



# MACMAP

RICERCATORI IN TEAM PER  
LO STUDIO DEL CLIMA



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

in collaborazione con



CNR  
ISMAR  
ISTITUTO  
DI SCIENZE  
MARINE

CINECA



di

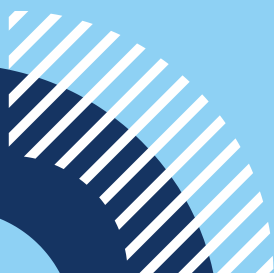
Marina Locritani (INGV), Sara Garvani (INGV), Daniele Melini (INGV), Anita Grezio (INGV), Silvia Merlino (CNR-ISMAR), Lili Cafarella (INGV), Spina Cianetti (INGV), Antonio Guarnieri (INGV), Giovanni Muscari (INGV), Stefania Danesi (INGV), Neva Besker (CINECA), Nadia Lo Bue (INGV).

Redazione e grafica: Marina Locritani e Lili Cafarella

Formato elettronico

Data di pubblicazione: 23 settembre 2025

ISBN: 979-12-80282-21-7





# INDICE

4

**Perché un gioco sul cambiamento climatico?**

5

**Il gioco MACMAP**

6

**Un gioco che riflette la ricerca reale**

7

**Struttura del gioco**

8

**Questo volume**

9

**Tematiche del gioco**

11

**Ambienti di studio**

23

**Siti di studio**

36

**Prodotti della ricerca**

41

**Il progetto MACMAP**

46

**Come nasce il gioco**

47

**Chi ha partecipato**





## PERCHÉ UN GIOCO SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO?

Il cambiamento climatico è una delle sfide più urgenti del nostro tempo. Studiare come variano temperature, correnti marine, ghiacci e atmosfera non è solo un esercizio accademico, ma un impegno che coinvolge centinaia di ricercatori in tutto il mondo. Anche l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) dedica una parte importante delle sue attività a questi temi, partecipando a grandi progetti di ricerca internazionali che richiedono tempo, risorse e competenze diverse.

Uno di questi progetti è stato MACMAP (2020–2025), che ha unito specialisti di oceanografia, climatologia, geofisica e storia della scienza per comprendere meglio i segnali del cambiamento climatico nel Mediterraneo e nelle regioni polari. Proprio da quell'esperienza nasce questo gioco: un modo semplice e coinvolgente per far capire a ragazze e ragazzi come funziona davvero un progetto di ricerca e perché siti come i laghi vulcanici, l'Artide o il Mediterraneo sono così importanti per capire l'evoluzione del clima.

I siti scelti non coprono tutto il pianeta, ma rappresentano esempi emblematici: luoghi in cui gli effetti del cambiamento climatico sono più rapidi, evidenti e misurabili. L'Artide è la regione che si scalda più velocemente; il Mediterraneo è un hotspot climatico densamente abitato; i laghi vulcanici custodiscono negli strati di sedimento la memoria del clima passato; il mare profondo regola calore e carbonio a livello globale; l'atmosfera, infine, è il motore che collega tutti questi processi. Sono stati selezionati perché permettono di osservare con chiarezza come il cambiamento climatico agisca su scale diverse, ma collegate tra loro.



# IL GIOCO MACMAP

Il gioco MACMAP è stato ideato per ragazze e ragazzi dagli 11 ai 14 anni ed è pensato come strumento educativo per avvicinare i più giovani al mondo della ricerca scientifica.

Si tratta di un gioco da tavolo per 4 giocatori (o 4 squadre) che riproduce, in modo semplificato ma fedele, le fasi fondamentali di un vero progetto di ricerca scientifica multidisciplinare.

Ogni giocatore impersona un componente di un Work Package (WP), cioè un'unità di lavoro che in un progetto reale riunisce persone con competenze specifiche e ruoli ben definiti. Nel gioco ci sono quattro WP, ciascuno con obiettivi propri e attività diverse, ma strettamente collegati tra loro:

**WP1** - Coordinamento e gestione dati: organizza e integra le informazioni raccolte dagli altri WP;

**WP2** - Osservazioni in situ: effettua campagne sul campo in laghi, mari, Artide o Mediterraneo;

**WP3** - Modelli numerici di simulazione: sviluppa modelli matematici per simulare fenomeni e prevedere scenari futuri;

**WP4** - Dati ed informazioni storiche: analizza fonti e documenti del passato per ricostruire le condizioni climatiche e ambientali di epoche lontane.

In questo modo il gioco MACMAP non è solo un passatempo, ma una simulazione fedele della ricerca reale: permette ai ragazzi di sperimentare le dinamiche della scienza, fatte di collaborazione, strumenti diversi e obiettivi comuni.



# UN GIOCO CHE RIFLETTE LA RICERCA REALE

Il gioco è costruito per riflettere la logica di un progetto scientifico complesso, come quelli realmente finanziati a livello nazionale o europeo. Questo significa che i ragazzi sperimentano, attraverso la dimensione ludica, sia la collaborazione che la competizione:

**1**

la collaborazione è indispensabile perché per completare il progetto ogni giocatore deve raggiungere almeno gli obiettivi minimi comuni (uno per ciascuna delle quattro attività: raccogliere dati, elaborarli, pubblicare i risultati, divulgarli al pubblico)

**2**

la competizione emerge perché, una volta completati gli obiettivi minimi, ciascun WP deve accumulare più risultati possibile in base alle proprie priorità. Alla fine, tra i giocatori che hanno portato a termine il progetto, vince chi ha ottenuto il punteggio più alto

Questo equilibrio tra gioco individuale e cooperativo rappresenta molto bene la realtà della ricerca: ogni scienziato lavora su un tema specifico, ma il successo del progetto dipende dalla riuscita collettiva.

# STRUTTURA DEL GIOCO



Il **tabellone** rappresenta il percorso del progetto di ricerca. Vi trovano collocazione le carte che raffigurano i diversi ambienti di studio (Nave, Biblioteca, Laboratorio, Ufficio, Centro di calcolo) e i siti di ricerca (Lago, Artide, Mare profondo, Atmosfera, Mediterraneo), insieme ad alcune carte speciali (Meeting, Curiosità, Imprevisti). Durante il gioco i ragazzi devono muovere la loro pedina, rispondere ad alcune domande, raccogliere gettoni-obiettivo e collaborare o sfidarsi nei momenti previsti dalle regole.

Le domande sono suddivise in **passato, presente e futuro**, a sottolineare che la ricerca scientifica non riguarda solo ciò che accade oggi, ma si fonda sull'analisi del passato e sulla proiezione degli scenari futuri.

## FINALITÀ EDUCATIVE

Il gioco ha due finalità principali:

- Didattica della scienza: avvicinare gli studenti ai temi della ricerca climatica e ambientale attraverso un linguaggio semplice ma rigoroso, rendendoli protagonisti di un processo che altrimenti resterebbe astratto.
- Orientamento e competenze trasversali: far capire che la scienza non è solo un insieme di nozioni, ma un metodo basato su raccolta ed elaborazione dei dati, lavoro di gruppo, capacità di comunicazione.



# QUESTO VOLUME

Il presente volume è un manuale destinato agli **insegnanti e agli educatori**. Non è destinato direttamente ai ragazzi, ma a chi guiderà le partite in classe o in contesti educativi.

I contenuti sono organizzati per permettere una consultazione modulare: l'insegnante può leggere le sezioni man mano che emergono durante il gioco (ad esempio quando i ragazzi capitano sulla carta "Nave" o "Laboratorio"). La maggior parte delle sezioni è divisa in due parti:

## PRESENTE

Descrive lo stato attuale della ricerca, con esempi e strumenti realmente utilizzati.

## NOTA IMPORTANTE

Il gioco MACMAP si ispira all'omonimo progetto di ricerca (2020–2025), coordinato dall'INGV, dedicato allo studio degli indicatori di cambiamento climatico nel Mediterraneo e nelle regioni polari. Per non appesantire il testo, la descrizione del progetto è stata inserita in una appendice finale: in questo modo rimane disponibile per coloro che vogliono approfondire, lasciando la consultazione rapida del manuale durante le partite.

## PASSATO

Racconta le origini storiche della disciplina o dell'attività, con riferimento a figure come Luigi Ferdinando Marsili, pioniere degli studi oceanografici e climatici.



## Nota per gli insegnanti

Non è necessario leggere il volume dall'inizio alla fine. Può essere usato come una guida pratica da tenere accanto al tabellone, pronta a fornire spiegazioni e approfondimenti in base alle carte pescate dai ragazzi.

