

APERTURA

Paola Mercogliano

Myriam Montesarchio

Giuliana Barbato

Francesco Bosello

Fabio Moliterni

Stefano Pareglio

Tamma A. Carleton

Solomon M. Hsiang

Filippo Fraschini

Marco Pregnolato

Mita Lapi

Elisa Calliari

Marinella Davide

Il futuro del clima in Italia: proiezioni al 2050

di Paola Mercogliano, Myriam Montesarchio
e Giuliana Barbato

Due gli scenari presi in esame e uno il periodo futuro analizzato 2021-2050. Ma i risultati non cambiano di molto. Per entrambi, aumenta il numero dei giorni con temperature massime superiori a 29°C e, di contro, si riducono quelli con temperature minime inferiori a 0°C. Le variazioni dei valori di precipitazione sono in aumento, come pure la loro intensità. Lo scenario più pessimista registra un incremento medio delle temperature fino a 2°C

Tra le diverse finalità istituzionali della Fondazione CMCC, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, c'è anche lo studio delle caratteristiche regionali, fino a quelle locali, del cambiamento climatico: l'obiettivo è cercare di stabilire come si caratterizzano, su queste scale di dettaglio, gli scenari di concentrazione di riferimento dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Per valutare il clima su una scala regionale, esistono principalmente due tecniche di «regionalizzazione»: quelle statistiche e quelle dinamiche, differenti in termini di approccio, oneri computazionali, prerequisiti e limiti, e quindi con diversi vantaggi e svantaggi.

I modelli climatici regionali – tecniche di regionalizzazione dinamica, che consistono nell'utilizzo di modelli che riguardano aree limitate del globo innestati in quelli globali – permettono di valutare con una buona affidabilità, sebbene permangano ancora degli errori, gli andamenti attesi, non solo per le variabili atmosferiche su scala annuale o stagionale, ma anche per caratteristiche più estreme del clima. Inoltre, diversi studi di letteratura mostrano come la risoluzione spaziale di questi modelli, attualmente intorno ai 10 chilometri, e la capacità di avere una buona predicibilità su scala giornaliera, li indichino come i più adatti da utilizzare come input ai modelli di impatto. In questo modo sarà possibile valutare quantitativamente come il cambiamento climatico inciderà sulla loro varia-

ne (in frequenza e magnitudo). Per tali motivi, i risultati ottenuti con tale tecnica rivestono grande importanza per i decisori, ovvero per coloro che devono elaborare strategie capaci di affrontare e limitare gli impatti di questi cambiamenti.

In questo lavoro vengono mostrati, riferiti all'Italia, i risultati ottenuti con la tecnica del «downscaling dinamico» (regionalizzazione dinamica), la quale permette di avere un quadro delle variazioni attese su tutto il territorio nazionale, per diverse variabili d'interesse. Tali risultati sono stati ampiamente utilizzati anche per fare valutazioni, in diversi contesti geografici italiani, delle variazioni attese per alcuni impatti (per esempio frane, piene, magre, incendi).

Più in generale, in Europa sono disponibili parecchi modelli climatici regionali, la maggior parte utilizzati all'interno del programma EURO-CORDEX¹, in cui diverse istituzioni effettuano, secondo un certo protocollo, simulazioni analoghe ma con differenti modelli climatici regionali e/o globali. Tali simulazioni permettono di valutare l'andamento atteso dei parametri atmosferici di interesse, specialmente temperatura e precipitazione, a seconda dello scenario IPCC selezionato per quanto attiene l'andamento futuro previsto per la concentrazione di gas climalteranti fino al 2100.

L'importanza di questo programma risiede nella possibilità di valutare l'incertezza dovuta all'imperfetta rappresentazione del sistema climatico da parte dei modelli climatici e, allo stesso tempo, di capire la robustezza dei risultati, sulla base del numero di modelli che concordano o meno su una certa evoluzione della variabile o dell'indicatore d'interesse. Maggior robustezza, per esempio, è presente per gli scenari di temperatura dove si

¹ F. Giorgi, *Regionalization of Climate Change Information for Impact Assessment and Adaptation*, in «WMO Bulletin», vol. 57, n. 2, 2008, pp. 86-92; F. Giorgi, C. Jones e G.R. Asrar, *Addressing Climate Information Needs at the Regional Level: The CORDEX Framework*, in «WMO Bulletin», vol. 58, n. 33, 2009, pp. 175-183.

registra un più grande accordo tra modelli, mentre minore è quello presente per gli scenari di precipitazione. Ciò sottolinea quali sono gli aspetti su cui è necessario, allo stato attuale, porre maggiore attenzione nello sviluppo dei nuovi modelli climatici.

