

MA IL CLIMA NON E' SOLO SPETTACOLO O POLEMICA POLITICA di Antonello Pasini

At present, climate change is a "hot topic" of discussion for both policy-makers and common people. In mass media one can find the most different opinions on this topic. In this paper, we go down from the level of opinions to that of scientific information and present a brief analysis of the modelling method for the study of climate. This allows us to understand novelty and cultural importance of this activity, that applies the Galileian tradition to the complex climate system by modern instruments (computer as a "virtual laboratory"). In this framework, only a strong background of scientific culture can suggest founded answers to present questions.

I cambiamenti climatici sono oggi un "argomento scottante" di discussione sia per i politici che per la gente comune. Sui mass media si possono trovare le opinioni più diverse riguardo a questo tema. In questo articolo, scendendo dal piano delle opinioni a quello dell'informazione scientifica, si presenta una breve analisi del metodo modellistico per lo studio del clima. Ciò permette di comprendere la novità e la valenza culturale di questa attività, che applica la tradizione galileiana ad un sistema complesso come il clima con strumenti moderni (il calcolatore come "laboratorio virtuale"). In questo ambito, solo una solida base di cultura scientifica può suggerire risposte fondate a domande attuali.

Negli ultimi mesi il tema dei cambiamenti climatici è tornato alla ribalta dei *mass media*.

Prima dell'estate è uscito nelle sale il film *The day after tomorrow*: la grancassa pubblicitaria del sistema cinematografico hollywoodiano ha di fatto inibito la possibilità di non accorgersene. In questo film si presenta in maniera spettacolare e con un massiccio uso di effetti speciali uno scenario di rapida glaciazione di buona parte dell'emisfero nord. Su un altro fronte, ma questa è una notizia che forse ha raggiunto solo chi è interessato a temi economico-ambientali, negli incontri di Mosca avvenuti nel maggio scorso tra delegazioni ad altissimo livello di Unione Europea e Russia si è lasciato intendere che il Presidente russo Putin sarebbe disposto a ratificare il Protocollo di Kyoto sulla riduzione dei gas ad effetto serra. Molti commentatori hanno legato questa disponibilità all'impegno della UE nel promuovere l'ingresso della Russia nella WTO, l'organizzazione mondiale sul commercio. Non è dato sapere quale sarà la situazione nel momento in cui questo articolo verrà dato alle stampe.

Dunque questi due eventi hanno riaperto l'interesse dell'opinione pubblica sul tema dei cambiamenti climatici, interesse forse un po' sopito dopo la conferenza ONU sul clima di Milano dei primi di dicembre del 2003. Ma, come dubitarne, con l'interesse si è riaccesa

anche la polemica tra "ambientalisti" e "scettici". E, dato che si sta comprendendo sempre più che questo tema è inestricabilmente legato a modalità di sviluppo socio-economico, si è riaperta anche la polemica politica. A fronte di una sostanziale convergenza scientifica sul fatto che le azioni umane influiscano sul clima, come riportato nell'ultimo rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)¹ e come ribadito più recentemente dall'Accademia delle Scienze americana², ciò che colpisce è soprattutto la netta differenza nelle strategie di azione per evitare gli effetti indesiderati dei cambiamenti climatici che si possono ipotizzare per il futuro³.

¹ Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K. e Johnson C.A. (a cura di) (2001), *Climate change 2001: the scientific basis*, Cambridge University Press, Cambridge.

² National Academy of Sciences (2001), *Climate change science: an analysis of some key questions*, National Academy Press, Washington D.C..

³ Qui non possiamo soffermarci sull'analisi di questi effetti: citiamo soltanto che esiste un'ampia letteratura relativa agli impatti delle variazioni climatiche sulle foreste, sull'agricoltura, sul fenomeno della desertificazione, sulla vulnerabilità delle coste, sulla biodiversità vegetale e animale, sulla salute umana, sui flussi migratori, ecc..