Il messaggio finale che MACMAP vuole trasmettere è semplice: **la scienza non è un elenco di nozioni, ma un processo collettivo fatto di osservazioni, dati, confronti, errori e scoperte. Giocando si impara che ogni ricercatore contribuisce con il proprio pezzo, ma è la collaborazione di tutti a portare avanti la conoscenza.**



# TEMATICHE DEL GIOCO



Nelle pagine che seguono vengono presentati i contenuti collegati alle diverse carte del tabellone.

Ogni sezione corrisponde a un **ambiente di studio** (dove si svolge il lavoro dei ricercatori) oppure a un **sito di ricerca** (i luoghi concreti in cui si raccolgono i dati). Infine, sono inclusi anche i **prodotti della ricerca**, cioè i modi in cui i risultati scientifici vengono condivisi.

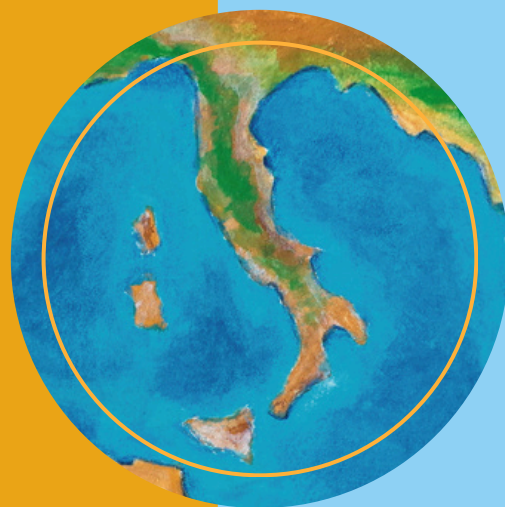
I siti di studio scelti nel gioco non sono casuali: ognuno rappresenta un **aspetto chiave del cambiamento climatico**.

Il **Mediterraneo**, per esempio, è un mare semi-chiuso che reagisce molto rapidamente alle variazioni di temperatura e salinità; l'**Artide** è la regione del pianeta che si riscalda più velocemente;

i **laghi vulcanici**, come il lago Albano, registrano nei sedimenti la storia climatica del territorio;

il **mare profondo** è un serbatoio di calore e carbonio fondamentale per il bilancio globale;

l'**atmosfera**, infine, è l'elemento che collega tutti questi processi e li rende parte di un sistema unico.





Questi siti sono stati al centro del progetto di ricerca MACMAP perché permettono di osservare con chiarezza come il cambiamento climatico agisca su scale diverse ma collegate tra loro.

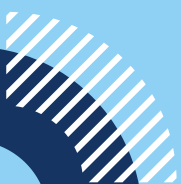
Ogni ambiente di studio è presentato con un doppio sguardo:

- al **presente**, per capire come funziona oggi la ricerca scientifica;
- al **passato**, grazie a un parallelismo con l'epoca di Luigi Ferdinando Marsili (1658–1730), considerato uno dei padri dell'oceanografia, che con le sue osservazioni e i suoi scritti ha gettato le basi di molte pratiche scientifiche moderne.



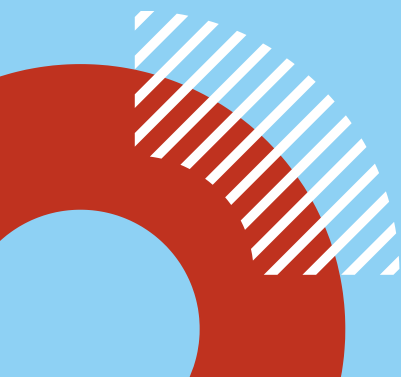
Questo approccio parallelo permette di mostrare come la scienza sia un percorso in continua evoluzione, fatto di scoperte, strumenti e idee che si sono stratificati nel tempo.

Il testo può essere letto in sequenza o consultato “a blocchi”, seguendo le carte pescate durante la partita.





# AMBIENTI DI STUDIO





Le navi oceanografiche sono strumenti fondamentali per la ricerca scientifica, perché permettono di raccogliere enormi quantità di dati: dalle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dell'oceano fino agli aspetti geologici del fondale e del sottosuolo, senza dimenticare le connessioni con clima e atmosfera.

Una nave da ricerca (Research Vessel, R/V) è una vera e propria piattaforma scientifica galleggiante. Oltre all'equipaggio, ospita ricercatori e tecnici che lavorano a turni di 4 o 8 ore, garantendo attività continuative per ventiquattr'ore al giorno. A bordo si trovano sale attrezzate con computer, microscopi, congelatori e laboratori di vario tipo. Le dimensioni possono variare dalle piccole imbarcazioni costiere di pochi metri fino alle grandi navi oceaniche, che superano i 60 metri di lunghezza.

Tra i sistemi indispensabili c'è naturalmente il GPS, fondamentale non solo per la navigazione ma anche per associare ogni dato a coordinate geografiche precise. Le navi più moderne dispongono anche di un sistema di posizionamento dinamico (DPS), che grazie a un controllo computerizzato consente di mantenere la nave ferma su un punto prestabilito, compensando automaticamente l'effetto delle correnti e del vento. Strumenti come ecoscandagli e multibeam permettono di conoscere profondità e morfologia del fondale, mentre strutture come il portale di poppa (A-frame) e i verricelli servono a calare in mare sensori e attrezzature.

Le attività scientifiche condotte a bordo possono seguire due modalità principali. Nei cosiddetti survey la nave si muove lentamente, a velocità comprese fra 4 e 10 nodi (10–20 km/h), tracciando rotte di indagine lungo le quali si raccolgono dati magnetici, sismici o si realizzano mappature del fondale con tecniche acustiche. Le indagini puntuali, invece, richiedono che la nave resti ferma: in questi casi, con l'ausilio del DPS, possono essere calate apparecchiature come la Rosette Multisampler, che permette di misurare parametri chimico-fisici lungo tutta la colonna d'acqua e consente prelievi di campioni. In alternativa si effettuano carotaggi o si impiegano sonde verticali fino al fondo del mare.

Accanto a questi strumenti, molte navi ospitano anche veicoli subacquei specializzati. I ROV (Remotely Operated Vehicle) sono filoguidati da operatori a bordo e spesso dotati di bracci articolati per il recupero di campioni, mentre gli AUV (Autonomous Underwater Vehicle) agiscono in autonomia senza connessione con la nave. I batiscafi, invece, possono trasportare un piccolo equipaggio e raggiungere profondità elevate, resistendo a pressioni estreme. Navi particolarmente attrezzate possono essere utilizzate anche per movimentare ROV di grande taglia o per effettuare perforazioni profonde.



Il costo (funzionamento, realizzazione delle operazioni) delle navi da ricerca è molto elevato, talvolta decine di migliaia di euro al giorno. Per questo, negli ultimi anni si è diffuso l'uso delle cosiddette navi di opportunità (Ships of Opportunity): traghetti passeggeri o mercantili che permettono il lancio di strumenti durante le normali tratte commerciali. Queste imbarcazioni, percorrendo regolarmente le stesse rotte, consentono di raccogliere serie temporali di dati confrontabili stagione dopo stagione e anno dopo anno. A livello internazionale, tali attività sono coordinate dallo Ship of Opportunity Program (SOOP) dell'UNESCO.



## Nota per gli insegnanti

Questa sezione può servire per far capire ai ragazzi che la scienza è anche logistica e organizzazione: non basta avere strumenti sofisticati, bisogna trovare i modi per usarli in maniera sostenibile. Potete chiedere agli studenti di immaginare quanto possa costare e quanto personale serva per una spedizione di un mese in Artide.





Nel XVII secolo le imbarcazioni non erano ancora progettate per la ricerca scientifica, ma furono comunque lo strumento che permise ai pionieri di avventurarsi nello studio del mare. Uno dei protagonisti di questa stagione fu Luigi Ferdinando Marsili (1658–1730), figura poliedrica di militare, diplomatico e scienziato, considerato tra i padri dell’oceanografia.

Già alla fine del Seicento Marsili aveva intuito l’importanza di osservare direttamente il mare. Durante le sue missioni diplomatiche nel Mediterraneo, condusse indagini sulle correnti marine: celebre è lo studio del 1679 sulla doppia corrente nello stretto del Bosforo, dove scoprì che le acque superficiali si muovevano verso il Mar Nero mentre quelle profonde fluivano in senso opposto verso il Mediterraneo. Negli anni successivi ampliò i suoi interessi. Nel 1706, al largo del Golfo del Leone, realizzò una delle prime campagne oceanografiche documentate, studiando i coralli e raccogliendo campioni di sedimenti e organismi marini. Per far ciò utilizzava strumenti semplici ma ingegnosi: ampole idrostatiche e bilance per misurarne la densità dell’acqua, termometri per registrare la temperatura, oltre a corde e reti rudimentali per il recupero dei campioni dal fondo. La ricerca in mare all’epoca era un’attività rischiosa e complessa. Le imbarcazioni non erano attrezzate come oggi, e gli strumenti a disposizione erano rudimentali, ma il lavoro di Marsili dimostra come la scienza potesse nascere anche in condizioni difficili, a partire da intuizioni geniali e da osservazioni attente. In questo senso, le sue spedizioni aprirono la strada a un nuovo modo di studiare gli oceani, trasformando le imbarcazioni in veri e propri laboratori galleggianti ante litteram.

