

P. VASSALLO<sup>1</sup>, M. MONTEFALCONE<sup>1,2</sup>, R. CARLUCCI<sup>3</sup><sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e Vita (DiSTAV), Università degli Studi di Genova<sup>2</sup> National Biodiversity Future Center (NBFC), Palermo<sup>3</sup> Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Bari Aldo Moro  
corresponding author: monica.montefalcone@unige.it

### Viewpoint

## BIODIVERSITÀ MEDITERRANEA: UN PATRIMONIO IN TRASFORMAZIONE

### MEDITERRANEAN BIODIVERSITY: AN EVOLVING ECOLOGICAL HERITAGE

**Abstract** - Although the Mediterranean Sea covers less than 1% of the global ocean surface, it hosts about 18% of the world's marine biodiversity, making it a planetary ecological hotspot. However, this richness is increasingly threatened by anthropogenic pressures and climate change, which are accelerating the loss of species, habitats, and ecosystem functions. Major stressors include ocean warming, the spread of non-indigenous species, overexploitation of resources, pollution, and habitat fragmentation. These processes reduce ecosystem resilience and undermine essential services that support human well-being. The Mediterranean is therefore approaching potential ecological tipping points that could lead to irreversible changes. To address these challenges, innovative approaches are required, based on Marine Protected Areas, nature-based solutions, advanced technologies, and participatory governance models. Safeguarding Mediterranean biodiversity is crucial to ensure the ecological and socio-economic stability of the entire region.

**Keywords:** biodiversity, anthropogenic pressures, climate change, ecosystem services, conservation strategies, Mediterranean Sea.

La diversità biologica costituisce la base del funzionamento dell'ecosfera ed è il serbatoio di servizi ecosistemici essenziali. Il Mar Mediterraneo è riconosciuto come un hotspot della biodiversità marina, ospitando circa il 18% della ricchezza specifica mondiale, pur rappresentando meno dell'1% della superficie oceanica globale (Coll *et al.*, 2010; UNEP/MAP, 2020). Questa ricchezza è minacciata da molteplici stressor ambientali e antropici, risultando in forte declino con un'allarmante progressiva accelerazione. Secondo l'IPBES (2019) oltre il 50% delle popolazioni ittiche è sovrasfruttato, molti habitat marini endemici risultano degradati e l'arrivo di specie aliene sta alterando profondamente la struttura e il funzionamento delle reti trofiche, anche a scala di bacino (Bianchi & Morri, 2000; Motta Zanin *et al.*, 2024).

Le pressioni antropiche che agiscono nel Mediterraneo sono multiple e sinergiche, e le principali possono essere:

1. Cambiamento climatico. Il riscaldamento delle acque marine procede a un ritmo quasi doppio rispetto alla media globale, con un aumento di +1,4 °C dal 1980. Le ondate di calore marine (*marine heatwaves*) favoriscono eventi di mortalità di massa tra gli organismi bentonici (ad esempio gorgonie e spugne) e alterano i pattern di crescita di numerose specie (Wernberg *et al.*, 2025).
2. Specie aliene invasive. Oltre 1000 specie non indigene hanno raggiunto il bacino del Mediterraneo attraverso molteplici vie di ingresso. Sebbene molte siano occasionali, una quota crescente risulta ormai stabilita e in grado di competere con la fauna autoctona (Zenetos *et al.*, 2012). Alcune, come il granchio blu *Callinectes sapidus*

(Rathbun, 1896), mostrano tassi di colonizzazione estremamente rapidi (Gavioli *et al.*, 2025).

