

L'Osservatorio sottomarino di Smart Bay S. Teresa e il Digital Twin

Aumentare la conoscenza dell'Oceano e dei suoi ecosistemi per conservarli e ripristinarli nonché rendere tutte le informazioni acquisite facilmente accessibili a cittadini, gestori del territorio e stakeholders, rappresenta una delle più grandi sfide in corso. ENEA, grazie alle infrastrutture di ultima generazione per lo studio degli ambienti marini, alla modellistica e al *know-how* dei suoi ricercatori sta cercando di contribuire a questa rivoluzione nella conoscenza degli oceani generando dati che aiuteranno il Digital Twin Europeo degli Oceani.

DOI 10.12910/EAI2025-016

di Chiara Lombardi, Giancarlo Raïteri, Andrea Bordone, Tiziana Ciuffardi, Massimiliano Palma, Gianmaria Sannino, Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico - ENEA

L'oceano copre circa il 70% della superficie del pianeta e contiene circa il 97% di tutta l'acqua presente sulla Terra, svolge un ruolo centrale nella regolazione del sistema climatico terrestre ed ospita il più grande ecosistema terrestre da cui dipende la nostra vita sul pianeta e, dunque, anche il nostro futuro.

Conoscere, proteggere e limitare la perdita della biodiversità, oggi fortemente minacciata, è l'obiettivo della strategia dell'Unione Europea (UE) per la biodiversità¹ che mira a portare la biodiversità europea su un percorso di recupero entro il 2030. **Ecosistemi sani e biodiversi forniscono, se in buono stato, una serie di servizi (Servizi Ecosistemici - SE) essenziali quali regulation, provisioning, cultural e supporting, per cui il loro ripristino contribuisce ad un'ampia gamma di benefici socioeconomici, culturali, regionali e locali che superano di gran lunga i costi.**

Inoltre, la disponibilità di ecosistemi ricchi di biodiversità e la lotta al cambiamento climatico sono intrinsecamente collegate, così come

chiaramente indicato nella Nature Restoration Law² che mira ad armonizzare la conservazione della Natura in tutta l'UE. La Natura e le sue soluzioni (Nature Based Solution o NBS³) diventano alleati fondamentali contro la crisi climatica; il ripristino di habitat ed ecosistemi, e quindi garantire i loro SE contribuirà a limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C⁴, a rafforzare la resilienza e l'autonomia strategica dell'Europa, a prevenire i disastri naturali e a ridurre i rischi per la sicurezza alimentare.

Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory

Un rilevante flusso di dati, su scala temporale e spaziale, offre l'opportunità di trasformare il modo in cui studiamo e comprendiamo l'oceano ed i suoi ecosistemi. I progressi nella tecnologia dei sensori, nei dispositivi autonomi e nelle comunicazioni ci permettono di raccogliere Big Data dall'oceano in modo sempre crescente, opportunità che è stata ampliata grazie ai finanziamenti del Piano di Ripresa e Resilienza⁵ che hanno consentito il potenziamento di infrastrut-

ture di ricerca sul territorio nazionale. **Dal 2021, ENEA, CNR e INGV hanno istituito "Smart Bay S. Teresa" 6, ossia una piattaforma di cooperazione tra enti di ricerca che lavorano nell'area del Golfo di La Spezia, amministratori (Comune di Lerici) e piccole e medie imprese (Scuola di Mare e Cooperativa di Mitilicoltori Associati). "Smart Bay S. Teresa" è un laboratorio naturale di ricerca, tecnologia, turismo sostenibile e molluschicoltura, in cui gli attori collaborano per creare un modello di ecosistema Natura - Uomo per contrastare gli effetti del cambiamento climatico.** Tra i diversi progetti, Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory (Figura 1), realizzato grazie ai fondi PNRR^{7,8}, rappresenta un esempio di infrastruttura altamente tecnologica per lo studio dell'ambiente marino. Le stazioni di acquisizione dati, posizionate tra il Parco Naturale Regionale di Porto Venere e delle Isole e il Porto di La Spezia, sono dotate di sistemi di comunicazione basati sulla tecnologia dell'Internet of Underwater Things (IoUT) e sonde avanzate. I dati fisico-chimici (temperatura, ossigeno di-