## L’eredità di Marsili

L’opera più celebre di Marsili, *l’Histoire physique de la mer* (1725), in cui confluirono tutte le sue osservazioni, è considerata il primo trattato moderno di oceanografia.

In essa raccolse osservazioni, esperimenti e descrizioni delle campagne compiute negli anni precedenti, ponendo le basi di un approccio multidisciplinare che univa geologia, biologia, fisica e storia naturale. In questo volume Marsili non solo descrisse i metodi da lui impiegati, ma propose anche un nuovo modo di concepire lo studio del mare: non più aneddoti o racconti di viaggio, ma dati raccolti con metodo e confrontati sistematicamente.



### Nota per gli insegnanti

Marsili è un personaggio che affascina gli studenti: un militare che si trasformò in scienziato, capace di inventare strumenti e modelli per studiare fenomeni invisibili. Potete proporre di riprodurre in classe il suo esperimento sulla “doppia corrente” con due liquidi di diversa densità nello stesso contenitore, per rendere tangibile l’idea.



Le biblioteche scientifiche di oggi sono molto diverse da quelle di un tempo: non solo scaffali e volumi cartacei, ma portali digitali e archivi online che raccolgono milioni di articoli e dati accessibili con un click.

I ricercatori moderni utilizzano la biblioteca in modo nuovo, sia come porta d'accesso a banche dati elettroniche (climatologia, oceanografia, geofisica, vulcanologia, ecc.) che come luogo per ottenere supporto da bibliotecari e documentalisti, capaci di aiutare a reperire articoli, fonti e riferimenti. Ma è anche considerato come spazio di studio, spesso integrato con aree multimediali e strumenti di consultazione digitale.

All'INGV, ad esempio, la biblioteca non è solo il luogo dove consultare i manuali di geofisica o climatologia, ma ospita anche diverse collezioni storiche di grande valore tra cui una dedicata all'oceanografia: oltre duecento volumi antichi, pubblicati tra il 1494 e il 1799, dichiarati di eccezionale interesse culturale. Questi testi, opere di scienziati come Galileo Galilei, Robert Boyle, Immanuel Kant, Benjamin Franklin, testimonianze dirette della nascita del pensiero scientifico moderno, non hanno un valore soltanto bibliografico: spesso contengono osservazioni, dati e rappresentazioni che aiutano a ricostruire come i fenomeni naturali fossero percepiti, descritti e spiegati in epoche passate.

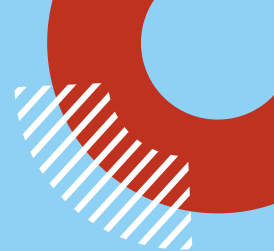
Naturalmente la cura di questi testi richiede condizioni precise, regole che non sono solo "precauzioni da archivisti", ma che ci insegnano l'importanza di proteggere la memoria scientifica come parte integrante del lavoro di ricerca.

Tra i tanti volumi c'è *Histoire physique de la mer* di Luigi Ferdinando Marsili (1725), un libro particolarmente emblematico poiché è una fonte utile per ricostruire informazioni sul livello del mare, sulla distribuzione dei coralli e sulle caratteristiche fisiche marine di quell'epoca. Questi dati, messi a confronto con osservazioni moderne, contribuiscono a farci capire meglio i cambiamenti avvenuti nel Mediterraneo negli ultimi secoli.



## Nota per gli insegnanti

Questa sezione può essere usata per stimolare una riflessione con i ragazzi: i dati non provengono solo da satelliti e sensori, ma anche dai libri. La scienza è un dialogo continuo tra presente e passato.



Nel Seicento e nel Settecento le biblioteche erano veri centri vitali della conoscenza scientifica. Non solo depositi di libri, ma luoghi di incontro, confronto e formazione.

## La biblioteca di Marsili a Bologna

Marsili aveva intuito che la conoscenza scientifica non poteva limitarsi all'esperienza individuale, ma doveva essere conservata e trasmessa. Per questo mise insieme una ricchissima biblioteca, che donò alla città di Bologna come base per l'Istituto delle Scienze, fondato nel 1711.

La raccolta comprendeva oltre 1500 volumi, tra cui testi di astronomia, fisica, botanica, zoologia, geografia, idraulica. Vi erano anche numerosi manoscritti autografi, mappe, carte geografiche e illustrazioni naturalistiche. Marsili non era un collezionista per vanità: i libri erano strumenti di lavoro, che utilizzava quotidianamente e arricchiva con annotazioni personali.

Questa biblioteca fu messa a disposizione degli studenti, creando un polo di studio e formazione avanzata. Ancora oggi rappresenta un modello di apertura e condivisione della conoscenza.

## Ruolo delle biblioteche nel Settecento

Le biblioteche accademiche erano spesso collegate alle accademie scientifiche:

- l'Accademia del Cimento a Firenze (1657),
- la Royal Society a Londra (1660),
- l'Académie Royale des Sciences a Parigi (1666).

In questi contesti, la lettura dei testi si accompagnava a esperimenti collettivi e a discussioni interdisciplinari, in un'ottica che anticipava l'attuale metodo scientifico.

## Significato culturale

La biblioteca di Marsili e quelle coeve dimostrano come la scienza del tempo fosse un intreccio di studio dei testi e osservazioni sul campo. Questo approccio integrato ha contribuito alla nascita della scienza moderna.



## Nota per gli insegnanti

La sezione "Biblioteca – Passato" è ideale per mostrare agli studenti che il sapere scientifico non nasce mai dal nulla: si costruisce accumulando conoscenze scritte e confrontandole con esperimenti e osservazioni. Un parallelismo utile: così come oggi i ragazzi usano libri e internet per fare ricerche scolastiche, così facevano gli scienziati di tre secoli fa, con gli strumenti allora disponibili.

# LABORATORIO PRESENTE



Il laboratorio è il cuore della ricerca scientifica. È qui che i dati raccolti sul campo vengono analizzati, verificati e trasformati in conoscenza e dove vengono riprodotti esperimenti di fenomeni naturali in condizioni controllate. Se le navi e le spedizioni consentono di osservare e misurare direttamente i fenomeni naturali, è in laboratorio che quelle osservazioni acquistano senso e diventano risultati scientifici.

Oggi esistono diversi tipi di laboratorio, a seconda delle necessità e delle discipline coinvolte:

- Laboratori fissi: situati in università o enti di ricerca, dotati di strumentazioni permanenti e specializzate.
- Laboratori mobili: allestiti a bordo di navi oceanografiche o in container trasportabili, permettono di svolgere analisi direttamente in aree remote.
- Laboratori interdisciplinari: in cui scienziati di settori diversi (geofisica, chimica, biologia, climatologia, informatica) collaborano su progetti comuni.

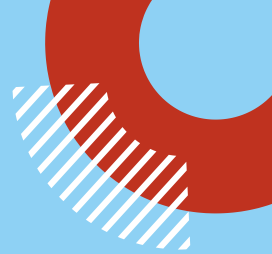
All'INGV per esempio, nei laboratori di Roma, Palermo e Catania i ricercatori si occupano di analizzare campioni prelevati in mare, in atmosfera o nei laghi vulcanici. A Panarea vengono prelevati campioni che vengono analizzati nel laboratorio di Palermo per studiare i fluidi che emergono dal fondale marino, mentre al Lago Albano vengono studiati campioni d'acqua per monitorare la composizione chimica e l'evoluzione nel tempo. Nel Laboratorio di Bologna infine vengono condotte le indagini sul Lago Albano, con analisi chimico-fisiche sui campioni d'acqua e sui sedimenti. Nei laboratori di Roma vengono realizzate tecnologie innovative come i glacio-radar, strumenti in grado di rilevare le deformazioni dei ghiacciai.



## Nota per gli insegnanti

Un modo semplice per collegare laboratorio e vita quotidiana è mostrare come strumenti simili siano usati anche in contesti non scientifici:

- i radar utilizzati in ambito scientifico si basano sugli stessi principi degli autovelox o dei sistemi di parcheggio;
- i sensori che monitorano i gas vulcanici funzionano come i rilevatori domestici di fumo o monossido di carbonio.



