

# LA MODELLISTICA NUMERICA E GLI SCENARI DEL CAMBIAMENTO

NELLO STUDIO DELLE SCIENZE DEL CLIMA MANCA UN TAVOLO SPERIMENTALE COL QUALE VERIFICARE O CONFUTARE IPOTESI E TEORIE. I MODELLI NUMERICI CERCANO DI SUPERARE QUESTA DIFFICOLTÀ E RAPPRESENTANO LO STRUMENTO PIÙ AVANZATO PER STUDIARE I MECCANISMI CHE REGOLANO IL CLIMA E CERCARE DI PREVEDERNE L'EVOLUZIONE.

**I** mutamenti del clima possono essere ricondotti essenzialmente a due categorie distinte di cause: i) cause naturali, quali, ad esempio, le variazioni dell'attività solare, le eruzioni vulcaniche, o la variabilità interna determinata dalla interazione tra le diverse componenti del sistema climatico; ii) cause antropogeniche, legate principalmente all'immissione in atmosfera di grandi quantità di gas serra e aerosol. Tale molteplicità nei fattori in grado di influenzare l'evoluzione del clima del pianeta, del resto, si riflette nell'ampio spettro di scale temporali che caratterizza l'andamento osservato della temperatura media superficiale terrestre (figura 1), dove si ravvisano variazioni su scale che vanno da quella interannuale, a scale decennali, fino alla scala secolare.

Uno dei principali problemi che si pongono nello studio delle scienze del clima rispetto ad altre discipline scientifiche consiste nella mancanza di un tavolo sperimentale col quale verificare o confutare ipotesi e teorie in grado di identificare i meccanismi alla base dei mutamenti climatici sopra menzionati. Questa mancanza ha indotto gli scienziati a sviluppare modelli numerici con i quali eseguire simulazioni ed esperimenti sul clima e sulla sua variabilità che, per ovvi motivi, non possono essere condotti in un laboratorio. In particolare, i modelli consentono di studiare le variazioni del clima rispetto a modificazioni anche drastiche dei parametri del pianeta, come ad esempio la distribuzione dei continenti, la configurazione orografica e la composizione dell'atmosfera. I modelli numerici del clima sono basati su consolidati principi fisici e sulla rappresentazione matematica dei processi e delle interazioni attive nel sistema climatico e negli ultimi anni hanno compiuto notevoli progressi, migliorando considerevolmente la loro capacità di riprodurre le principali caratteristiche osservate del clima, capacità attentamente

FIG. 1  
TEMPERATURA

Media globale della temperatura superficiale per il periodo 1850-2009 rispetto al periodo di riferimento 1880-1920 stimata da data set osservativi della Nasa/Giss (Usa) e dello Hadley Centre (Uk). Dati ottenuti dalla NOAA che ricostruiscono la temperatura superficiale marina (non mostrati) rivelano un simile andamento. Da: The Copenhagen Diagnosis (2009).

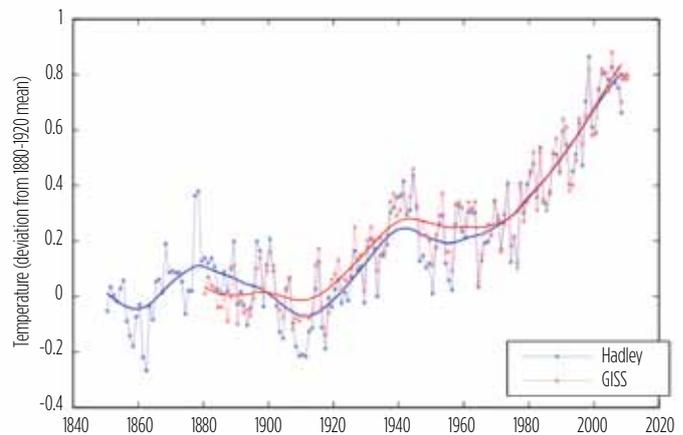
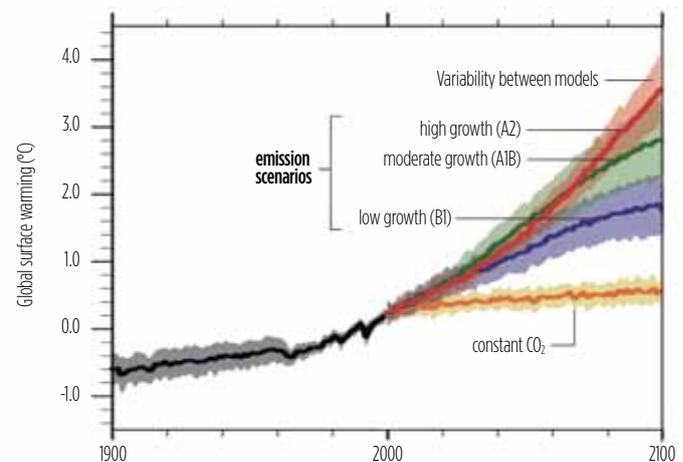