3. Sfruttamento eccessivo delle risorse. La pressione di pesca cronica, in particolare su specie demersali e predatori apicali, ha profondamente alterato la struttura dimensionale e trofica delle comunità marine, riducendo la diversità funzionale e compromettendo la resilienza degli ecosistemi bentico-pelagici (e.g., Carlot *et al.*, 2025; Dauvin, 2025). A queste pressioni si aggiungono nuove forme di sfruttamento, come l'estrazione di risorse minerarie in ambiente marino profondo, tra cui noduli polimetallici, che minacciano habitat ancora poco conosciuti e altamente vulnerabili. L'impatto potenziale di queste attività include la distruzione fisica dei fondali, la dispersione di sedimenti e contaminanti, e la perdita irreversibile di biodiversità in ecosistemi che si rigenerano molto lentamente (Du *et al.*, 2024).
4. Inquinamento e perdita di habitat. L'accumulo di contaminanti organici, metalli pesanti e microplastiche lungo le reti trofiche marine compromette i processi fisiologici e biochimici nei taxa più sensibili, con effetti potenzialmente sub-letali e a lungo termine sulla salute degli organismi e sulla funzionalità degli ecosistemi. Parallelamente, l'urbanizzazione costiera e l'intensificazione delle attività turistiche determinano una frammentazione critica degli habitat bentonici, con particolare impatto sulle praterie di *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile e sulle aree di nursery, fondamentali per il ciclo vitale di numerose specie (Terzi *et al.*, 2024).

La perdita di biodiversità non rappresenta soltanto una criticità ecologica, ma ha implicazioni dirette e profonde sui servizi ecosistemici (Worm *et al.*, 2006). Sistemi naturali meno diversificati, caratterizzati da strutture ecologiche semplificate e funzionalità alterate o ridotte, mostrano una minore capacità di sostenere la fornitura di servizi essenziali per il benessere umano, come il sequestro del carbonio, il controllo dell'erosione costiera e la produzione di risorse ittiche (Liquete *et al.*, 2013). Il cambiamento nella composizione e nella struttura delle comunità marine, con la perdita di specie chiave e l'aumento di taxa opportunisti, compromette la stabilità ecologica e la capacità di risposta degli ecosistemi a perturbazioni ambientali. Dal punto di vista socio-economico, queste trasformazioni generano effetti a largo spettro, incidendo sul benessere, sulla sicurezza alimentare e sulla sostenibilità delle attività economiche legate al mare, in particolare pesca e turismo, mettendo ulteriormente a rischio le comunità costiere già vulnerabili agli impatti del cambiamento climatico.

Negli ultimi anni sono emersi approcci innovativi per la tutela e il ripristino della biodiversità mediterranea, integrando strumenti di conservazione, tecnologie avanzate e partecipazione sociale, come ad esempio:

1. Aree Marine Protette (AMP). Le AMP rappresentano strumenti chiave per la conservazione della biodiversità e la gestione sostenibile delle risorse marine. Tuttavia, coprono meno del 9% del bacino mediterraneo e presentano forti disomogeneità in termini di efficacia gestionale, monitoraggio ed enforcement (MedPAN & UNEP/MAP-SPA/RAC, 2023).
2. Nature-based Solutions e restauri ecologici. Interventi basati sulla natura, come il trapianto di *Posidonia oceanica*, la ricostruzione di scogliere biogeniche e la gestione adattativa delle AMP, mirano a ripristinare la funzionalità ecosistemica e a rafforzare la resilienza costiera. Questi progetti contribuiscono anche alla protezione contro

l'erosione, al sequestro del carbonio e al recupero degli habitat critici per la biodiversità marina (Pergent-Martini *et al.*, 2024).

3. Innovazione scientifica. Strumenti avanzati come la genomica della conservazione, i modelli predittivi e i sistemi di osservazione integrata (e.g., reti EMODnet e Copernicus) migliorano la capacità di monitorare lo stato degli ecosistemi e prevedere gli impatti ambientali, supportando decisioni basate su evidenze scientifiche (von Schuckmann *et al.*, 2024).
4. Coinvolgimento sociale e governance integrata. La partecipazione attiva di pescatori, enti locali e cittadini, attraverso iniziative di citizen science, co-gestione e educazione ambientale, è sempre più riconosciuta come elemento cruciale per il successo delle politiche di conservazione. Questo approccio favorisce il coinvolgimento attivo delle comunità locali nelle strategie di tutela, rafforzando la sostenibilità e l'efficacia delle azioni di conservazione nel lungo periodo (Bonney *et al.*, 2009; Coppari *et al.*, 2024).