Nel Seicento e nel Settecento il concetto di laboratorio era molto diverso da quello che conosciamo oggi. Non esistevano ancora istituti di ricerca come li intendiamo noi: gli esperimenti venivano condotti in **spazi privati**, spesso nelle case degli studiosi o nei cosiddetti gabinetti scientifici. Si trattava di stanze allestite con strumenti, collezioni di reperti naturali, curiosità provenienti da terre lontane. Erano luoghi di **meraviglia e di scoperta**, ma anche di socialità, dove studiosi e visitatori potevano assistere a esperimenti o osservare campioni insoliti.

Anche Luigi Ferdinando Marsili aveva il suo laboratorio personale. Nel 1706, a Cassis, vicino Marsiglia, organizzò un vero e proprio spazio di ricerca domestico, dove poteva analizzare i campioni raccolti durante le campagne in mare. Non si trattava solo di un luogo di osservazione, ma anche di sperimentazione: qui Marsili tentava di riprodurre in scala ridotta i fenomeni che aveva visto in natura, cercando di comprenderne le cause.

Il laboratorio dell'epoca non era ancora uno spazio collettivo, ma rifletteva la dimensione personale della scienza del tempo: era il regno dello scienziato, dove si intrecciavano curiosità, intuizione e pratica. Tuttavia, proprio da questi ambienti privati nacquero le basi del laboratorio moderno. Con il tempo, infatti, si affermò l'idea che l'esperimento dovesse essere ripetibile e verificabile da altri studiosi, trasformando i gabinetti scientifici in spazi di ricerca condivisi.

Il laboratorio, da spazio privato e artigianale, si trasformò progressivamente in luogo pubblico, metodico e condiviso, gettando le basi per la scienza moderna.

L'evoluzione del laboratorio racconta quindi anche un cambiamento più ampio: la scienza che da attività di pochi diventa un'impresa collettiva, fondata sulla condivisione dei risultati e sulla costruzione di conoscenze comuni.



## **Nota per gli insegnanti**

Questa sezione è utile per mostrare agli studenti l'evoluzione del concetto di scienza: da curiosità e collezionismo a metodo rigoroso e riproducibile. Potete proporre un confronto con i laboratori di oggi, chiedendo agli studenti di immaginare cosa significhi lavorare con microscopi rudimentali e bilance manuali rispetto agli strumenti odierni.



L'ufficio è il luogo meno spettacolare della ricerca, ma non per questo meno importante. È qui che i dati raccolti durante le campagne o nei laboratori vengono organizzati, elaborati e trasformati in analisi. Dietro a un computer si scrivono articoli scientifici, si preparano presentazioni per congressi, si compilano progetti di ricerca e si coordinano attività con colleghi sparsi in tutto il mondo.

Il **lavoro d'ufficio** è diventato ancora più centrale nell'epoca digitale. Le banche dati online permettono di accedere a informazioni climatiche, oceanografiche o geofisiche provenienti da ogni parte del pianeta, confrontandole e integrandole con quelle acquisite localmente. Un ricercatore, dal proprio ufficio, può oggi scaricare serie storiche di dati, consultare archivi digitali e utilizzare strumenti di calcolo avanzati che un tempo richiedevano mesi di lavoro manuale.

Anche la dimensione collettiva della scienza passa da qui: molte ore vengono dedicate a riunioni virtuali, scrittura condivisa di documenti, scambio di idee e commenti. L'ufficio è dunque un punto di raccordo, dove le informazioni si trasformano in conoscenza, e la conoscenza si traduce in comunicazione verso la comunità scientifica e la società.

Pur non avendo l'aura avventurosa di una nave in missione o di un laboratorio pieno di strumenti, è tra scrivanie, computer e archivi digitali che gran parte del lavoro scientifico prende forma. Senza questa fase di sistematizzazione e confronto, i dati rimarrebbero solo numeri sparsi: è qui che diventano risultati, teorie e nuove domande di ricerca.

## L'ufficio come “centro dati”

Grazie alle infrastrutture digitali, l'ufficio del ricercatore moderno è una finestra sul mondo. Qui si accede a:

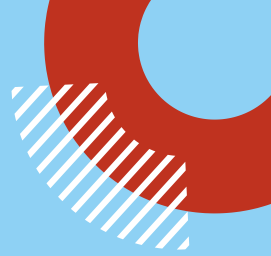
- banche dati climatiche globali (con registrazioni pluridecennali),
- database oceanografici (temperature, salinità, correnti),
- cataloghi di eventi geofisici (terremoti, eruzioni vulcaniche, variazioni geomagnetiche),
- archivi satellitari per osservare i cambiamenti della Terra dall'alto.

Molti ricercatori passano più tempo in ufficio che in laboratorio o sul campo. È in queste ore “silenziose” che i dati diventano conoscenza e i risultati prendono forma.



### Nota per gli insegnanti

È utile spiegare agli studenti che la scienza non è fatta solo di “esperimenti spettacolari”: gran parte del lavoro scientifico è paziente e metodico, fatto di calcoli, confronti, lettura e scrittura. Potete proporre un esempio concreto: chiedere ai ragazzi di immaginare di avere un quaderno pieno di dati numerici e di doverli trasformare in un grafico leggibile e in un testo che racconti cosa significano.



Nei secoli XVII e XVIII l'ufficio non era ancora lo spazio impersonale che conosciamo oggi, fatto di scrivanie e computer. Era piuttosto un ambiente domestico, spesso coincidente con lo studio personale dello scienziato, arredato con scaffali di libri, tavoli per scrivere, strumenti di misura e disegni. Qui prendeva forma la parte "silenziosa" della ricerca: la raccolta di appunti, la stesura di manoscritti, la preparazione di corrispondenza con colleghi vicini e lontani.

Accanto agli studi privati, un ruolo fondamentale era svolto dai salotti scientifici, luoghi di incontro informali dove studiosi, nobili e intellettuali discutevano di filosofia naturale, mostravano esperimenti e confrontavano idee. Era una scienza che si faceva tra tavoli, tazze di tè e strumenti portati da casa, ma che contribuì a diffondere conoscenza e a far circolare rapidamente nuove scoperte.

Un esempio emblematico è quello dei coniugi Antoine e Marie-Anne Lavoisier, che nel loro salotto parigino del Settecento ospitavano esperimenti chimici davanti a ospiti selezionati, trasformando l'ambiente domestico in un laboratorio e in uno spazio di divulgazione allo stesso tempo.

Anche Luigi Ferdinando Marsili conosceva bene l'importanza di questi contesti: durante i suoi anni a Montpellier entrò in contatto con studiosi e accademici francesi, condividendo i suoi lavori e imparando dalle discussioni. In un'epoca in cui la stampa di articoli scientifici era ancora limitata, la circolazione delle idee passava proprio attraverso questi incontri, insieme a fitte corrispondenze epistolari.

L'ufficio, inteso come spazio privato o come salotto condiviso, era dunque un luogo cruciale per la scienza dell'epoca: il punto in cui osservazioni, esperimenti e intuizioni venivano messi per iscritto e trasformati in conoscenza da tramandare.



## Nota per gli insegnanti

Questa sezione può essere usata per stimolare un confronto tra ieri e oggi:

- ieri lo "studio" era uno spazio privato, dove il sapere era custodito e condiviso solo con pochi;
- oggi l'ufficio del ricercatore è collegato a reti globali, con dati accessibili e condivisi in tempo reale.

Un esercizio interessante: chiedere agli studenti di immaginare come sarebbe fare ricerca oggi senza internet, comunicando con colleghi solo attraverso lettere manoscritte che impiegano settimane per arrivare a destinazione, per esempio con piccioni viaggiatori.

# CENTRO DI CALCOLO PRESENTE

Oggi gran parte della ricerca scientifica non si svolge più soltanto in mare o in laboratorio, ma anche nei centri di calcolo, veri e propri “cervelli elettronici” in cui si elaborano quantità enormi di dati. I **supercomputer** consentono di affrontare problemi che sarebbero impossibili da risolvere con i normali computer da ufficio: simulare il clima futuro, analizzare terremoti ed eruzioni vulcaniche, riprodurre le dinamiche degli oceani o studiare la diffusione di sostanze in atmosfera.

Un supercomputer non è un'unica macchina gigantesca, ma un sistema formato da migliaia di processori che lavorano in parallelo. Questa architettura consente di eseguire milioni di miliardi di operazioni al secondo. Le sale che li ospitano sono spazi enormi, pieni di file ordinate di armadi metallici che contengono unità di calcolo, sistemi di raffreddamento e cablaggi complessi.

