

DAL MODELLO AI MODELLI PER GESTIRE L'INCERTEZZA

L’AFFIDABILITÀ DEGLI STRUMENTI MODELLISTICI PER LA VALUTAZIONE DELLA PORTATA E DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI È CRESCIUTA MOLTO. PER GESTIRE L'INCERTEZZA COMUNQUE PRESENTE SI POSSONO APPLICARE VARIE TECNICHE CHE PARTONO DALLA COMBINAZIONE DI PIÙ MODELLI.

I modelli di Circolazione generale accoppiati atmosfera-oceano (Aogcm), rappresentano oggi i principali strumenti disponibili per la valutazione degli scenari climatici globali futuri e rappresentano il primo step di una catena che contiene anche altri strumenti modellistici necessari per regionalizzare gli scenari globali: i Modelli regionali del clima (Rcm) e gli strumenti di downscaling statistico (Sd). La catena si chiude infine con i modelli di impatto del *climate change* sulle attività umane nei vari settori (agricoltura,

turismo, trasporti, produzione di energia ecc.), sul rischio territoriale e ambientale, salute, gestione delle risorse naturali, economia, sistemi ecologici, biologici, naturali e infine sulla biodiversità vegetale e animale. Questi strumenti di simulazione hanno grandi potenzialità, ma anche dei limiti, e quindi gli scenari climatici prodotti hanno delle incertezze. In alcune aree del globo terrestre gli Aogcm sono molto concordi nel rappresentare scenari futuri del clima ben definiti, in altre molto meno, mostrando in certi casi notevole variabilità. Gli

scenari di temperatura, sia globali che regionalizzati sono “meno incerti” di quelli di precipitazione, dove si evidenzia una maggiore variabilità nel segnale di cambiamento, soprattutto passando alle scale spaziali più piccole. Il bacino del Mediterraneo, dove è collocata la penisola italiana, è sicuramente una delle aree della Terra dove si evidenzia un grande accordo tra Aogcm e Rcm. Il segnale concorde è un generale aumento di temperatura, nei valori medi e negli estremi, più elevato in estate. Parallelamente, si evidenzia un bacino