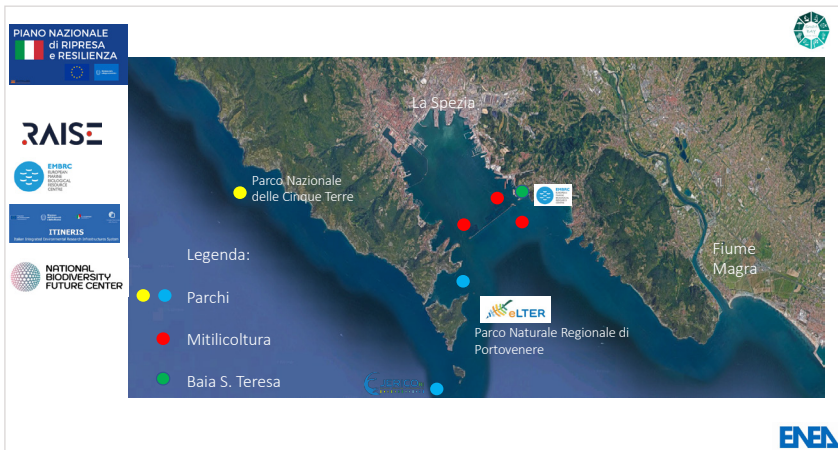


Figura 1 - Schema di posizionamento delle stazioni dell'Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory previste entro 2026. Fonte: ENEA

sciolto, pH, conducibilità, corrente) sono acquistati e trasmessi con una frequenza di 1 dato l'ora, validati con approcci analitici e campagne di misura settimanali e mensili condotti da ENEA. A termine del PNRR (dicembre 2025/febbraio 2026), i dati dell'osservatorio saranno condivisi dalle piattaforme di progetto, resi disponibili alle infrastrutture Europee del territorio gestite da ENEA^{9,10} e nell'ambito del National Biodiversity Future Centre¹¹ per la conservazione, il ripristino di ecosistemi marini chiave e per la realizzazione di NBS¹².

Modellistica marino costiera

I dati raccolti dall'osservatorio sottomarino renderanno la conoscenza del Golfo di La Spezia fruibile a cittadini, imprenditori, scienziati e responsabili politici. Queste conoscenze aiuteranno a progettare efficacemente il territorio, grazie anche al supporto della modellistica marina e costiera.

Grazie, infatti, al modello sviluppato in ENEA e denominato MITO, che fornisce previsioni orarie sulla circolazione nel Mar Mediterraneo, sarà possibile accedere a dati essenziali come temperatura, salinità e corren-

ti. Questi elementi sono fondamentali per analizzare le dinamiche degli ecosistemi costieri e valutare i potenziali effetti dei cambiamenti climatici. MITO è basato sulla versione idrostatica del modello di circolazione generale del Massachusetts Institute of Technology (MITgcm). Utilizza 100 livelli verticali e una griglia orizzontale con una risoluzione uniforme di $1/48^\circ$

(circa 2 km) sulla maggior parte del dominio. In quattro aree specifiche, la risoluzione è ulteriormente aumentata per rappresentare accuratamente le dinamiche locali: lo Stretto di Gibilterra con una risoluzione fino a $1/800^\circ$ (circa 120 m), Dardanelli e Bosforo con una risoluzione fino a $1/250^\circ$ (circa 380 m), e l'Isola di Pantelleria con una risoluzione di 460 metri. Nel 2025 è prevista l'inclusione di ulteriori aree a più alta risoluzione, come l'Isola di Lampedusa, sede di uno degli Osservatori climatici di ENEA, e del Golfo di La Spezia. Le previsioni del modello MITO^{13,14}, consultabili pubblicamente sul portale ENEA Climaweb (<https://climaweb.enea.it/it/mito-it/>) (Figura 2), saranno un prezioso strumento di supporto per il monitoraggio e la gestione del Golfo di La Spezia. Forniranno, inoltre, previsioni a breve termine utili per la pianificazione delle attività e la previsione di eventuali eventi meteo-marini avversi.