In Italia, il supercomputer più potente a supporto della ricerca scientifica è Leonardo, installato presso il CINECA di Bologna. È una delle macchine più performanti al mondo e viene utilizzata anche per ricerche ambientali e climatiche. Grazie a essa i ricercatori possono eseguire simulazioni di scenari futuri, ad esempio l'innalzamento del livello del mare nel Mediterraneo o l'evoluzione della copertura dei ghiacci artici.

Nei centri di calcolo la ricerca prende la forma di modelli numerici. I dati raccolti da navi, satelliti e osservatori terrestri vengono inseriti all'interno di equazioni matematiche che descrivono i processi naturali. Il risultato non è un semplice grafico, ma una finestra sul futuro: la possibilità di esplorare scenari possibili e valutare le conseguenze delle diverse scelte ambientali e politiche.

In questo modo, i centri di calcolo sono diventati un luogo imprescindibile della scienza contemporanea, tanto importanti quanto un laboratorio o una nave oceanografica. Sono il ponte tra osservazioni e previsioni, tra presente e futuro.

Nel progetto **MACMAP** i supercomputer sono stati fondamentali per:

- simulare le caratteristiche del Mar Mediterraneo e la sua variabilità;
- confrontare i dati osservati (temperature, salinità, ghiaccio marino, atmosfera) con i risultati dei modelli numerici;
- integrare informazioni provenienti da fonti molto diverse (oceano, atmosfera, laghi, documenti storici);
- produrre mappe e proiezioni utili a prevedere rischi e conseguenze per le società e gli ecosistemi.

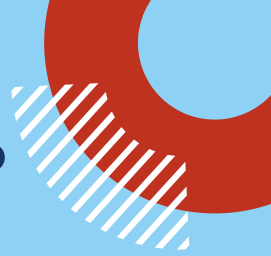


## Nota per gli insegnanti

Per spiegare ai ragazzi cosa significa in pratica "supercalcolo", si può partire da un esempio semplice: supponiamo che l'insegnante di matematica abbia assegnato alla classe 50 esercizi da risolvere. Come potrebbero organizzarsi i ragazzi per risolverli in meno tempo?



# CENTRO DI CALCOLO PASSATO



L'idea di automatizzare i calcoli è molto più antica dei computer moderni: ha radici nel XVII secolo quando gli studiosi cercarono di semplificare le operazioni matematiche con macchine ingegnose. Nel 1623 **Wilhelm Schickard** progettò la prima “calcolatrice meccanica”, seguita pochi anni dopo dalla Pascalina di **Blaise Pascal**, capace di eseguire addizioni e sottrazioni grazie a un sistema di ruote dentate. Nel 1673 **Gottfried Wilhelm Leibniz** perfezionò ulteriormente queste macchine, introducendo un meccanismo in grado di moltiplicare e dividere.

Questi dispositivi erano ingombranti, delicati e di uso limitato, ma segnano un passaggio cruciale: la matematica non era più solo un esercizio della mente o della penna, ma poteva essere affidata a un artefatto costruito dall'uomo.

Nel Settecento, il pensiero scientifico si aprì all'idea di calcoli sempre più complessi. A Bologna, Laura Bassi, una delle prime donne al mondo a ottenere una cattedra universitaria, fu un esempio straordinario di come la matematica e la fisica si potessero diffondere anche attraverso la didattica e la ricerca collettiva.

Nell'Ottocento il sogno di una macchina universale per il calcolo prese forma con **Charles Babbage**, che ideò la “macchina analitica”: un progetto visionario, rimasto incompiuto, ma che anticipava i computer moderni. Accanto a lui lavorò **Ada Lovelace**, che comprese come quelle macchine non servissero solo a fare conti, ma potessero eseguire istruzioni complesse: per questo è ricordata come la prima programmatrice della storia.

Nel XIX e XX secolo, prima dei computer elettronici, esistevano i cosiddetti “computer umani”: persone (spesso donne) che eseguivano manualmente calcoli matematici complessi, lavorando in gruppi organizzati. Questi team furono fondamentali per l'astronomia, la balistica e, più tardi, per le prime missioni spaziali. Dal legno e dal metallo delle prime calcolatrici meccaniche alle schede perforate e poi ai moderni supercomputer, la storia del calcolo mostra come l'ingegno umano abbia sempre cercato di superare i limiti della mente, costruendo strumenti per pensare più in grande e più in fretta.



## Nota per gli insegnanti

Questa sezione è ideale per introdurre il tema della partecipazione femminile alla scienza: da Ipazia ad Alessandria, a Laura Bassi e Ada Lovelace, fino alle “donne computer” della NASA negli anni '60. Un collegamento che mostra come la scienza sia sempre stata anche una questione di inclusione e di progresso sociale.



# SITI DI STUDIO





*Per questo tipo di siti il **Lago Albano** è stato scelto come esempio perché i laghi vulcanici conservano nei sedimenti la memoria dei cambiamenti climatici e, allo stesso tempo, possono mostrare come il riscaldamento modifichi l'equilibrio dei gas disciolti.*

I laghi sono veri e propri archivi naturali. Le loro acque e i sedimenti che si accumulano sul fondo registrano le variazioni climatiche e ambientali avvenute nel corso del tempo. Analizzandoli è possibile ricostruire la storia del territorio, individuare periodi di siccità, episodi di inquinamento o cambiamenti nella vegetazione circostante.

Non tutti i laghi, però, sono ambienti tranquilli. Alcuni, soprattutto quelli vulcanici, possono nascondere insidie. In determinate condizioni, grandi quantità di anidride carbonica possono accumularsi negli strati profondi e liberarsi improvvisamente in superficie. È ciò che accadde nel 1986 al Lago Nyos, in Camerun: una nube di CO<sub>2</sub> soffocò in pochi minuti oltre 1.800 persone e migliaia di animali. Episodi simili si verificarono anche al vicino Lago Monoun. Questi eventi, detti eruzioni limniche, hanno mostrato come i laghi possano essere sistemi delicati, capaci di trasformarsi da risorsa vitale a minaccia.

In Italia, l'INGV ha posto particolare attenzione al Lago Albano, un lago vulcanico situato nei pressi di Roma. Qui vengono monitorati costantemente i gas disciolti nelle acque e i parametri chimico-fisici, per individuare eventuali segnali di instabilità. L'analisi regolare di campioni consente di comprendere meglio l'evoluzione del bacino e di prevenire situazioni potenzialmente pericolose.

Il Lago Albano è monitorato dall'INGV dagli anni '80.

- Ha una profondità massima di circa 170 metri.
- È alimentato principalmente da acque meteoriche e sorgive.
- Presenta caratteristiche simili ai laghi africani, ma con una differenza fondamentale: il rimescolamento stagionale delle acque.

Ogni anno, durante i cambi di stagione, le acque superficiali e quelle profonde tendono a mescolarsi, rilasciando gradualmente la CO<sub>2</sub> accumulata. Questo processo riduce fortemente il rischio di un rilascio catastrofico improvviso, come accaduto in Camerun.

## Monitoraggio e ricerche

- Campionamenti regolari per misurare concentrazione di gas, temperatura, salinità e pH.
- Analisi dei sedimenti per ricostruire variazioni climatiche del passato.
- Studi sul ruolo dei cambiamenti climatici: il riscaldamento globale potrebbe ridurre l'efficienza dei rimescolamenti stagionali, aumentando il rischio di accumulo di gas negli strati profondi.

# Importanza climatica dei laghi

I laghi non sono solo ecosistemi locali:

- funzionano come sentinelle del cambiamento climatico, perché rispondono rapidamente a variazioni di temperatura e precipitazioni;
- permettono di collegare scala locale e scala globale: ciò che accade in un piccolo lago può avere analogie con processi che interessano oceani e atmosfera.

Lo studio dei laghi non riguarda però solo la sicurezza. I carotaggi dei sedimenti permettono di leggere la storia climatica del passato: strato dopo strato, come in un libro, si ritrovano polveri vulcaniche, resti vegetali, pollini e microfossili che raccontano le trasformazioni dell'ambiente.

Già in epoche passate gli studiosi avevano intuito che i laghi custodivano tracce preziose. Oggi, grazie a tecniche raffinate e strumenti moderni, questi bacini diventano veri laboratori naturali, capaci di raccontare sia il presente sia un passato remoto, e di offrire informazioni indispensabili per comprendere i cambiamenti futuri.