CAMBIAMENTO CLIMATICO

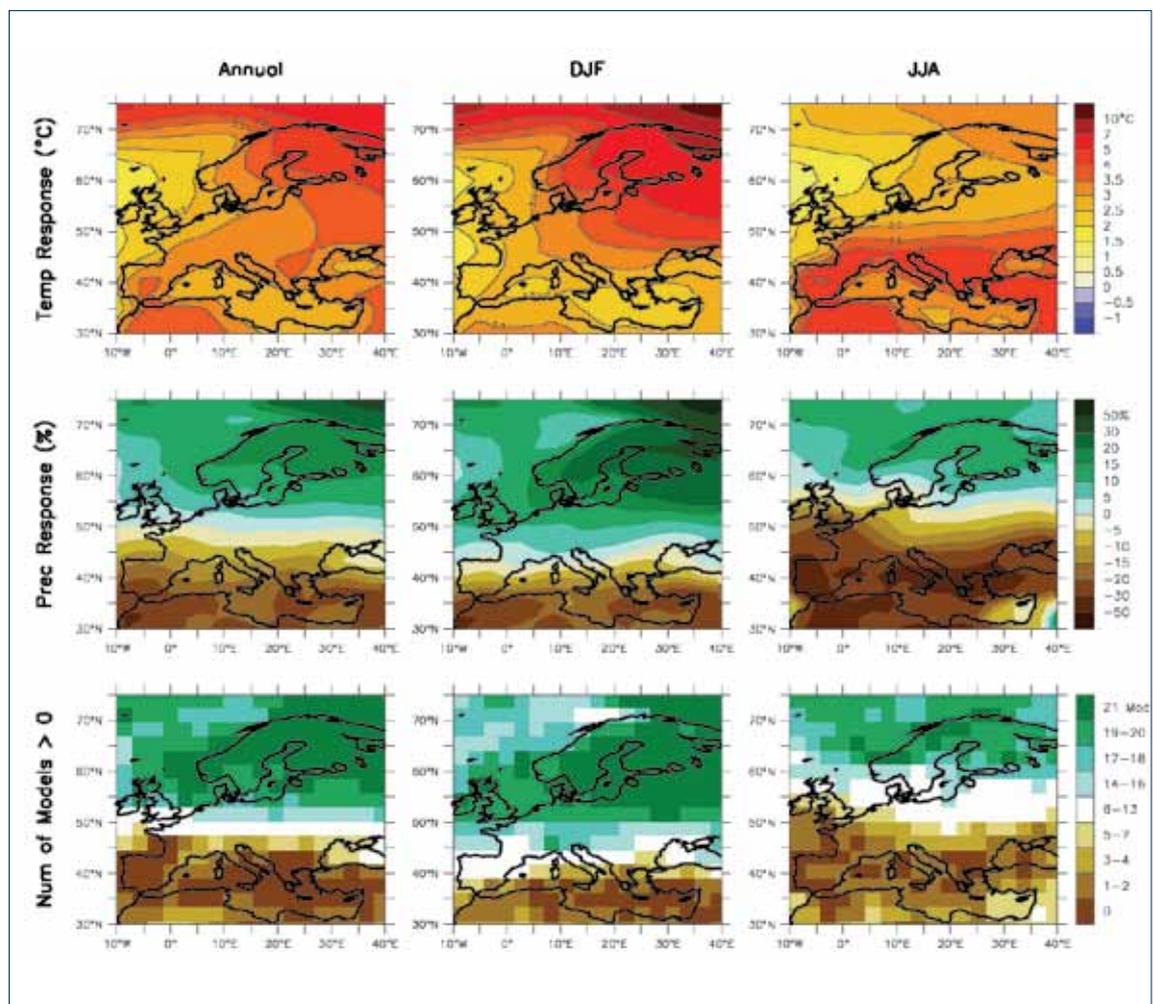


FIG. 1
SCENARI
DI CAMBIAMENTO

Cambiamenti di temperatura e precipitazioni in Europa da simulazioni di 21 Modelli globali con scenario A1B. In alto: cambiamenti della temperatura (°C) media annuale, in inverno (DJF) ed estate (JJA) tra il 1980-1999 e il 2080-2099, mediata sui 21 modelli. In mezzo: come la riga in alto ma per il rapporto tra le precipitazioni (%) del 2080-2099 e quelle del periodo 1980-1999. In basso: numero di modelli (sul totale di 21) in cui si prevede un aumento di precipitazione.

Fonte: Ipc4-Ar4-Wgl, cap. 11, fig. 11.5.

mediterraneo parecchio più “secco” in futuro, con una decisa diminuzione delle piogge soprattutto d'estate. La *figura 1*, tratta dal cap. 11 dell'Ipcc-Ar4-Wg1 offre una sintesi di questi scenari sul Mediterraneo e mostra anche la loro solidità, testimoniata dalla scarsissima variabilità da modello a modello, se la si confronta con l'entità del cambiamento evidenziato.

Il recente progetto europeo Ensembles (Van der Linden e Mitchell, 2009) ha prodotto una amplissima serie di scenari climatici futuri e ha permesso di fare un grande passo avanti per la gestione del problema dell'incertezza. Ensembles ha confermato per il bacino del Mediterraneo gli scenari Ipcc (Ipcc, 2007), lasciando pochi dubbi sul fatto che questa area potrà divenire uno dei futuri *hot-spot* del pianeta, almeno d'estate.

Le ragioni dell'incertezza

Nonostante l'affidabilità degli strumenti modellistici sia cresciuta a dismisura negli ultimi 20 anni, il dibattito sulla gestione dell'incertezza degli scenari climatici futuri è ancora molto forte. La domanda è allora: “cosa genera questa incertezza, e come è possibile gestirla?”.