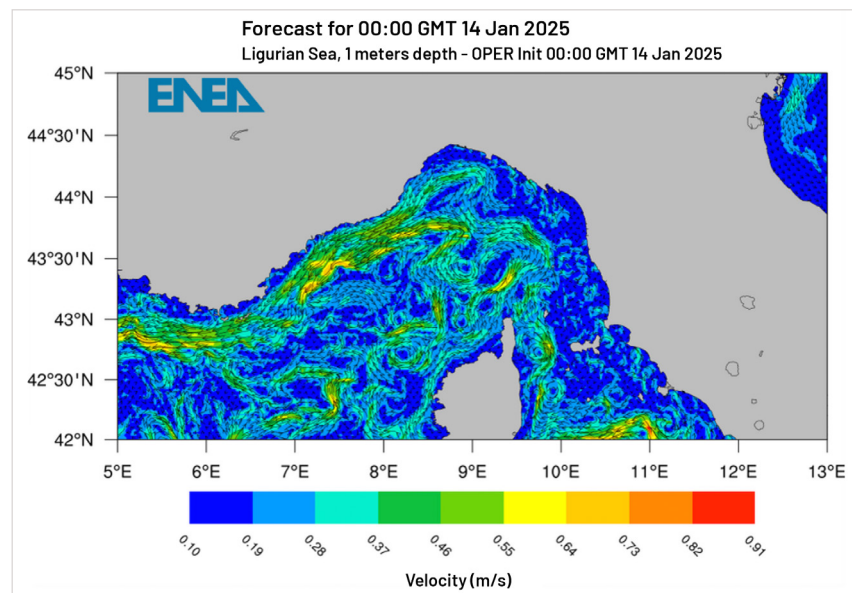


Figura 2- Correnti superficiali come simulate dal sistema operativo MITO di Enea per il Mar Ligure. Fonte: <https://climaweb.enea.it/it/mito-it/>

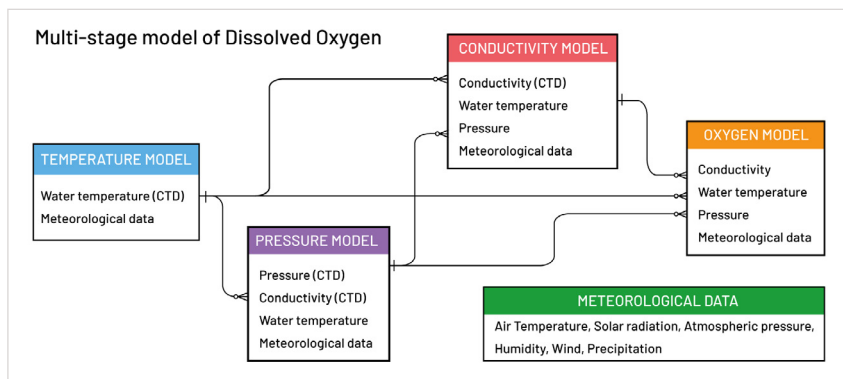


Figura 3- Diagramma schematico dell' modello "multi-stage" utilizzato per calcolare la concentrazione di ossigeno disciolto (DO) e basato su modelli di regressione applicati ad altre variabili quali temperatura dell'acqua, pressione, conducibilità, insieme a dati metereologici. Fonte: Ferri et al. 2024

Intelligenza Artificiale e Digital Twin

I Big Data ottenuti dall'Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory trovano inoltre applicazione nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale, in particolare del Deep Learning, che permette di studiare la qualità del dato acquisito. Modellare le molteplici componenti dell'oceano, fornire conoscenza e comprensione del passato e del presente e creare previsioni attendibili del suo comportamento futuro sono gli obiettivi del Digital Twin Europeo degli Oceani (DTO)¹⁵. Generare un gemello digitale dell'os-