Al di là delle "etichette" date ai due schieramenti (peraltro abbastanza variegati), si possono effettivamente identificare due strategie principali di azione. La prima è detta di mitigazione ed è cara agli ambientalisti: una volta constatato che le azioni antropogeniche sul clima si esplicano attualmente nell'immissione di una grande quantità di gas ad effetto serra nell'atmosfera e nell'attività di deforestazione, questa strategia consiste sostanzialmente sia nel ridurre l'aumento di questi gas fino a stabilizzarli ad un valore di concentrazione ritenuto non pericoloso, sia in un'azione di preservazione delle foreste. La seconda strategia, che diremo di adattamento e che viene privilegiata dall'altro schieramento, deriva dalla considerazione che l'attività di mitigazione non sarebbe possibile, se non in minima parte, pena il blocco dello sviluppo economico o addirittura l'insorgere di una crisi economica globale. Questa strategia consiste in azioni di contenimento degli effetti, ottenute mediante soluzioni prevalentemente ingegneristiche, come ad esempio la costruzione di dighe per contrastare l'innalzamento del livello del mare.

Di fronte a questa situazione l'uomo della strada è giustamente perplesso e tende a propendere per l'una o l'altra soluzione a seconda del proprio concetto di sviluppo e delle proprie simpatie politiche. A questo proposito è particolarmente significativo il risultato di una ricerca sociologica svolta nel 2002 dall'Università di Cardiff su un campione di più di 1000 inglesi⁴. Questa ricerca ha mostrato come, a fronte di opinioni piuttosto chiare su argomenti inerenti ai cambiamenti climatici, le informazioni scientifiche su questo stesso tema siano assai scarse, anche in persone costantemente a contatto con la "informazione" televisiva, dei giornali o di altri *media*. Ciò, in particolare, deve spingere a far riflettere chi fa del giornalismo il proprio mestiere, in quanto, pur con tutte le cautele del caso, sembra dunque che, almeno in alcuni campi, i *media* riescano a comunicare bene le opinioni, ma non le informazioni scientifiche, informazioni che dovrebbero pur stare alla base di queste opinioni.

⁴ Da un comunicato stampa dell'Università di Cardiff dei primi giorni del novembre 2002.

In questo contesto mi sembra del tutto sterile entrare nel campo della polemica politica. E' sicuramente più interessante, e più vicino alle mie specificità di ricercatore, utilizzare lo spazio di una rivista che si occupa di cultura scientifica per scendere di un gradino ed analizzare brevemente i metodi attuali dell'indagine scientifica sul clima. Ciò consente di apprezzare la valenza culturale che ha lo studio di un sistema complesso come il clima e di comprendere le sue modalità di comportamento. Ma non solo. A mio parere, questa conoscenza rappresenta la necessaria base su cui fondare ogni discussione sulle nostre azioni future.

Ebbene, i cambiamenti del clima rappresentano forse il prototipo dei problemi che deve affrontare una complessa società moderna. Il guaio è che non siamo abituati a confrontarci con questa complessità. La nostra istruzione scolastica, ad esempio, ci ha insegnato ad interagire con sistemi tutto sommato semplici, come quelli meccanici, dove ad una causa corrisponde un effetto e dove cause ed effetti sono sempre completamente separabili. E' vero che a volte un effetto è dovuto alla concomitanza di più cause, ma queste si possono anche applicare una alla volta e si scopre facilmente che l'effetto finale è dato dalla somma degli effetti dovuti alle singole cause. Questa proprietà si chiama "linearità".

Ma come agisce lo scienziato moderno nello studio di un sistema, sia esso semplice o complesso? Ebbene, nella storia della scienza dopo il periodo dei filosofi greci e dei loro epigoni medievali, in cui ci si è limitati ad osservare la realtà alla ricerca di regolarità che ne potessero chiarire il comportamento, con Galileo Galilei si è cominciato a controllare e a manipolare la realtà in laboratorio per spingere la natura a fornire precise risposte a specifici quesiti. Spesso si dice che gli scienziati moderni siano bambini cresciuti. Ed è vero. Date ad un bambino un giocattolo: se il bimbo è abbastanza curioso ed ha abbastanza tempo, alla fine lo aprirà per vedere come funziona; poi cercherà anche di ricostruirlo per giocarci ancora. Gli scienziati moderni fanno proprio così con i sistemi che stanno studiando.