È noto a tutti che l'atmosfera è un sistema essenzialmente caotico a tutte le scale spaziali e temporali di moto. Il primo a riconoscere questa grande verità è stato il grande meteorologo e climatologo americano Edward Lorenz, che negli anni 60 produsse una serie di lavori (Lorenz, 1963, 1969), che costituiscono la base di partenza delle scienze della previsione meteorologica e del clima. La natura di questa caoticità dipende da diversi fattori, ma soprattutto dall'estrema non linearità delle equazioni che descrivono il moto dei fluidi, che produce una



crescita spesso incontrollata delle varie incertezze ed errori degli Aogcm, fino al punto di contaminarne l'evoluzione nel tempo. Questo è vero anche nel caso della previsione del tempo: ad esempio, in questo settore, il crollo della predicibilità dopo 7-10 giorni è in gran parte indotto dall'incertezza dello stato iniziale da cui partono le previsioni dei modelli usati allo scopo.

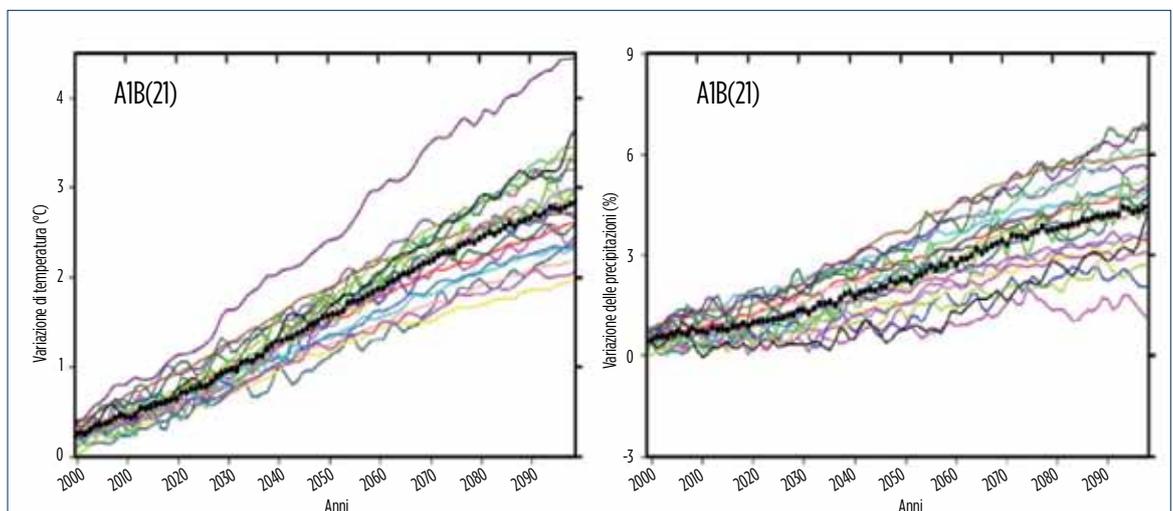
Nel caso delle simulazioni del clima, la maggior sorgente di incertezza non deriva invece dalle condizioni iniziali, ma piuttosto dalla formulazione stessa dei modelli, ed è connessa alla sensibilità del sistema climatico al *forcing* causato dalle emissioni dei gas serra (vedi *figura 2*). Una tale alta sensibilità è amplificata dalla non

linearità delle equazioni degli Aogcm e rende difficoltosa la descrizione dei tanti processi di *feedback* presenti nella “fisica” del sistema terra-atmosfera-oceano-biosfera. Per di più, molti dei processi fisici sopra citati non sempre sono descritti adeguatamente dagli Aogcm, sia per scarsa conoscenza, sia per la difficoltà a “tradurre” le conoscenze in algoritmi efficienti dentro gli Aogcm. Questo è sicuramente vero per quanto concerne la descrizione delle nubi, l'accoppiamento nubi/radiazione, i processi “umidi” e le trasformazioni di fase, la “chimica” dell'atmosfera, la formazione degli aerosol e la loro interazione con la radiazione. Le chiameremo, schematicamente, incertezze modellistiche.