## Nota per gli insegnanti

Per rendere questo tema concreto agli studenti, potete proporre un esperimento semplice:

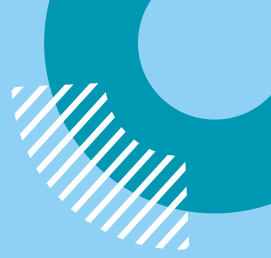
- riempire una bottiglia d'acqua frizzante e lasciarla ferma per un po';
- spiegare che la CO<sub>2</sub> rimane "intrappolata" sotto pressione, come nel fondo di un lago profondo;
- aprendo bruscamente la bottiglia, il gas si libera in superficie con violenza: un'analogia semplificata di ciò che può accadere nei laghi vulcanici



## Approfondimento

- [Il rischio nascosto tra le profondità del Lago Albano](#)
- [Il disastro del lago di Nyos in Camerun](#)





*Consideriamo l'Artide come sito di osservazione perché è la regione che si scalda più rapidamente al mondo: qui gli effetti del cambiamento climatico sono immediati e amplificati.*

L'Artide rappresenta una delle regioni più sensibili del pianeta agli effetti del cambiamento climatico. La riduzione del ghiaccio marino artico è un fenomeno monitorato da oltre quarant'anni e costituisce uno degli indicatori più chiari del riscaldamento globale.

## **Evoluzione del ghiaccio artico**

Dal 1979, con l'avvio delle osservazioni satellitari sistematiche, è stato possibile documentare i cambiamenti stagionali e interannuali dell'estensione del ghiaccio marino.

- **Ciclo annuale:** il ghiaccio raggiunge la sua massima estensione in inverno, tra febbraio e marzo, mentre il minimo si registra alla fine dell'estate, tra settembre e ottobre.
- **Riduzione osservata:** il minimo estivo del 2012 ha segnato il valore più basso mai registrato, con un'estensione ridotta a meno della metà rispetto alla media del periodo 1979–2000.
- **Ghiaccio pluriennale:** nel 1985 costituiva circa il 16% del ghiaccio invernale; nel 2018 era sceso all'1%, sostituito da ghiaccio sottile stagionale, più vulnerabile alla fusione.

Questa trasformazione del ghiaccio artico è strettamente collegata al fenomeno dell'amplificazione artica: l'Artide si scalda quattro volte più velocemente della media globale.

## **Conseguenze ambientali e socio-economiche**

La riduzione del ghiaccio ha effetti a cascata su scala regionale e globale:

- **Biodiversità:** perdita di habitat per specie iconiche come orsi polari, foche, trichechi e per numerosi organismi che dipendono dal ghiaccio come piattaforma di caccia o riproduzione.
- **Ecosistemi marini:** variazioni nelle catene alimentari, dovute alla scomparsa del ghiaccio stagionale su cui si sviluppano comunità microbiche fondamentali.
- **Trasporti marittimi:** apertura di nuove rotte commerciali, come il Passaggio a Nord-Ovest e la Rotta del Mare del Nord, che riducono i tempi di percorrenza ma aumentano i rischi ambientali.
- **Attività estrattive:** accesso a risorse energetiche e minerarie finora inaccessibili, con conseguente impatto ambientale e geopolitico.
- **Stabilità climatica globale:** la fusione della calotta della Groenlandia contribuisce all'innalzamento del livello del mare e può influenzare la circolazione termoalina atlantica.

# ARTIDE

## Osservatori e strumenti di monitoraggio

L'Artide è una regione remota e difficile da raggiungere. Per questo motivo sono state sviluppate infrastrutture permanenti di osservazione, che consentono di raccogliere dati di lungo periodo.

### Osservatorio THAAO (Thule High Arctic Atmospheric Observatory):

- Situato a Pituffik, Groenlandia nord-occidentale;
- Gestito dall'INGV e dall'ENEA con il supporto di partner internazionali;
- Raccoglie dati meteorologici, di radiazione solare, riflettività (albedo) della superficie, concentrazione di aerosol, composizione atmosferica e ruolo delle nubi nel riscaldamento/raffreddamento della superficie;
- È dotato di strumentazioni ottiche e radiometriche avanzate, che permettono di studiare l'interazione tra neve, ghiaccio, atmosfera e radiazione.

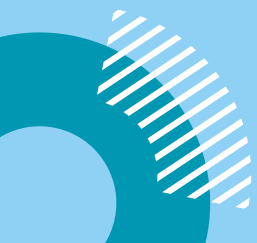
### Altri strumenti di monitoraggio utilizzati in Artide:

- Stazioni sismiche per rilevare la sismicità legata per rilevare la sismicità legata alla dinamica dei ghiacci e il distacco di iceberg;
- Mareografi per registrare le variazioni del livello del mare;
- Boe di deriva equipaggiate con sensori multiparametrici, che seguono i movimenti del ghiaccio e dell'acqua;
- Satelliti per l'osservazione continua dell'estensione e dello spessore del ghiaccio, della temperatura superficiale e delle condizioni atmosferiche.

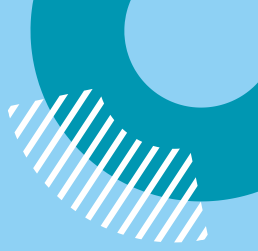
### Rilevanza scientifica

L'Artide è considerato un laboratorio naturale per studiare:

- gli effetti dei cambiamenti climatici in tempi ridotti (i fenomeni sono più rapidi e amplificati rispetto ad altre regioni);
- le interazioni tra ghiaccio, oceano e atmosfera;
- le conseguenze globali delle variazioni regionali, come l'impatto sulla circolazione atmosferica delle medie latitudini.



# ARTIDE



## Nota per gli insegnanti

Questa sezione può essere usata per spiegare concetti chiave come albedo, feedback climatico e circolazione termohalina. È utile proporre agli studenti un esercizio pratico: confrontare una superficie bianca (che riflette la luce) e una nera (che l'assorbe) posta per un po' di tempo alla luce diretta del Sole, per capire intuitivamente perché lo scioglimento del ghiaccio accelera il riscaldamento.



## Approfondimento

- [Amplificazione Artica: come il riscaldamento del Polo Nord sta cambiando il clima del pianeta](#)
- [L'Artide sotto osservazione: la missione ARCSIX](#)
- [Il buco dell'ozono e l'Artide](#)
- [Le stazioni per il monitoraggio ionosferico in Artide](#)
- [La Stazione Artica Internazionale "Fiocco di Neve"](#)
- [Il 2020 conferma la costante riduzione del ghiaccio marino Artico](#)
- [L'intensa fusione della calotta groenlandese nell'estate 2019](#)



# MARE PROFONDO



*Il mare profondo è tra i siti scelti perché agisce come un enorme serbatoio di calore e carbonio: capirne il funzionamento è essenziale per prevedere l'evoluzione del clima globale.*

Gli oceani coprono circa il 71% della superficie terrestre e svolgono un ruolo fondamentale nel bilancio energetico del pianeta. Eppure, le loro profondità restano tra gli ambienti meno esplorati e meno conosciuti della Terra.

## Perché studiare il mare profondo

### 1. Regolatore climatico

- L'oceano assorbe oltre il 90% del calore in eccesso dovuto all'effetto serra.
- L'espansione termica dell'acqua è una delle principali cause dell'innalzamento del livello del mare (oltre 1 mm/anno).

### 1. Distribuzione del calore e delle sostanze

- Le correnti oceaniche profonde redistribuiscono calore e nutrienti a scala globale.
- Questi movimenti influenzano fenomeni come El Niño e la circolazione termoalina atlantica.

### 1. Ecosistemi estremi

- Le profondità ospitano forme di vita adattate a condizioni estreme di pressione e oscurità.
- Gli ecosistemi di sorgenti idrotermali e cold seeps (area del fondale oceanico in cui si verifica la fuoriuscita di fluidi ricchi di idrogeno solforato, metano e altri idrocarburi) sono esempi di ambienti basati non sulla fotosintesi, ma sulla chemiosintesi.





## Tecnologie di osservazione

Studiare il mare profondo è difficile e costoso: richiede strumenti specializzati capaci di resistere a pressioni elevatissime.

- **Osservatori multiparametrici:** installati sul fondale, misurano contemporaneamente parametri fisici (temperatura, pressione), chimici (pH, ossigeno disciolto, concentrazione di CO<sub>2</sub>) e biologici. Sono spesso collegati a terra tramite cavi per trasmettere dati in tempo reale.
- **Reti internazionali:** l'Europa coordina il programma EMSO (European Multidisciplinary Seafloor and water-column Observatory), di cui fa parte il sito NEMO-SN1 nel Mar Ionio, gestito dall'INGV
- **Mooring:** cavi verticali ancorati al fondale, con sensori distribuiti lungo la colonna d'acqua. Possono registrare dati per mesi o anni e vengono recuperati periodicamente.
- **Veicoli subacquei:** ROV e AUV permettono di esplorare visivamente i fondali e raccogliere campioni.