Questa attitudine fanciullesca ad aprire il giocattolo per guardarci dentro, a smontarlo e a ricomporre i pezzi, viene oggi perseguita in

ogni campo della scienza: lo studio dell'atmosfera e del clima non fa eccezione. Solitamente l'attività di scomposizione di un sistema per studiarne i singoli elementi e le loro interazioni di base non pone particolari problemi: in laboratorio, ad esempio, possiamo agevolmente studiare l'assorbimento di radiazione infrarossa da parte di molecole di anidride carbonica (che contribuisce al cosiddetto effetto serra), oppure, considerando l'aria come un fluido o come un miscuglio di gas e acqua, possiamo analizzare il movimento di porzioni di aria in casi semplificati o studiare i principali processi termodinamici che avvengono in atmosfera. Quando però, in laboratorio, si cerca di ricostruire il "giocattolo" nella sua interezza, mentre ciò è solitamente possibile per i sistemi meccanici, questo risulta estremamente difficoltoso nel caso dell'atmosfera e del sistema Terra.

A cosa è dovuta questa difficoltà? Sostanzialmente al fatto che in questi ultimi sistemi (detti non lineari) fenomeni e processi diversi sono altamente interagenti gli uni con gli altri; e cause ed effetti non sono completamente separabili come succede in meccanica. Se si analizza una cascata di effetti dovuti ad una singola causa, molto spesso alla fine di questa catena si trova un effetto che agisce sulla causa prima che lo ha prodotto, modificandola: si parla allora di *feedback* dell'ultimo effetto sulla causa prima. Inoltre, anche dal punto di vista della concreta applicazione della nostra conoscenza teorica dei singoli fenomeni e processi climatici si va incontro a difficoltà: si pensi, ad esempio, che alcune equazioni con cui descriviamo questi fenomeni e processi (come le equazioni di Navier-Stokes della fluidodinamica) non sono risolvibili analiticamente se non in casi semplicissimi ed irrealistici. Si comprende, allora, come in questo contesto non si possa ricostruire la complessità climatica in laboratorio e comprenderla con i metodi *standard*.

Così, fino a pochi decenni fa meteorologia e climatologia sono rimaste discipline puramente osservative. Poi, sia pure in maniera traslata, anche in questi campi è stata recuperata la fecondità dell'applicazione del metodo sperimentale galileiano, che a tanti risultati ha condotto nelle cosiddette "scienze dure". Oggi,

infatti, il computer e i modelli simulativi possono essere considerati il "laboratorio virtuale" in cui si studia il clima. In un modello, composto da equazioni che rappresentano la nostra conoscenza teorica (e che possono essere risolte numericamente) e da variabili che si rifanno ai dati reali, è possibile ricostruire la complessità del reale, sia pure in maniera semplificata. In particolare si può simulare l'evoluzione del sistema climatico a partire da scenari osservati nel passato o ipotizzati per il futuro; tutto ciò in tempi brevissimi (decine di ore per decenni di evoluzione reale) e con la possibilità di effettuare esperimenti numerici, ad esempio cambiando la nostra descrizione teorica o i dati relativi alle "forzanti" climatiche.

Di questa "rivoluzione metodologica", che è alla base della nostra attuale comprensione del comportamento di tanti sistemi complessi, non ultimo il sistema climatico, si è sempre parlato poco in ambienti non specialistici⁵. Qui vorrei sottolineare due aspetti peculiari dell'attività modellistica che ne mostrano l'importanza per la nostra visione della natura e per la corretta comprensione del suo comportamento.