FIG. 2  
MODELLI NUMERICI

Cambiamenti simulati (linea nera) e proiettati (linee colorate) della temperatura media globale ottenuti usando tre scenari di emissione (A2, A1B e B1) che non comprendono nessuna politica di mitigazione (Sres Ipcc). Le aree ombreggiate mostrano gli intervalli di incertezza associati ai diversi (una ventina circa) modelli utilizzati per le proiezioni (Ipcc, 2007), mentre le linee colorate rappresentano le medie multi-modello. Modificato da Ipcc Wg1 Ar4; Nasa Earth-Observatory.



verificata confrontando i loro risultati con le osservazioni disponibili per oceano e atmosfera (Reichler e Kim 2008).

Tali modelli esprimono e contengono lo stato dell'arte nella conoscenza del clima e dei processi che lo caratterizzano, attualmente a disposizione della comunità scientifica. Essi quindi rappresentano lo strumento più avanzato col quale cercare di investigare i meccanismi che regolano il clima, la sua variabilità ed, eventualmente, cercare di prevederne l'evoluzione (Randall et al., 2007).

Negli ultimi venti anni, numerose

simulazioni numeriche sono state eseguite con modelli globali accoppiati atmosfera-oceano (Aogcm) per individuare la risposta del sistema climatico all'aumento di concentrazione dei cosiddetti "gas serra", quali, per esempio la CO<sub>2</sub> atmosferica (si veda per esempio Ipcc-Ar4, 2007). Questi studi hanno mostrato che è possibile riprodurre il clima globale del pianeta e la sua risposta a diversi scenari di aumento dei gas serra e oggi la comunità scientifica è ragionevolmente concorde nel ritenere che gli Aogcm siano in grado di fornire stime quantitative affidabili

della risposta climatica ai cambiamenti di forzante radiativo, in particolare su scale globali e continentali.

È proprio grazie all'utilizzo dei modelli del clima che è stato possibile effettuare un esperimento cruciale per la attribuzione dei cambiamenti climatici osservati all'influenza umana: effettuando due simulazioni del clima del XX secolo includendo, in un caso, i forzanti naturali e antropogenici, e, nell'altro, i soli forzanti naturali, si è osservato come la risposta simulata della temperatura di superficie risultasse consistente con quella osservata solo quando entrambi i tipi di forzanti venivano considerati nella simulazione del clima del XX secolo (Ippc-Ar4, 2007). I modelli numerici del clima, quindi, offrono uno strumento formidabile per cercare di capire quale può essere la risposta del sistema climatico a cambiamenti del forzante radiativo (concentrazione atmosferica dei gas serra e degli aerosol), fornendo proiezioni di possibili condizioni climatiche future basate su scenari di emissioni plausibili. In *figura 2* è illustrata l'evoluzione della temperatura media alla superficie della pianeta simulata per il periodo 1900-2000 (linea nera) dai modelli Cmp3 (*Coupled Model Intercomparison Project 3*, Meehl et al. 2007a) e le proiezioni per il XXI secolo ottenute con gli stessi modelli utilizzando tre possibili scenari di emissioni dell'Ippc (Sres-Ippc, Nakićenović and R. Swart, 2000). Le simulazioni Cmp3 indicano, per tutti gli scenari, un riscaldamento globale rispetto al periodo di riferimento (1980-1999). Il riscaldamento proiettato per la fine del secolo è compreso approssimativamente tra 1.8°C nel caso dello scenario più moderato (B1), fino agli oltre 4°C trovati per lo scenario con le emissioni più intense (A2). Inoltre, la distribuzione spaziale dell'aumento della temperatura proiettata indica che il riscaldamento interessa tutte le aree del pianeta, sebbene in misura diversa (vedi Ippc-Ar4, Wg1, figure 10.8, Meehl et al. 2007b). Le aree continentali e quelle della regione Artica, per esempio, mostrano un riscaldamento molto più pronunciato (fino a oltre 4°C nello scenario B1 e 5-6°C negli scenari A1B e A2) rispetto al resto del globo.