## Il mare profondo e il clima

Il mare profondo è un elemento chiave nel sistema climatico:

- accumula calore in eccesso e lo rilascia lentamente, agendo come un serbatoio termico che smorza le variazioni atmosferiche;
- sequestra CO<sub>2</sub> attraverso processi biologici e chimici, contribuendo al cosiddetto carbon sink oceanico;
- l'aumento della temperatura e la ridotta circolazione possono compromettere questo equilibrio, con conseguenze a lungo termine.

## Sfide e prospettive

- Le osservazioni dirette del mare profondo sono ancora rare e frammentarie: la maggior parte degli oceani resta inesplorata.
- I modelli climatici globali hanno bisogno di dati accurati dal mare profondo per migliorare le loro previsioni.
- La ricerca futura dovrà integrare nuove tecnologie (sensori miniaturizzati, reti autonome di osservazione, intelligenza artificiale per analizzare big data) con le osservazioni tradizionali.



## Nota per gli insegnanti

Per far percepire agli studenti l'importanza del mare profondo, si può usare un esempio visivo: mostrare un bicchiere d'acqua e spiegare che, se fosse l'oceano, la parte "superficie" rappresenterebbe solo pochi millimetri, mentre tutto il resto è il mare profondo, ancora in gran parte sconosciuto.

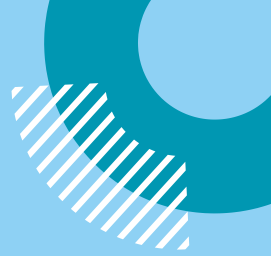


## Approfondimento

[Che clima ci attende? ce lo dice il mare profondo](#)



# ATMOSFERA



*L'atmosfera è stata considerata tra i siti da monitorare perché collega oceani, ghiacci e continenti: è il motore che trasmette e amplifica gli effetti dei cambiamenti climatici a scala planetaria.*

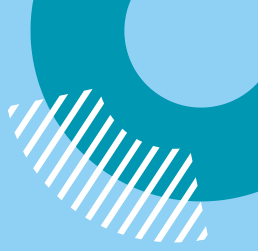
L'atmosfera terrestre è un sottile involucro gassoso che avvolge il pianeta ed è uno degli elementi essenziali affinché sia possibile la vita. Se paragonassimo la Terra a una palla da basket, l'atmosfera sarebbe solo una pellicola sottilissima, eppure senza di essa la superficie sarebbe un luogo freddo, arido e inospitale.

La sua composizione è dominata da azoto e ossigeno, che insieme rappresentano quasi il 99% dei gas presenti. Ma sono proprio i costituenti minori a fare la differenza: l'anidride carbonica, il metano, il vapore acqueo e l'ozono svolgono ruoli cruciali nel regolare il clima. I gas serra trattengono parte della radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre, mantenendo la temperatura media intorno ai +15 °C, invece dei -18 °C che avremmo senza di loro. Lo strato di ozono, invece, filtra la radiazione ultravioletta solare, proteggendo la vita sulla Terra da effetti dannosi.

L'atmosfera è suddivisa in più strati, ciascuno con caratteristiche proprie. Nella troposfera, che si estende fino a circa 12 km di quota, si concentrano le nubi, le piogge e tutti i fenomeni meteorologici. Più in alto, la stratosfera ospita lo strato di ozono e mostra un andamento curioso: la temperatura cresce con l'altitudine. Ancora oltre, la mesosfera è un ambiente freddissimo in cui le meteore si disgregano, mentre la termosfera è sede di temperature elevatissime e di fenomeni spettacolari come le aurore polari. Infine, la tenue esosfera segna il confine con lo spazio interplanetario.

Studiare l'atmosfera oggi è fondamentale per comprendere i cambiamenti climatici in corso. L'aumento dei gas serra, la presenza di aerosol e inquinanti, le variazioni nell'assorbimento e nella riflessione dell'energia solare influenzano profondamente il sistema climatico terrestre. I ricercatori monitorano costantemente vapore acqueo, nubi e precipitazioni, perché regolano il bilancio energetico del pianeta e offrono indizi preziosi sull'evoluzione del clima.

L'atmosfera, però, non è solo un insieme di strati sovrapposti: è un sistema dinamico, in costante movimento e interconnessione. Le correnti a getto, veri e propri fiumi d'aria ad alta quota, governano la traiettoria delle perturbazioni. Fenomeni come El Niño o la North Atlantic Oscillation collegano eventi che avvengono a migliaia di chilometri di distanza, dimostrando che ciò che accade in un punto della Terra può avere ripercussioni su regioni molto lontane. In questo senso, l'atmosfera è allo stesso tempo locale e globale: la sua dinamica mette in relazione aree distanti e rende evidente l'interdipendenza del clima planetario.



## Nota per gli insegnanti

Un esperimento semplice e visivo per spiegare l'effetto serra può essere fatto con due bottiglie trasparenti riempite d'acqua. In una si può liberare CO<sub>2</sub> (per esempio con una pastiglia effervescente), lasciando l'altra come controllo. Esposte entrambe a una fonte di calore, la bottiglia con CO<sub>2</sub> si scalderà più rapidamente: un piccolo modello per comprendere l'impatto dei gas serra sull'atmosfera terrestre.



## Approfondimento

[La vitale atmosfera che ci avvolge](#)

[Meteo o Clima? Una guida per scoprire i segreti del sistema climatico della Terra](#)



# MEDITERRANEO



*Il Mediterraneo è un “hotspot climatico”: un bacino semi-chiuso, densamente abitato, che mostra con chiarezza e rapidità gli effetti del riscaldamento globale. Per questo è tra i siti scelti per seguire la nostra analisi.*

Il Mediterraneo è un mare particolare: un bacino semi-chiuso collegato all’Atlantico solo attraverso lo stretto di Gibilterra. Questa sua conformazione lo rende un laboratorio naturale per studiare i cambiamenti climatici. Circondato da 22 Paesi, con oltre 450 milioni di persone che vivono lungo le sue coste, è al tempo stesso fragile e densamente abitato.

Lo scambio con l’oceano Atlantico è limitato e ciò amplifica le variazioni climatiche e ambientali, che tendono a rimanere intrappolate più a lungo. Il bilancio idrico del bacino è negativo: l’intenso soleggiamento provoca una forte evaporazione che fa perdere al Mediterraneo più acqua di quanta ne riceva da fiumi e precipitazioni. Per compensare, le acque atlantiche, meno salate, entrano in superficie attraverso lo stretto, mentre quelle mediterranee, più dense e salate, defluiscono in profondità. Questo delicato equilibrio rende il mare particolarmente sensibile a ogni variazione di temperatura o di piovosità.

Negli ultimi decenni i segnali del cambiamento climatico sono diventati sempre più evidenti. La temperatura superficiale del mare è aumentata di circa 0,3 °C per decennio, uno dei tassi più rapidi al mondo. Allo stesso tempo, l’evaporazione crescente e il minore apporto dei fiumi hanno determinato un incremento della salinità. Le acque superficiali, sempre più calde, restano separate da quelle profonde e riducono l’apporto di ossigeno agli strati inferiori, con il rischio di ipossia per gli ecosistemi.

Anche il livello del mare è in crescita: entro la fine del secolo è previsto un innalzamento compreso tra 38 e 77 centimetri, con conseguenze potenzialmente gravi per città e infrastrutture costiere.

# MEDITERRANEO

Questi processi hanno effetti diretti sulla società e sulle economie locali. La **pesca**, ad esempio, è già in trasformazione: molte specie tradizionali si spostano verso acque più fresche, mentre nuove specie tropicali entrano dal Canale di Suez, alterando gli equilibri ecologici e portando nuove sfide economiche.

Anche il **turismo** risente del riscaldamento delle acque, che favorisce lo sviluppo di fioriture algali talvolta tossiche e dannose per la balneazione. Le coste, infine, sono sempre più esposte a erosione e inondazioni, con rischi crescenti per intere comunità.

Per comprendere queste dinamiche e prevederne l'evoluzione, i ricercatori utilizzano una **combinazione di metodi**. Le rianalisi oceaniche ricostruiscono le condizioni del passato, mentre i modelli climatici proiettano scenari futuri.

Le **osservazioni satellitari** permettono di misurare parametri come la temperatura superficiale, il colore del mare o il livello delle acque; boe e sistemi di monitoraggio raccolgono dati lungo la colonna d'acqua per lunghi periodi.

Tecniche innovative, come lo studio delle variazioni del campo magnetico costiero, offrono informazioni indirette sulle variazioni del livello del mare. L'INGV contribuisce a queste attività integrando osservazioni oceanografiche, dati storici e modelli matematici, per costruire un quadro sempre più completo del Mediterraneo di oggi e di domani.