Un aspetto fondamentale per migliorare la capacità di rappresentare il clima locale, specialmente in una zona a orografia complessa, è l'aumento di risoluzione spaziale. Sulla base di ciò, il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) ha sviluppato un modello regionale con una più alta risoluzione spaziale (circa otto chilometri) rispetto al programma EURO-CORDEX (circa dodici chilometri). Inoltre, la configurazione di tale modello è stata specificamente ottimizzata sull'Italia per poterne meglio rappresentare il clima, in termini di valori sia medi sia estremi². Una serie di validazioni dei risultati ha confermato come l'aumento della risoluzione e una «configurazione *ad hoc*» possano generalmente costituire una modalità per aumentare la capacità di un modello di rappresentare il clima. Tale risultato è confermato anche da altri esperimenti svolti dal CMCC in diversi ambiti geografici, anche al di fuori del Mediterraneo.

Rimane certamente auspicabile l'idea di poter riproporre su scala nazionale quanto fatto dal programma EURO-CORDEX, ovvero un insieme di diversi modelli climatici regionali «specializzati» sull'Italia, per ottenere anche una valutazione dell'incertezza e, al contempo, una sua riduzione. Tuttavia, il principale limite per ottenere questo risultato è dato dall'elevato costo computazionale attualmente richiesto per effettuare simulazioni climatiche con una risoluzione così elevata.

² E. Bucchignani, M. Montesarchio, A.L. Zollo e P. Mercogliano, *High-Resolution Climate Simulations with COSMO-CLM over Italy: Performance Evaluation and Climate Projections for the 21st Century*, in «International Journal of Climatology», vol. 36, n. 2, 2016, pp. 735-736.; A.L. Zollo, V. Rillo, E. Bucchignani, M. Montesarchio e P. Mercogliano, *Extreme Temperature and Precipitation Events over Italy: Assessment of High-Resolution Simulations with COSMO-CLM and Future Scenarios*, in «International Journal of Climatology», vol. 36, n. 2, 2016, pp. 987-1004.

Il modello climatico regionale COSMO-CLM

Gli elementi essenziali per poter ottenere scenari tramite un «downscaling dinamico» sono quindi tre:

– *Scenari IPCC*. In questo lavoro sono stati utilizzati due scenari RCP (Representative Concentration Pathways) che valutano diversi possibili futuri scenari di emissioni di gas climalteranti e quindi diversi valori di forzante radiativa³. Tali scenari sono l’RCP8.5, che rappresenta quello più pessimista dell’IPCC in termini di concentrazioni di CO₂ equivalente al 2100 con circa 930 ppm (parte per milione), e l’RCP4.5, lo scenario detto intermedio o di stabilizzazione delle emissioni, che assume valori minimi di emissioni e una concentrazione di CO₂ equivalente al 2100 di circa 540 ppm.

– Ai diversi scenari IPCC corrispondono differenti scenari di incremento nella temperatura media globale che sono ottenuti tramite l’utilizzo di un *modello climatico globale*, che permette di riprodurre il clima globale includendo le variazioni dovute alla presenza di maggiori quantità di GHG (Green House Gases) presenti in atmosfera. Inoltre essi forniscono l’input per poter fare analisi su scala regionale (come descritto in figura 1).

– Infine c’è il *modello climatico a scala regionale*, che permette di avere degli scenari climatici di dettaglio a una maggiore risoluzione spaziale.

Il CMCC ha utilizzato il modello regionale COSMO-CLM⁴ per produrre gli scenari su scala nazionale.

Si tratta di un modello climatico regionale realizzato a partire dal modello operativo meteorologico COSMO-LM⁵, sviluppato inizialmente dal

³ IPCC, *Summary for Policymakers*, in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge-New York, Cambridge University Press, 2013.

⁴ B. Rockel e B. Geyer, *The Performance of the Regional Climate Model CLM in Different Climate Regions, Based on the Example of Precipitation*, in «*Meteorologische Zeitschrift*», vol. 17, n. 4, 2008, pp. 487-498.

⁵ J. Steppeler, G. Doms, U. Schättler, H.W. Bitzer, A. Gassmann, U. Damrath e G. Gregoric, *Meso-Gamma Scale Forecasts Using the Nonhydrostatic Model LM*, in «*Meteorology and Atmospheric Physics*», vol. 82, n. 1-4, 2003, pp. 75-96.

servizio meteorologico tedesco DWD e, in seguito, dal consorzio europeo COSMO e attualmente in uso con modalità operativa anche in Italia attraverso le due configurazioni gestite da ARPA Emilia-Romagna e dall'Aeronautica Militare. Il modello climatico regionale COSMO-CLM è attualmente sviluppato all'interno della CLM-Community, a cui il CMCC partecipa fin dal 2008. Può essere utilizzato per effettuare simulazioni climatiche con risoluzioni spaziali comprese nell'intervallo tra 1 e 50 chilometri, sebbene le equazioni che ne regolano la dinamica lo rendano maggiormente adatto a effettuare simulazioni che impiegano griglie con risoluzioni orizzontali inferiori a 20 chilometri⁶.