La biodiversità mediterranea si trova in una fase critica, prossima a potenziali punti di non ritorno ecologici (*tipping points*), oltre i quali gli ecosistemi potrebbero subire cambiamenti irreversibili. Nei prossimi decenni sarà fondamentale promuovere una ricerca interdisciplinare, capace di integrare dati biologici, climatici e socio-economici, e di prevedere la risposta degli ecosistemi agli scenari futuri. L'implementazione di strategie di tutela, come la Marine Strategy Framework Directive, e di quadri d'azione condivisi a livello globale, come il Global Biodiversity Framework (CBD, 2022) rappresenta un passo ambizioso ma necessario. Tuttavia, il successo di queste iniziative dipenderà dalla capacità di costruire una cooperazione efficace tra scienza, politica e società civile. Conservare la biodiversità mediterranea non significa solo proteggere specie e habitat: significa salvaguardare la resilienza del sistema naturale che sostiene il benessere umano e la stabilità socio-economica delle comunità costiere.

## Bibliografia

- BIANCHI C.N., MORRI C. (2000) - Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Mar. Pollut. Bull.*, **40**: 367-376.
- BONNEY R., COOPER C.B., DICKINSON J., KELLING S., PHILLIPS T., ROSENBERG K.V., SHIRK J. (2009) - Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, **59**: 977-984
- CARLOT J., GALOBART C., GÓMEZ-GRAS D., SANTAMARÍA J., GOLO R., SINI M., CEBRIAN E., GEROVASILEIOU V., PONTI M., TURICCHIA E., COMEAU S., RILOV G., TAMBURELLO L., PULIDO MANTAS T., CERRANO C., LEDOUX J. B., GATTUSO J.-P., RAMIREZ-CALERO S., MILLAN L., MONTEFALCONE M., KATSANEVAKIS S., BENSOUSSAN N., GARRABOU J., TEIXIDÓ N. (2025) - Vulnerability of benthic trait diversity across the Mediterranean Sea following mass mortality events. *Nat. Comm.*, **16**: 1571.
- COLL M., PIRODDI C., STEENBEEK J., KASCHNER K., BEN RAIS LASRAM F., AGUZZI J., BALLESTEROS E., BIANCHI C.N., CORBERA J., DAILIANIS T., DANOVARO R., ESTRADA M., FROGLIA C., GALIL B.S., GASOL J.M., GERTWAGEN R., GIL J., GUILHAUMON F., KESNER-REYES K., KITSOS M.-S., KOUKOURAS A., LAMPADARIOU N., LAXAMANA E., LÓPEZ-FÉ DE LA CUADRA C.M., LOTZE H.K., MARTIN D., MOUILLOT D., ORO D., RAICEVICH S., RIUS-BARILE J., SAIZ-SALINAS J.I., SAN VICENTE C., SOMOT S., TEMPLADO J., TURON X., VAFIDIS D., VILLANUEVA R., VOULTSIADOU E. (2010) - The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PLoS One*, **5**(8): e11842.
- COPPARI L., ROVETA C., DI CAMILLO C., GARRABOU J., LUCREZI S., PULIDO MANTAS T., CERRANO C. (2024) - The pillars of the sea: strategies to achieve successful marine citizen science programs in the Mediterranean area. *BMC Ecol. Evo.*, **24**: 100.
- CBD (Convention on Biological Diversity) (2022) - Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- DAUVIN J.C. (2025) - How resilient are coastal marine soft-bottom communities with high diversity? *Mar. Poll. Bull.*, **215**: 117850.

