

Clima mediterraneo: cambiamento in atto e scenari futuri

Il Mediterraneo è riconosciuto dalla comunità scientifica come uno dei principali "hotspot climatici" a livello globale [1], una definizione che sottolinea la sua estrema vulnerabilità agli impatti del cambiamento climatico. Situato tra Europa, Asia e Africa, il bacino Mediterraneo presenta una combinazione unica di fattori geografici e climatici che lo rendono particolarmente sensibile all'aumento delle temperature globali [2]. L'evidenza scientifica dimostra che il Mediterraneo sta subendo trasformazioni climatiche che avranno conseguenze profonde sugli ecosistemi e sulle attività umane.

DOI 10.12910/EAI2024-050

di Gianmaria Sannino, Alessandro Anav, Franco Catalano, Ernesto Napolitano, Alcide di Sarra e Damiano Sferlazzo, Divisione Modelli, Osservazioni e Scenari per il Cambiamento Climatico e la Qualità dell'Aria - ENEA

Il Mediterraneo ha goduto in passato di un clima particolarmente prevedibile, caratterizzato da estati calde e secche e inverni miti e piovosi, senza particolari eccessi. Ma il riscaldamento globale sta destabilizzando questo equilibrio. Uno dei segnali più evidenti è l'aumento delle temperature. L'evidenza scientifica mostra chiaramente che rispetto ai livelli preindustriali le temperature medie nella regione mediterranea sono già aumentate di 1,5°C, un valore che supera di circa 0,4°C la media globale [3]. Questo tasso di riscaldamento, più rapido rispetto ad altre regioni del mondo, è uno dei primi segnali **che il Mediterraneo sta subendo trasformazioni climatiche che avranno conseguenze profonde sugli ecosistemi e sulle attività umane.**

Per comprendere meglio queste dinamiche, i climatologi si avvalgono di modelli matematici complessi, noti come Earth System Models (ESMs), capaci di integrare tutte le componenti del sistema climatico terrestre, dall'atmosfera agli oceani, dai ghiacci alla vegetazione, passando per i cicli

biogeochimici [4]. L'ENEA contribuisce allo sviluppo dell'ESM globale EC-Earth e ha sviluppato un ESM regionale (ENEA-REG) specifico per l'area del Mediterraneo [5].

Gli scenari delineati dall'ENEA

Gli scenari delineati dall'ENEA [6] per il Mediterraneo variano a seconda dei diversi livelli di emissioni di gas serra considerati [7]. In uno scenario a basse emissioni, in cui si ipotizza una decisa azione globale per ridurre le emissioni e raggiungere la neutralità carbonica entro la metà del secolo, si prevede un aumento delle temperature compreso tra 1,5°C e 2°C rispetto ai livelli preindustriali. Tuttavia, scenari più pessimisti, caratterizzati da un continuo aumento delle emissioni, mostrano un possibile incremento fino a 4-5°C entro la fine del secolo (Figura 1).

Un altro aspetto cruciale del cambiamento climatico nel Mediterraneo riguarda le precipitazioni. Gli studi condotti dall'ENEA [6] indicano una diminuzione significativa delle piogge annuali, specialmente durante i mesi

estivi. Nei peggiori scenari ad alte emissioni, questa riduzione potrebbe arrivare fino al 30%, aumentando significativamente la frequenza e l'intensità dei periodi siccitosi. In alcuni casi, ciò potrebbe comportare una desertificazione progressiva in vaste aree del Sud Europa e del Nord Africa. Negli scenari a basse emissioni le riduzioni delle precipitazioni saranno meno drastiche, ma comunque presenti, con un calo stimato del 5-10% rispetto ai livelli attuali.

Queste variazioni nelle precipitazioni, combinati con l'aumento delle temperature, renderanno il Mediterraneo particolarmente vulnerabile alla carenza idrica, alla perdita di biodiversità e all'aumento del rischio di incendi boschivi, compromettendo anche settori economici vitali come l'agricoltura e il turismo [3].

Un'altra conseguenza del cambiamento climatico nel Mediterraneo è rappresentata **dall'incremento degli eventi meteorologici estremi.** Ondate di calore, incendi boschivi e piogge torrenziali sono sempre più frequenti. Nel 2023, in particolare, Paesi come