Nel Quinto rapporto dell'Ippc (Ippc-Ar5) la cui pubblicazione ufficiale è prevista per il 2014, sono stati utilizzati scenari differenti da quelli impiegati per l'Ar4, e dunque non è possibile un raffronto puntuale tra le simulazioni di scenario illustrate nei due rapporti. Tuttavia, esiste una sostanziale consistenza tra i risultati riportati nell'Ar4 e nell'Ar5 in termini di

variazioni climatiche attese alla fine del XXI secolo.

La grande variabilità spaziale del clima, comunque, rende difficilmente trasportabili i risultati globali a scale spaziali più ridotte. Quella che nella modellistica climatica viene definita come scala regionale, ma che in realtà è continentale o sub-continentale, è forse la minima scala ove sia possibile definire un clima statisticamente stabile. D'altra parte, la scala regionale è quella che ha una maggiore interconnessione con gli interessi socio-economici, in quanto, se le strategie di mitigazione sono per loro natura globali, le strategie e le politiche di adattamento devono essere necessariamente applicate localmente, creando quindi una forte domanda di informazioni più localizzate rispetto agli indici globali del cambiamento climatico.

Per tutti questi motivi, una valutazione corretta degli scenari di cambiamento climatico a scala regionale non può esimersi dall'utilizzare tutti gli strumenti disponibili per regionalizzare correttamente i segnali climatici di larga scala dei modelli globali, ricorrendo, nello specifico, a tecniche di *downscaling* dinamico e statistico.

Nonostante i progressi compiuti negli ultimi decenni dalla modellistica climatica, i modelli attualmente utilizzati dalla comunità scientifica soffrono ancora di una serie di "patologie" che inficiano la corretta rappresentazione del clima

e della sua variabilità in talune aree del pianeta.

La riduzione degli errori dei modelli resta una delle sfide più importanti per la comunità della modellistica climatica, giacché da essa dipende in modo cruciale la possibilità di realizzare previsioni (e proiezioni) climatiche sempre più accurate. A sua volta la riduzione degli errori sistematici non può prescindere da una migliore comprensione dei meccanismi fisici che determinano la fenomenologia del clima: le interazioni tra le nubi e la circolazione atmosferica, e gli effetti risultanti sull'equilibrio radiativo del pianeta; la dinamica della criosfera; i driver che regolano le variazioni nella frequenza e intensità degli eventi estremi; i processi che influenzano le variazioni nel livello del mare. Questi sono soltanto alcuni dei temi identificati di recente dal *World Climate Research Programme* (Wcrp), come "*Grand Science Challenges*" (<http://www.wcrp-climate.org/grandcha.shtml>). È intorno a questi grandi temi che si concentreranno gli sforzi della comunità scientifica negli anni a venire, e rispetto ai quali la modellistica numerica continuerà a svolgere un ruolo prominente.

**Silvio Gualdi, Alessio Bellucci**

Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti climatici (Cmcc)

## BIBLIOGRAFIA

- Ippc, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Meehl, G.A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J.F.B. Mitchell, R.J. Stouffer and K.A. Taylor, 2007a, "The WCRP CMIP3 multimodel dataset - A new era in climate change research", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 1383-1394.
- Meehl, G.A., et al., 2007b, "Global Climate Projections", in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nakićenović N., and R. Swart (eds.), 2000, *Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, 599 pp.
- Randall, D.A. et al., 2007, "Climate Models and Their Evaluation", in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Reichler, T., and J. Kim, 2008, "Uncertainties in the climate mean state of global observations, reanalyses, and the GFDL climate model", *J. Geophys. Res.*, 113, D05106, doi:10.1029/2007JD009278.