- DU K., XI W., HUANG S., ZHOU J. (2024) - Deep-sea mineral resource mining: a historical review, developmental progress, and insights. *Mining Metall. Explor.*, **41**(1): 173-192.
- GAVIOLI A., CASTALDELLI G., EGGLESTON D.B., CHRISTIAN R.R. (2025) - From ecological to anthropogenic factors: unravelling the drivers of blue crab *Callinectes sapidus* occurrence along the Mediterranean coasts. *Front. Mar. Sci.*, **11**: 1515098.
- IPBES (2019) - Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E.S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, H. T. Ngo (Eds), IPBES secretariat, Bonn, Germany: 1148 pp.
- LIQUETE C., PIRODDI C., DRAKOU E.G., GURNEY L., KATSANEVAKIS S., CHAREF A., EGOH B. (2013) - Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. *PLoS One*, **8**(7): e67737.
- MedPAN & UNEP/MAP-SPA/RAC (2023) - Status of marine protected areas in the Mediterranean, 2023.
- MOTTA ZANIN G., MUWAFU S.P., MAÑEZ COSTA M. (2024) - Nature-based solutions for coastal risk management in the Mediterranean basin: A literature review. *J. Environ. Manag.*, **356**: 120667.
- PERGENT-MARTINI C., ANDRÉ S., CASTEJON I., DETER J., FRAU F., GERAKARIS V., MANCINI G., MOLENAAR H., MONTEFALCONE M., OPRANDI A., PERGENT G., POURSANIDIS D., ROYO L., TERRADOS J., TOMASELLO A., VENTURA D., VILLERS F. (2024) - Guidelines for *Posidonia oceanica* restoration. Report Cooperation agreement Mediterranean Posidonia Network (MPN), French Biodiversity Agency (OFB) & University of Corsica Pasquale Paoli (UCPP), N°OFB-22-1310: 29 pp.
- TERZI Y., GÜNDOĞDU S., TEKMAN M.B., GEDIK K., USTAOĞLU D., ISMAIL N.P., ALTINPINAR I., ÖZTÜRK R.C., AYDIN I. (2024) - How much do we know about the microplastic distribution in the Mediterranean Sea: A comprehensive review. *Mar. Poll. Bull.*, **208**: 117049.
- UNEP/MAP (2020) - State of the environment and development in the Mediterranean.
- VON SCHUCKMANN K., MOREIRA L., CANCELT M., GUES F., AUTRET E., BAKER J., BRICAUD C., BOURDALLE-BADIE R., CASTRILLO L., CHENG L., CHEVALLIER F., CIANI D., DE PASCUAL-COLLAR A., DE TOMA V., DREVILLON M., FANELLI C., GARRIC G., GEHLEN M., GIESEN R., HODGES K., IOVINO D., JANDT-SCHEELKE S., JANSEN E., JUZA M., KARAGALI I., LAVERGNE T., MASINA S., MCADAM R., MINIÈRE A., MORRISON H., PANTELEIT T. R., PISANO A., PUJOL M.I., STOFFELEN A., THUAL S., VAN GENNIP S., VEILLARD P., YANG C., ZUO H. (2024) - The state of the global ocean. *State of the Planet*, **4**: 1-30.
- WERNBERG T., THOMSEN M.S., BURROWS M.T., FILBEE-DEXTER K., HOBDAV A.J., HOLBROOK N.J., MONTIE S., MOORE P.J., OLIVER R.C.J., SEN GUPTA A., SMALE D.A., SMITH K. (2025) - Marine heatwaves as hot spots of climate change and impacts on biodiversity and ecosystem services. *Nat. Rev. Biodiv.*, **1**: 461-479.
- WORM B., BARBIER E.B., BEAUMONT N., DUFFY J.E., FOLKE C., HALPERN B.S., JACKSON J.B.C., LOTZE H.K., MICHELI F., PALUMBI S.R., SALA E., SELKOE K.A., STACHOWICZ J.J., WATSON R. (2006) - Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, **314**: 787-790.
- ZENETOS A., GOFAS S., MORRI C., ROSSO A., VIOLANTI D., GARCIA RASO J., CINAR M., ALMOGI-LABIN A., ATEŞ A., AZZURRO E., BALLESTEROS E., BIANCHI C.N., BILECENOĞLU M., GAMBI M., GIANGRANDE A., GRAVILI C., HYAMS-KAPHZAN O., KARACHLE V., KATSANEVAKIS S., LIPEJ L., MASTROTOTARO F., MINEUR F., PANCUCCI-PAPADOPOULOU M., RAMOS-ESPLÁ A., SALAS S., SAN MARTIN G., SFRISO A., STREFTARIS N., VERLAQUE M. (2012) - Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Patterns in introduction trends and pathways. *Med. Mar. Sci.*, **13**(2): 328-352.