Proiezioni climatiche sull'Italia al 2050

Diversi sono i range temporali che vengono investigati per dare indicazioni sulle possibili evoluzioni del clima a scala locale nei prossimi decenni, al variare degli scenari IPCC considerati. In questo lavoro vengono presentate le anomalie climatiche ottenute confrontando i valori registrati sul trentennio 2021-2050, indicato spesso come il *near time range* (periodo che solitamente risulta di maggior interesse per i decisori), e su quello 1981-2010, scelto come riferimento per il clima attuale. Infatti, secondo la World Meteorological Organization (WMO)⁷, è necessario considerare almeno trent'anni di dati per effettuare analisi che possano essere ritenute rappresentative del clima.

In particolare, in figura 2 sono mostrate le proiezioni climatiche stagionali di temperatura e precipitazione per gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5. Le stagioni sono indicate con la seguente nomenclatura: DJF (December-January-February) per indicare l'inverno, MAM (March-April-May) per la primavera, JJA (June-July-August) per l'estate e, infine, SON (September-October-November) per l'autunno.

⁶ U. Bohm, M. Kücken, W. Ahrens, A. Block, D. Hauffe, K. Keuler e A. Will, *The Climate Version of LM: Brief Description and Long-Term Applications*, in «COSMO Newsletter», 2006, pp. 225-235.

⁷ World Meteorological Organization, *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate*, WCDPO-n. 61, 2007, WMO.TD, n. 1377, Ginevra, marzo 2007.

La figura 2 mostra un generale aumento delle temperature per entrambi gli scenari su tutta la penisola italiana; tale incremento è maggiore considerando lo scenario RCP8.5, dove arriva fino a 2°C, più marcato sulla Pianura Padana. Per quanto riguarda la precipitazione, invece, considerando lo scenario RCP4.5 i risultati mostrano una generale riduzione in primavera e un calo più accentuato in estate, soprattutto nel Sud Italia e in Sardegna (fino al 60%). In inverno viene simulata una lieve riduzione delle precipitazioni sulle Alpi e sull'Italia del Sud e un leggero aumento delle precipitazioni in Sardegna e sulla Pianura Padana; l'autunno, invece, è caratterizzato da un generale lieve aumento delle precipitazioni, con l'eccezione della Puglia. Considerando, invece, lo scenario RCP8.5, in autunno e in inverno si ha un aumento delle precipitazioni sul Nord Italia e una lieve riduzione al Sud. Le precipitazioni primaverili presentano una diminuzione nel Sud Italia, mentre in estate le proiezioni mostrano una generale riduzione (fatta eccezione della Puglia dove, tuttavia, le variazioni positive dei valori percentuali riportate sono da riferirsi a valori molto bassi sul periodo di riferimento).

Al fine di identificare le caratteristiche più estreme del clima, sono stati calcolati alcuni indicatori su scala annuale a partire dai valori giornalieri di temperatura e precipitazione (figura 3 e figura 4), ovvero:

- numero di giorni con temperatura minima minore di 0°C (FD);
- numero di giorni con temperatura massima maggiore di 29°C (SU95p);
- massimo numero di giorni consecutivi all'anno in assenza di precipitazione (CDD);
- numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 millimetri (R20).

I risultati mostrano, per entrambi gli scenari, una diminuzione del numero di giorni con temperatura minima al di sotto dei 0°C e un aumento del numero di giorni con temperatura massima maggiore di 29°C, indicando quindi un generale incremento delle temperature, come già mostrato in figura 2.

Per quanto riguarda la precipitazione, le variazioni mostrano una maggiore variabilità. Considerando lo scenario RCP8.5, il numero di giorni con precipitazioni intense mostra un aumento nell'Italia centro-settentrionale e una riduzione nelle aree meridionali, mentre lo scenario RCP4.5 proietta una riduzione al Nord e sugli Appennini. Infine, viene simulato un generale aumento del massimo numero di giorni secchi consecutivi, in particolar modo in Sicilia e Sardegna, con entrambi gli scenari dell'IPCC.

Conclusioni

L'analisi delle proiezioni climatiche future a breve termine (2021-2050 vs 1981-2010) è stata effettuata utilizzando il modello COSMO-CLM con la configurazione ottimizzata dal CMCC. Le proiezioni climatiche future sono state ottenute considerando due diversi scenari IPCC: RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, le proiezioni stagionali evidenziano un generale aumento delle temperature per entrambi gli scenari, più marcato considerando l'RCP8.5, con un incremento medio fino a 2°C. Invece, le variazioni dei valori di precipitazione mostrano una maggiore variabilità per segno (aumento o diminuzione) e intensità sul territorio italiano. Come mostrato nelle figure riportate nel documento, la stagione estiva è quella generalmente caratterizzata dalle maggiori variazioni in termini sia di crescita di temperatura media sia di riduzione di precipitazione media.

In aggiunta alle proiezioni climatiche stagionali, in questo lavoro sono state valutate anche le variazioni di alcuni indicatori rappresentativi delle caratteristiche estreme del clima. In entrambi gli scenari, si osserva un aumento dei giorni con temperatura massima maggiore di 29°C, una riduzione dei giorni con temperatura minima minore di 0°C, una limitata variazione in frequenza dei giorni con precipitazioni intense e un incremento dei giorni secchi.