Prima di tutto bisogna considerare che le equazioni che si usano in questi modelli sono strettamente deterministiche, cioè, una volta dato uno stato iniziale del sistema che si sta studiando, questo stato evolve secondo rigide leggi evolutive che non lasciano spazio ad indeterminazioni. Tuttavia, molte di queste equazioni sono caratterizzate da una estrema sensibilità proprio all'indeterminazione nella stima di questo stato iniziale. Se facciamo l'esempio dei modelli di previsione meteorologica, ciò significa che due situazioni meteo iniziali molto simili possono sfociare in situazioni finali anche molto diverse dopo 10-15 giorni di tempo simulato nel calcolatore. Pertanto, se anche il mio modello fosse perfetto, l'indeterminazione intrinseca nella stima della situazione iniziale, tratta da rilevazioni meteo discrete e sparse sul territorio, non consente (neanche teoricamente)

⁵ Per quanto mi riguarda, recentemente ho pubblicato un libro di divulgazione scientifica e riflessione concettuale proprio su questi temi: Pasini A. (2003), *I cambiamenti climatici: meteorologia e clima simulato*, Bruno Mondadori editore, Milano. A questo volume si rimanda il lettore interessato per approfondire alcuni temi qui necessariamente solo accennati.

una determinazione univoca della situazione meteorologica prevista dopo un certo lasso temporale. Esiste dunque un orizzonte temporale teorico oltre il quale non si possono fare previsioni univoche con questi modelli: questo orizzonte limite è stimato oggi in circa 15 giorni, ma nella pratica le cose vanno piuttosto male già dopo 7-10 giorni e talvolta anche prima.

In questo contesto, in cui svanisce definitivamente il sogno di Laplace di poter determinare univocamente il futuro di un sistema fisico, qualunque sia la sua complessità, si affaccia la possibilità di introdurre una visione probabilistica nella trattazione di sistemi di equazioni prettamente deterministiche, cioè proprio nel regno prima incontrastato del determinismo. Ciò, in particolare, porta a definire metodi che possano quantificare l'affidabilità delle singole previsioni deterministiche e che fanno intravedere la possibilità di una previsione più propriamente probabilistica.

Da un altro punto di vista, considerato che i modelli climatici si basano su uno "zoccolo duro" meteorologico, ci si può chiedere come sia possibile, allora, prevedere il clima dei prossimi decenni, se non siamo in grado di fare previsioni del tempo per più di 15 giorni. Innanzi tutto va detto che nei modelli climatici insieme all'atmosfera si considerano altri sottosistemi del sistema Terra, tutti interagenti tra loro, come ad esempio gli oceani e i ghiacci, le cui caratteristiche variano più lentamente rispetto a quelle dell'atmosfera: ciò ha influssi benefici sulla predicibilità a lunga scadenza. Inoltre, la vera chiave di volta sta nel fatto che il clima è un concetto statistico: si tratta del tempo medio e della sua variabilità su una determinata zona per un notevole lasso di tempo (almeno 30 anni). In questo senso, ciò che chiediamo ai modelli climatici non è una previsione univoca, bensì consiste nel ricostruire una statistica di possibili stati climatici in un determinato periodo. Così possiamo utilizzare concetti avanzati di fisica teorica dei sistemi complessi, come gli attrattori, e sfruttare la potenza di calcolo dei nostri computer per far evolvere un ventaglio di situazioni climatiche iniziali su cui costruire una statistica.

Vorrei quindi sottolineare come, dal punto di vista metodologico, della nostra visione

della natura e della comprensione del suo comportamento, l'attività di simulazione modellistica porti ad un cambiamento di paradigma. In particolare, in questo modo riusciamo a ricostruire la complessità del sistema che stiamo studiando e a bilanciare i rapporti causa-effetto, sia pure in maniera semplificata. Inoltre il miglioramento dei modelli, ad esempio con l'introduzione della descrizione di fenomeni o processi prima trascurati, è sempre possibile e li può dotare di un realismo via via più spiccato.