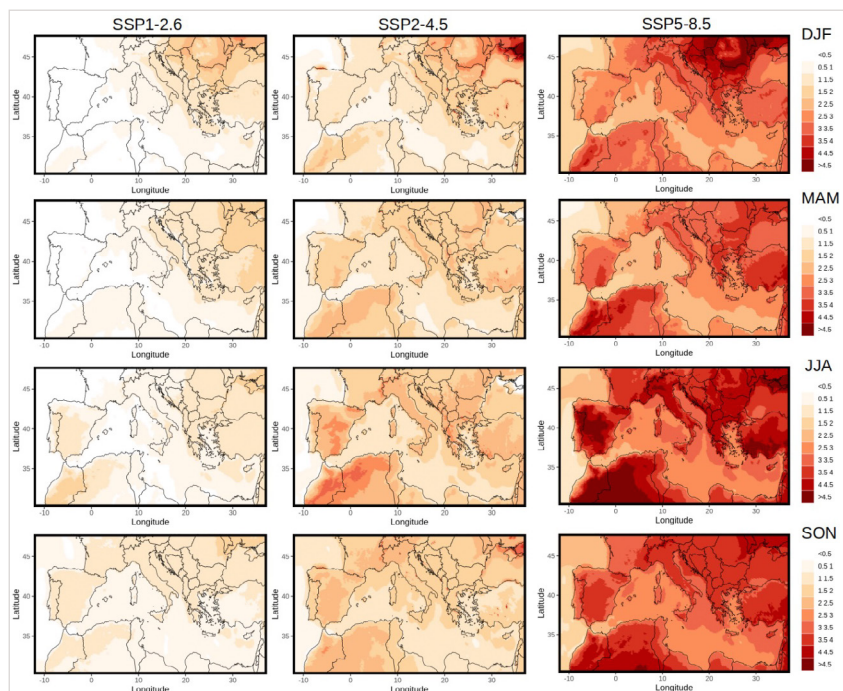


Figura 1: Cambiamento della temperatura superficiale (°C) a fine secolo rispetto al periodo storico (2071-2100 meno 1985-2014) calcolato dalle simulazioni effettuate con il modello ENEA-REG: SSP1-2.6 (colonna sinistra), SSP2-4.5 (colonna centrale) e SSP5-8.5 (colonna destra). Inverno (Dicembre-Gennaio-Febbraio, prima riga), primavera (Marzo-Aprile-Maggio, seconda riga), estate (Giugno-Luglio-Agosto, terza riga), autunno (Settembre-Ottobre-Novembre, quarta riga). Da Anav et al. (2024).

Spagna, Italia e Grecia hanno registrato temperature massime oltre i 45°C, portando a incendi devastanti che hanno distrutto vaste aree di foresta e macchia mediterranea, contribuendo ulteriormente all'aumento delle emissioni di CO₂.

A complicare ulteriormente la situazione, si sono verificate anche ondate di calore marine (MHWs), eventi prolungati di riscaldamento delle acque superficiali [8]. Tra la primavera del 2022 e quella del 2023 il Mediterraneo ha vissuto un'ondata di calore marina eccezionalmente lunga, la più prolungata degli ultimi quattro decenni [9]. L'analisi delle serie temporali di temperatura acquisite a diverse profondità presso la stazione oceanografica ENEA di Lampedusa ha evidenziato una correlazione significativa tra la ridotta frequenza di eventi ventosi di forte intensità e l'anomalo

accumulo di energia termica negli strati superficiali del mare. La limitata intensità del vento ha determinato una diminuzione dei processi di rimescolamento verticale della colonna d'acqua, riducendo il trasferimento di calore verso gli strati più profondi. Questo fenomeno ha generato una pronunciata stratificazione termica, con un conseguente incremento anomalo delle temperature superficiali.

Alterazioni significative negli ecosistemi marini e tropicalizzazione

Il riscaldamento delle acque del Mediterraneo sta già provocando alterazioni significative negli ecosistemi marini. Specie marine tipiche di acque più calde stanno migrando verso nord, mentre le specie autoctone lottano per adattarsi. Questo fenomeno, noto come "tropicalizzazione",

sta portando alla comparsa di nuove specie, come il pesce leone, e alla proliferazione di meduse di grandi dimensioni, che alterano gli equilibri ecologici esistenti [10].

Gli impatti del cambiamento climatico non riguardano solo l'ambiente naturale, ma anche la società e l'economia della regione. La regione ospita circa 500 milioni di persone, molte delle quali vivono lungo le coste. L'innalzamento del livello del mare minaccia città e infrastrutture costiere [11] [12], mentre la ridotta disponibilità di acqua e la perdita di produttività agricola potrebbero provocare tensioni tra i paesi mediterranei, aumentando il rischio di migrazioni climatiche.

Le comunità costiere, in particolare, si troveranno a fronteggiare rischi crescenti, con settori come il turismo gravemente colpiti.

Il Mediterraneo rappresenta una sorta di laboratorio naturale per lo studio degli impatti del cambiamento climatico. Di fronte a sfide senza precedenti, è fondamentale distinguere chiaramente tra mitigazione e adattamento. La **mitigazione** riguarda le azioni volte a ridurre o prevenire le emissioni di gas serra, affrontando così le cause profonde del cambiamento climatico. Senza definire ed implementare efficaci misure di mitigazione, le strategie di **adattamento** rischiano di essere insufficienti o temporanee.