FIG. 2
INCERTEZZA
NEI MODELLI

Simulazioni del cambiamento di temperatura media annuale (media globale, a sinistra) e del cambiamento percentuale nella precipitazione media annuale (a destra), fornite da 21 Aogcm con lo scenario di emissione A1B, tratto dal Quarto Rapporto Ipcc. La linea nera in grassetto rappresenta la media dell'ensemble. Le differenze sono valutate rispetto al clima 1961-1990.

Fonte: J. Slingo e T. Palmer, 2012



Ma ci sono anche ragioni “esterne” agli Aogcm che fanno crescere le incertezze negli scenari prodotti. Gli Aogcm, per realizzare le loro simulazioni, necessitano di realistici scenari di emissione di gas serra, che sono a loro volta collegabili a diversi scenari di crescita dei *driver* delle emissioni. Tali *driver* sono naturali e di natura antropogenica, almeno dall’inizio dell’era industriale, quindi sempre più legati all’attività umana. Riassumendo, si parla di scenari di crescita economica e sociale. Questi scenari economici hanno anch’essi, come si può facilmente immaginare, una certa dose di incertezza intrinseca, che poi si ribalta nell’incertezza degli input emissivi che alimentano gli Aogcm.

Gestire l’incertezza

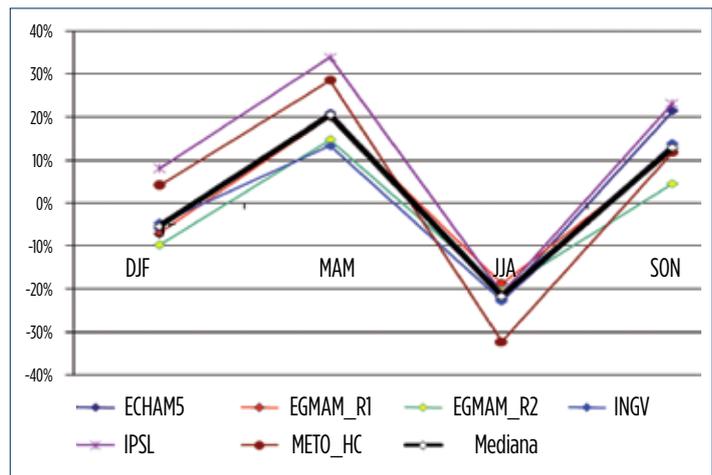
Il problema della gestione dell’incertezza è affrontato oggi attraverso un uso combinato di molti Aogcm e Rcm, utilizzati assieme. Questa metodologia, già presente nel settore della previsione meteorologica, permette di creare diverse opportunità di clima simulato e offre pertanto una valutazione probabilistica quantitativa dell’incertezza, associata alle simulazioni. Gli insiemi di modelli sono costruiti con tecniche diverse: la più ovvia è quella di utilizzare Aogcm diversi, sviluppati da più centri climatologici (approccio *multi-model*); un’altra tecnica, che si abbina a questa, è quella di usare uno stesso Aogcm ma in “versioni” diverse, modificando, ad esempio, gli schemi di parametrizzazione dei processi fisici e/o bio-geo-chimici chiave. Accoppiando “diversi” Aogcm con “diversi” Rcm e “diverse” tecniche di Sd, si può ampliare in maniera considerevole la dimensione dell’insieme e ottenere, a valle delle simulazioni di insieme, una funzione di distribuzione di probabilità degli scenari climatici prodotti. La disponibilità di tali scenari probabilistici di cambiamento climatico offre allora una naturale gestione dell’incertezza al *decision maker*, che può utilizzare queste simulazioni per definire, in maniera altrettanto probabilistica, il rischio associato al cambiamento climatico, nel settore specifico e in relazione all’impatto a cui è interessato.