Ovviamente, un modello sarà ritenuto valido se è in grado di ricostruire il clima passato: solo allora lo si potrà utilizzare per previsioni del clima futuro. Da questo punto di vista, i modelli attuali riescono a simulare accuratamente l'andamento della temperatura annuale mediata su tutto il globo a partire dal 1860. Tra l'altro, all'interno di questa attività di ricostruzione si è effettuata effettivamente un'analisi di causalità, vedendo chiaramente come i dati delle cosiddette "forzanti" di origine antropica al sistema clima (emissioni di gas ad effetto serra e solfati) siano indispensabili, cioè siano cause determinanti, per ricostruire il cospicuo riscaldamento degli ultimi decenni. A livello regionale (sub-continentale) gli errori nella stima del clima passato sono un po' più grandi, ma oggi modelli regionali riescono ad affinare anche questi risultati.

A questo punto non è poi così importante constatare che i modelli attuali, nella stragrande maggioranza, danno previsioni simili per il clima futuro. Si può accennare al fatto che, sulla base di scenari ipotizzati per le emissioni di inquinanti e l'uso del suolo (da quello più deleterio a quello più benefico dal punto di vista ambientale), in termini di andamento della temperatura media globale per il 2100 è previsto un aumento generalizzato, all'interno di un ventaglio che va da 1,4 a 5,8 °C⁶. Tuttavia, risultati recenti di alcuni modelli mostrano che, in un contesto di riscaldamento globale, alcune zone del globo potrebbero andare incontro ad un raffreddamento a scala regionale⁷: si pensi

⁶ Si veda il riferimento bibliografico riportato nella nota 1.

⁷ Tali modelli vengono discussi in Steffen W., Sanderson A., Tyson P.D., Jäger J., Matson P.A.,

all'ipotizzata deviazione della corrente del golfo e al conseguente raffreddamento delle isole britanniche, raffreddamento che in quel film di recente uscita è stato esteso arbitrariamente a quasi tutto l'emisfero nord e fatto avvenire con una rapidità non realistica. Sempre a questa scala regionale, risultati recenti di colleghi svizzeri portano ad ipotizzare che le temperature riscontrate in buona parte dell'Europa alpina e mediterranea nella famigerata estate 2003 possano diventare la norma nell'ultimo trentennio di questo secolo⁸.

Ovviamente i modelli attuali sono ancora lontani dal ricostruire la realtà climatica in tutta la sua complessità. Tuttavia, le simulazioni fin qui effettuate mostrano indicazioni da valutare attentamente e, soprattutto, riportano la scienza del clima nel novero di quelle discipline in cui si possono comprendere i rapporti causa-effetto nel sistema che si sta studiando, anche se il sistema stesso è complesso. Ciò è estremamente importante perché, dato che nei modelli possiamo effettuare esperimenti virtuali, ci è consentito manipolare le cause e vedere l'effetto di tali cambiamenti sul clima futuro. Così, nonostante il sistema risponda in maniera complessa (non lineare) a queste variazioni nelle cause fondamentali, abbiamo un modo per sapere sommariamente come agire al fine di evitare situazioni climatiche estreme nel futuro.

Questo rapido *excursus* all'interno dei metodi modellistici per lo studio del clima dovrebbe aver mostrato chiaramente il terreno su cui si muove oggi l'analisi scientifica del problema. Tutto ciò ha contribuito ad una nuova visione dei sistemi complessi e del loro comportamento, recuperando nel contempo un modo consolidato di affrontare un problema scientifico.