Misure di mitigazione e strategie di adattamento

È necessario un approccio coordinato e globale per mitigare gli effetti più gravi del cambiamento climatico nel Mediterraneo. Questo include l'adozione di politiche climatiche ambiziose, la transizione verso energie rinnovabili e la promozione di pratiche sostenibili in tutti i settori economici. **Solo definendo solide misure**

di mitigazione possiamo creare le basi per efficaci strategie di adattamento che comprendono tra le altre una gestione sostenibile delle risorse idriche, l'adozione di tecniche agricole innovative e la promozione di infrastrutture resilienti capaci di affrontare eventi climatici estremi. Inoltre,

investimenti in ricerca e tecnologie avanzate per il monitoraggio e la previsione dei cambiamenti climatici saranno essenziali per adattarsi efficacemente.

Il futuro del Mediterraneo dipenderà dalla nostra capacità di innovare e riconsiderare il nostro rapporto con

l'ambiente, integrando sia misure di mitigazione che di adattamento. Solo così potremo preservare non solo il patrimonio naturale, ma anche quello culturale e storico di una regione così unica del nostro Pianeta.

per info: gianmaria.sannino@enea.it

Bibliografia

- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8).
- Tuel, Alexandre, and Elfatih A. B. Eltahir. "Why Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot?" *Journal of Climate*, vol. 33, no. 14, 2020, pp. 5829–5843. American Meteorological Society, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0910.1>.
- Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change (MedECC) (2020). *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report* [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (Eds.)]. Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7224821>
- Döscher, R., Acosta, M., Alessandri, A., Anthoni, P., Arneth, A., Arsouze, T., Bergmann, T., Bernadello, R., Bousetta, S., Caron, L.-P., Carver, G., Castrillo, M., Catalano, F., Cvijanovic, I., Davini, P., Dekker, E., Doblas-Reyes, F. J., Docquier, D., Echevarria, P., Fladrich, U., Fuentes-Franco, R., Gröger, M., v. Hardenberg, J., Hieronymus, J., Karami, M. P., Keskinen, J.-P., Koenig, T., Makkonen, R., Massonet, F., Ménégoz, M., Miller, P. A., Moreno-Chamarro, E., Nieradzik, L., van Noije, T., Nolan, P., O'Donnell, D., Ollinaho, P., van den Oord, G., Ortega, P., Prims, O. T., Ramos, A., Reerink, T., Rousset, C., Ruprich-Robert, Y., Le Sager, P., Schmith, T., Schrödner, R., Serva, F., Sicardi, V., Sloth Madsen, M., Smith, B., Tian, T., Tourigny, E., Uotila, P., Vancoppenolle, M., Wang, S., Wårlind, D., Willén, U., Wyser, K., Yang, S., Yepes-Arbós, X., and Zhang, Q., 2022: The EC-Earth3 Earth System Model for the Climate Model Intercomparison Project 6, *Geosci. Model Dev.*, doi:10.5194/gmd-2020-446
- Anav A, Carrillo A, Palma M, Struglia MV, Turuncoglu UU, Sannino G. The ENEA-REG system (v1.0), a multi-component regional Earth system model: sensitivity to different atmospheric components over the Med-CORDEX region. *Geosci Model Dev.* 2021;14:4159–4185. doi:10.5194/gmd-14-4159-2021.
- Anav A., Antonelli M., Calmanti S., Carillo A., Catalano F., Dell'Aquila A., Iacono R., Marullo S., Napolitano E., Palma M., Pisacane G., Sannino G., Struglia M. V., 2024: Dynamical downscaling of CMIP6 scenarios with ENEA-REG: An impact-oriented application for the MED-CORDEX region. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-023-07064-3
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896
- Darmaraki, S., et al. (2019). Marine heatwaves in the Mediterranean Sea under climatic change. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(3), 1637–1656.
- Marullo, S., Serva, F., Iacono, R., Napolitano E., di Sarra A., Meloni, D., Monteleone F., Sferlazzo D., De Silvestri L., de Toma V. (2023). Record-breaking persistence of the 2022/23 marine heatwave in the Mediterranean Sea. *Environ. Res. Lett.*, Vol 18, N 11, DOI: 10.1088/1748-9326/ad02ae
- Otero M, Cebrian E, Francour P, Galil B, Savini D. Monitoring marine invasive species in Mediterranean marine protected areas (MPAs): A strategy and practical guide for managers. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation. 2013. Available at: <https://portals.iucn.org>
- G. Sannino, A. Carillo, R. Iacono, E. Napolitano, M. Palma, G. Pisacane, M.V. Struglia (2022), "Modelling present and future climate in the Mediterranean Sea: a focus on sea-level change," *Climate Dynamics*, 59, 357-391.
- S. Cappucci, A. Carillo, R. Iacono, L. Moretti, M. Palma, G. Righini, F. Antonioli, G. Sannino (2024), "Evolution of Coastal Environments under Inundation Scenarios Using an Oceanographic Model and Remote Sensing Data," *Remote Sensing*, 16, 2599.