Esistono nella recente letteratura scientifica sul tema un crescente numero di esempi di applicazione di questi approcci probabilistici. Ad esempio si può citare, oltre al già citato progetto Ensembles, l’approccio usato da J.M. Murphy e collaboratori (2007) che hanno stimato degli scenari di cambiamento

FIG. 3
SCENARI DI
CAMBIAMENTO
APPLICATI

Anomalie stagionali di precipitazione (%) in scenario di cambiamento climatico nell’area di studio della pianura piacentina per il periodo 2021-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990.

Fonte: G. Villani, 2010



climatico in Europa mediante un uso combinato di Rcm guidati da diversi ensemble di Aogcm. Un approccio del genere è stato usato per produrre delle simulazioni, totalmente probabilistiche, di scenari climatici futuri anche a scala spaziale più piccola, ad esempio sul Regno Unito (l’esperimento Ukcp09), i cui risultati sono accessibili dal sito: <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk>. Un altro esempio di applicazione delle tecniche di insieme per la valutazione dell’incertezza è stato sviluppato anche da Arpa-Simc nell’ambito del progetto Agrosenari (<http://www.agrosenari.it/presentazione.asp>), finalizzato alla valutazione dell’impatto dei cambiamenti

climatici in agricoltura. In tale progetto sono stati elaborati diversi scenari climatici regionalizzati per sei aree di studio italiane per il trentennio 2021-2050 usando 6 Aogcm opportunamente regionalizzati con tecniche di Sd (Tomozeiu e al. 2007). Da tali scenari (figura 3) è stato poi possibile valutare, a valle e in senso probabilistico, altrettanti scenari di fabbisogno irriguo per diverse colture frutticole, orticole e foraggere (Tomei et al., 2010; Villani, 2010).

Carlo Cacciamani

Direttore Servizio IdroMeteoClima
Arpa Emilia-Romagna

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ipcc, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, Pachauri R.K and Reisinger A. (eds.). Ipcc, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Lorenz E.N., 1963, “Deterministic non periodic flow”, *J. Atmos. Sci.*, 20, 130-141.
- Lorenz E.N., 1969, “The predictability of a flow which possesses many scales of motion”, *Tellus*, 21, 19.
- Murphy J.M., Booth B.B.B., Collins M., Harris G.R., Sexton D.M.H., Webb M.J., 2007, “A methodology for probabilistic predictions of regional climate change from perturbed physics ensembles”, *Phil. Trans. R. Soc. A*, 365, 1993-2028, doi:10.1098/rsta.2007.2077.
- Slingo J., Palmer T., 2012, “Uncertainty in weather and climate prediction”, *Phil. Trans. R. Soc. A*, 2011, 369, 4751-4767, doi: 10.1098/rsta.2011.0161.
- Tomei F., Antolini G., Tomozeiu R., Pavan V., Villani G., Marletto V., 2010, “Analysis of precipitation in Emilia-Romagna (Italy) and impacts of climate change scenarios”, *Proceedings of Statistics in hydrology Working Group (STAHY-WG) International workshop*, Taormina. 23-25 May 2010.
- Tomozeiu R., Cacciamani C., Pavan V., Morgillo A., Busiuc A., 2007, “Climate change scenarios for surface temperature in Emilia-Romagna (Italy) obtained using statistical downscaling models”, *Theoretical and Applied Climatology*, 90: 25-47.
- Van der Linden P., Mitchell J.F.B., 2009, *ENSEMBLES: Climate Change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*, Met Office Hadley Centre, UK, 160 pp.
- Villani G., 2010, *Irrigazione e Cambiamenti climatici*, tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria agraria, Ciclo XXIII, Università degli Studi di Bologna.