Ma ora dobbiamo chiederci: quest'analisi suggerisce qualche risposta alla domanda sul

"che fare"? Ebbene, dato che tra le cause dei recenti cambiamenti climatici un ruolo importante lo assumono le emissioni antropogeniche, variare la quantità di queste emissioni nel giusto verso porterà ad una variazione degli effetti, anche se non quantificabile in maniera lineare e strettamente deterministica, bensì dinamico-statistica. Dal punto di vista scientifico questa appare la strategia più ragionevole: trovati i legami causa-effetto, ripristinare la situazione desiderata agendo sulle cause. L'altra strategia, quella dell'adattamento, ignora le relazioni causa-effetto e rinuncia ad un ristabilimento delle condizioni di minore influenza antropogenica sull'ambiente: dal punto di vista della cultura scientifica, quindi, essa appare poco fondata.

Alcuni autori hanno evidenziato nella possibile adozione di quest'ultima strategia l'esempio di un vero e proprio cambiamento nel paradigma di intervento dell'uomo sull'ambiente naturale. A tal proposito, mi pare esemplificativo ciò che scrive Silvio Bergia (del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna) sulla propensione, espressa da più parti, a tendere verso una strategia di adattamento:

*"Se questo atteggiamento dovesse prevalere saremmo in presenza di un cambiamento epocale nella storia dei rapporti tra uomo e ambiente naturale. L'uomo, che ha aggredito la natura come ambiente, assoggettandola alle sue esigenze, rinuncerebbe a interventi atti a ripristinare con essa un rapporto equilibrato, accettando come in pratica irrimediabile lo squilibrio che la sua retroazione sull'ambiente ha prodotto. Novello apprendista stregone, si dichiarerebbe impotente a controllare le forze che ha scatenato, e si porrebbe rispetto a esse in una posizione strettamente difensiva e, a lungo termine, tragicamente perdente."*⁹

Vorrei aggiungere che, tra l'altro, questa strategia dell'adattamento, permettendo emissioni aumentate, conduce a scenari non esplorati dal sistema climatico, almeno nel recente passato in cui abbiamo dati sugli effetti in termini di variazioni climatiche e di impatti. Proprio la natura non lineare del sistema

Moore III B., Oldfield F., Richardson K., Schellnhuber H.-J., Turner II B.L. e Wasson R.J. (2004), *Global Change and the Earth system: a planet under pressure*, Springer-Verlag, New York.

⁸ Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger, M.A. e Appenzeller, C. (2004), "The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves", in *Nature*, 427, pp. 332-336.

⁹ Bergia S. (2004), "Natura come ambiente: come si colloca l'altra cultura", in Pancaldi G. (a cura di), *Natura cultura identità: le università e l'identità europea*, Bologna Studies in History of Science, Bologna (in corso di stampa).

climatico rende questa strategia assai pericolosa, in quanto in questi sistemi ad una data variazione delle cause (e magari al superamento di determinate soglie critiche) può seguire una variazione molto più grande degli effetti.

In conclusione, come già ricordato più sopra, non è mia intenzione entrare nel campo della polemica politica, polemica che tira in ballo tutte questioni degne di rilievo, come quelle economiche e quelle relative al modo

per mantenere o sviluppare il benessere per i cittadini del mondo. Vorrei semplicemente segnalare che, quando si devono prendere decisioni di questa portata, vale la pena farlo appoggiandosi ad un metodo scientifico, le cui caratteristiche, relativamente allo studio del clima, sono state qui analizzate. Parafrasando il latore del metodo scientifico, Galileo Galilei, mi piacerebbe, allora, che la conoscenza del sistema clima e delle metodologie scientifiche qui discusse potesse "anteporsi ad ogni discorso ancorché ne paresse assai fondato".

**ANTONELLO PASINI**

Ricercatore dell'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR. Fisico teorico e specializzato in meteorologia, è esperto di modellistica dei sistemi complessi e di intelligenza artificiale. Oltre che essere autore di numerosi articoli scientifici su riviste internazionali, ha recentemente pubblicato "I cambiamenti climatici: meteorologia e clima simulato" (Mondadori, 2003).

Contatti:

CNR - Ist. Inquinam. Atmosferico Via Salaria Km29,300 00016 Monterotondo Staz. (RM)
Tel. 06.90672274 fax 06.90672660 Email: pasini@iia.cnr.it