servatorio, creato utilizzando dati acquisti in tempo reale, permette di rappresentare digitalmente il presente, generare modelli numerici e soprattutto simulare possibili scenari futuri. Questo è l'obiettivo di "Smart-Twin: Oxygen Digital Twin di Smart Bay S. Teresa", progetto finanziato dalla Fondazione CRT Torinese all'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) e in partenza nel febbraio 2025. L'obiettivo del progetto è quello di sviluppare un gemello digitale dei dati di ossigeno disciolto (DO)¹⁶, considerando tutte le diverse stazioni dell'osservatorio e le variabili

fisico chimiche misurate, per valutare la qualità del dato acquisito e fare previsioni in tempo reale di un parametro essenziale per la sopravvivenza di ecosistemi marini, tra cui i reef a mitili. Attraverso il Machine Learning e Deep Learning, finalizzati a risolvere anomalie ed effettuare previsioni a corto e medio termine (fino a qualche giorno), il progetto mira a generare una descrizione dettagliata in ogni stazione del Golfo, creando un'infrastruttura per la gestione dei dati (Figura 3).

Conclusione

La tecnologia dell'Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory, la modellistica marina costiera e il Digital Twin renderanno la conoscenza del Golfo di La Spezia più accessibile a cittadini, imprenditori, scienziati e decisori politici. Questo insieme di strumenti innovativi a supporto dei processi decisionali permetterà di identificare strategie più efficaci per il ripristino di habitat marini e costieri, promuovere un'economia blu sostenibile e mitigare gli effetti del cambiamento climatico.

per info: chiara.lombardi@enea.it

Referenze

1. EU Biodiversity Strategy 2023: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
2. Nature Restoration Law: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976>
3. Nature Based Solutions: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en
4. IPCC: <https://www.ipcc.ch>
5. Piano Di Ripresa e Resilienza: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
6. Smart Bay Santa Teresa: <https://smartbaysteresa.com>
7. PNRR-IR “EMBRC-UP – Unlocking the Potential for health and Food from the seas”: <https://www.szn.it/index.php/it/ricerca/programmi-e-progetti-di-ricerca/progetti-strategici-nazionali/embrc-unlocking-the-potential-for-health-and-food-from-the-seas---embrc-up>
8. PNRR Ecosistema dell’Innovazione Regione Liguria “RAISE – Robotics and AI for Socio-economic Empowerment: <https://www.raiseliguria.it>
9. Rete LTER: https://www.lteritalia.it/wordpress/?page_id=369
10. EMBRC-IT, S. Teresa Marine Environment Research Centre ENEA: <https://embrc.it/en/agenzia-nazionale-per-le-nuove-tecnologie-lenergia-e-lo-sviluppo-economico-sostenibile-en/>
11. National Biodiversity Future Centre (NBFC): <https://www.nbfc.it/en>
12. E. Salvatori E., et al. (2024), “Soluzioni basate sulla natura per la rigenerazione e l’adattamento climatico di città e territori”, *Energia Ambiente Innovazione*, DOI 10.12910/EAI2025-057
13. Napolitano E., Iacono R., Palma M., Sannino G., Carillo A., Lombardi E., Pisacane G., Struglia M.V. MITO: A new operational model for the forecasting of the Mediterranean sea circulation (2022). *Frontiers in Energy Research*, 10, art. no. 941606. DOI: 10.3389/fenrg.2022.941606
14. Palma, M., Iacono, R., Sannino, G., Bargagli, A., Carillo, A., Fekete, B.M., Lombardi, E., Napolitano, E., Pisacane, G., Struglia, M.V., 2020. Short-term, linear, and non-linear local effects of the tides on the surface dynamics in a new, high-resolution model of the Mediterranean Sea circulation. *Ocean Dynam.* 70 (7), 935–963. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01364-6>.
15. European Digital Twin of the Ocean - https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/restore-our-ocean-and-waters/european-digital-twin-ocean-european-dto_en
16. V. Ferri et al. (2024), “Multi-stage model for dissolved oxygen monitoring of coastal seawater”, In *Proceedings of 2024 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea (MetroSea)*, 14-16 October 2024, Portorož, Slovenia, IEEE Catalogue Number: CFP-24P82-USB, ISBN: 979-8-3503-7899-3