nostri modelli, "facciamo finta" che le forzanti antropogeniche siano rimaste per tutto l'ultimo secolo a valori costanti caratteristici dell'epoca preindustriale.

Ciò che accade nel modello viene mostrato in *figura 2(b)*: a partire dagli anni 60 la temperatura media globale sarebbe rimasta quasi costante, a fronte della decisa crescita che è avvenuta nella realtà. Ciò è ovviamente un forte indizio che questa crescita è stata dovuta essenzialmente proprio al mutato valore delle forzanti antropogeniche, in primis dei gas serra, che quindi appaiono come le cause fondamentali del recente riscaldamento globale.

Strategie modellistiche diverse

Ovviamente un modello è sempre una rappresentazione approssimata della realtà: la nostra conoscenza teorica non è perfetta, immettiamo nei modelli i fenomeni e processi che riteniamo più importanti, altri li trattiamo in maniera indiretta, altri li trascuriamo perché ritenuti poco influenti. Pur con queste approssimazioni, i Gcm e i Rcm hanno mostrato buoni risultati e affidabilità nella ricostruzione del clima passato, tanto che ora li utilizziamo anche per effettuare proiezioni future. Nonostante ciò, in alcuni ambienti si continua ad asserire

che le incertezze insite in questi modelli minerebbero l'affidabilità dei loro risultati. Oggi, allora, la scienza del clima percorre anche altre strade di modellizzazione, con l'intento di analizzare il sistema climatico da diversi punti di vista, cosa questa che, in sistemi complessi, spesso fa scoprire aspetti complementari del problema sotto analisi o conduce a corroborare o a falsificare risultati ottenuti per altre vie.

Così, ad esempio, al Cnr di Roma abbiamo cominciato ad affrontare il problema dell'*attribution* con metodiche diverse, cioè con modelli di intelligenza artificiale (reti neurali) e modelli econometrici (*Granger causality*). Tutti questi modelli hanno confermato, in maniera assolutamente indipendente e con metodiche esenti dalle critiche rivolte ai modelli precedenti, che sono state le forzanti antropogeniche a guidare il recente riscaldamento globale. Un risultato che colpisce particolarmente!

Antonello Pasini

Ricercatore del Cnr, Istituto sull'inquinamento atmosferico, Roma

BIBLIOGRAFIA

A. Attanasio, A. Pasini, U. Triacca, 2012, "A contribution to attribution of recent global warming by out-of-sample Granger causality analysis", *Atmospheric Science Letters*, 13, 67-72.

Ipcc, 2007, *Climate change 2007. The physical science basis*, Cambridge University Press, capitolo 9, pp. 663-745.

S.E. Haupt, A. Pasini, C. Marzban (eds.), 2009, *Artificial intelligence methods in the environmental sciences*, Springer, capitolo 12, pp. 235-254.

A. Pasini, 2003, *I cambiamenti climatici. Meteorologia e clima simulato*, Bruno Mondadori.

FIG. 2
VALIDAZIONE
DEI MODELLI

I risultati di un insieme di Gcm quando vengono forniti i dati reali di forzanti naturali e antropogeniche (a) e quando invece gli influssi umani vengono tenuti costanti a valori preindustriali (b).

Fonte: Figura adattata da IPCC (2007).