# MEDITERRANEO



## Nota per gli insegnanti

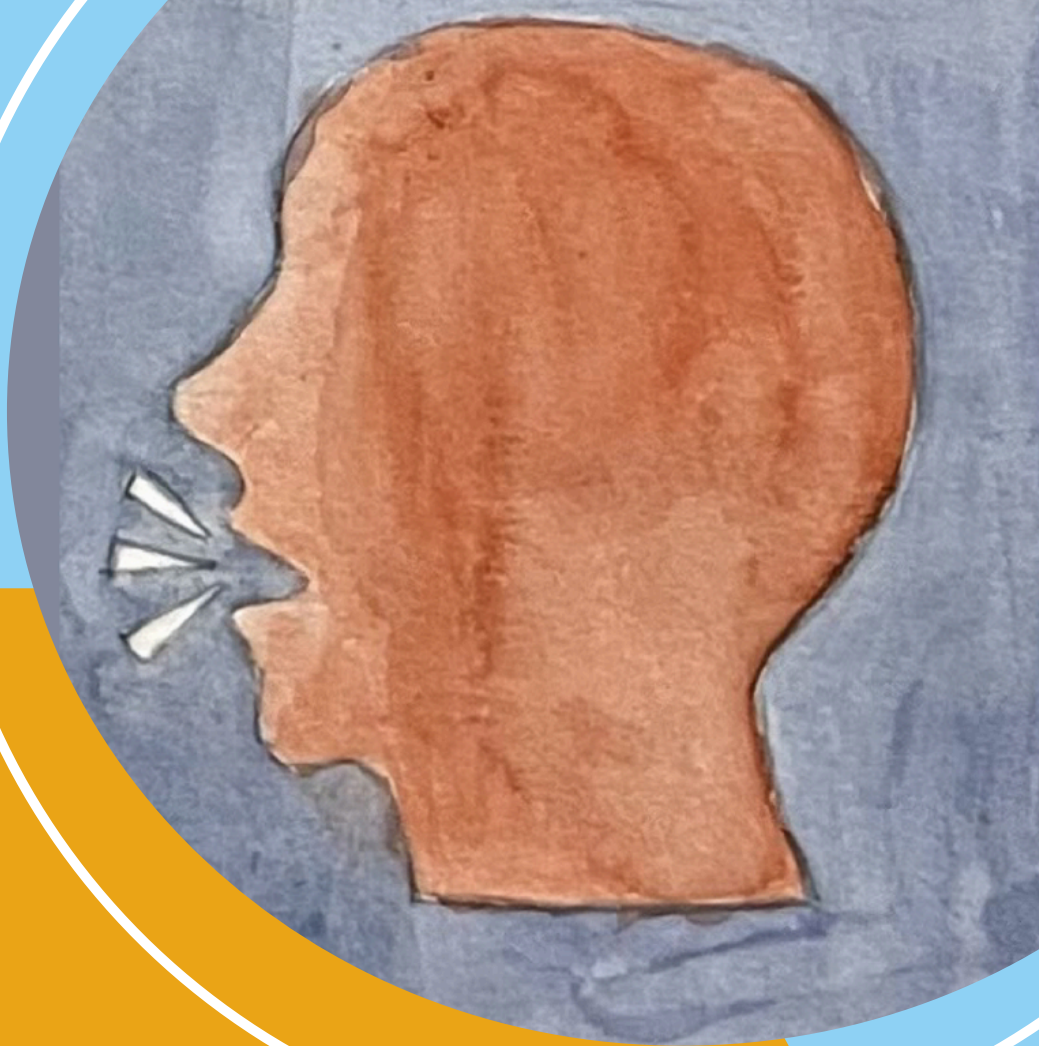
Il Mediterraneo è un tema ideale per coinvolgere gli studenti: è un mare “vicino a casa”, le cui trasformazioni hanno conseguenze dirette sul loro futuro. Potete proporre una discussione su cosa significhi per un Paese come l'Italia affrontare l'innalzamento del livello del mare: quali città e aree costiere rischiano di più?



## Approfondimento

- Mediterraneo: siamo consapevoli dei rischi dell'aumento del livello del mare indotti dai cambiamenti climatici?
- Aumento del livello del mare: un problema globale per un pianeta che si sta riscaldando
- Tsunami e innalzamento del mare: un futuro di sfide per le coste del Mediterraneo
- Impatto dei cambiamenti climatici nel Mediterraneo
- Aumento del livello del mare: un problema globale per un pianeta che si sta riscaldando





# PRODOTTI DELLA RICERCA





Le pubblicazioni scientifiche rappresentano lo strumento principale con cui i ricercatori condividono i risultati del loro lavoro.

Non sono semplici testi descrittivi, ma documenti strutturati secondo regole precise, destinati a essere sottoposti a un processo di verifica indipendente.

## Caratteristiche fondamentali

- Peer review (revisione tra pari): ogni articolo, prima di essere pubblicato, viene valutato da esperti del settore che ne verificano la validità scientifica, la correttezza metodologica e la chiarezza espositiva.
- Replicabilità: ogni risultato deve essere accompagnato da metodi e dati sufficienti a permettere ad altri ricercatori di riprodurre l'esperimento o di verificare i calcoli.
- Tracciabilità: grazie al DOI (Digital Object Identifier), ogni articolo ha un codice univoco che ne garantisce l'identificazione e la reperibilità online.
- Impatto scientifico: le riviste sono classificate secondo indicatori bibliometrici, come l'Impact Factor, che misura la frequenza con cui gli articoli vengono citati da altri lavori.
- Importanza per la carriera scientifica

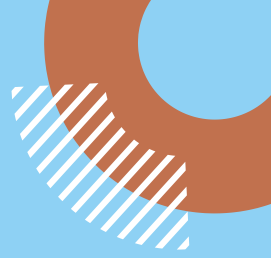
Le pubblicazioni sono fondamentali anche per la valutazione dei ricercatori: numero, qualità e impatto degli articoli pubblicati influenzano la progressione di carriera, l'accesso a fondi di ricerca e la reputazione nella comunità scientifica.

I risultati di un progetto vengono pubblicati su riviste internazionali peer reviewed. Questo garantisce che le scoperte, i dati e le metodologie sviluppate entrino a far parte del patrimonio condiviso della comunità scientifica globale.



### Nota per gli insegnanti

Spiegare agli studenti che una pubblicazione scientifica non è una “notizia” ma un risultato validato è un buon modo per aiutarli a distinguere tra fonti affidabili e fake news.



La comunicazione scientifica non è sempre stata come oggi.

Nel Rinascimento e fino al Seicento, gli scienziati comunicavano soprattutto attraverso lettere private, in cui descrivevano osservazioni ed esperimenti a colleghi fidati. Queste lettere circolavano all'interno di ristretti gruppi di studiosi, creando reti informali di conoscenza.

## Le prime riviste scientifiche

Con la nascita delle accademie, la scienza divenne progressivamente più pubblica:

- Accademia del Cimento (Firenze, 1657): pubblicò nel 1667 i Saggi di naturali esperienze, che raccoglievano gli esperimenti condotti dai suoi membri.
- Royal Society (Londra, 1660): avviò nel 1665 le Philosophical Transactions, la prima rivista scientifica ancora attiva oggi.
- Académie Royale des Sciences (Parigi, 1666): pubblicava regolarmente le memorie scientifiche dei suoi membri.

Queste prime pubblicazioni sancirono il passaggio dalla scienza come attività privata a scienza come impresa collettiva e pubblica.



### Nota per gli insegnanti

Un'attività utile: proporre agli studenti di immaginare come sarebbe, oggi, comunicare i risultati di un esperimento esclusivamente tramite annunci su un giornale locale o nazionale stampato anziché diffonderlo con rapidità ed efficacia attraverso riviste online e database digitali.

# DIVULGAZIONE PRESENTE



La divulgazione scientifica è ormai riconosciuta come parte integrante della missione di università ed enti di ricerca. Si parla infatti di Terza Missione: accanto a ricerca e didattica, gli enti hanno il dovere di comunicare la scienza alla società.

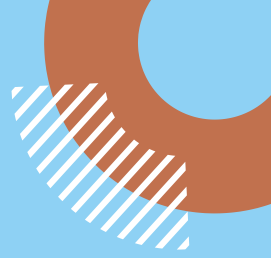
Forme principali di divulgazione

- Attività nelle scuole: laboratori, schede didattiche, giochi come MACMAP, percorsi PCTO (Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento).
- Eventi pubblici: festival scientifici, conferenze, incontri con cittadini.
- Comunicazione digitale: blog, social media, video divulgativi, podcast.
- Contrasto alle fake news: spiegazione chiara dei dati e smontaggio delle notizie false.
- Citizen science: progetti che coinvolgono direttamente i cittadini nella raccolta di dati (ad esempio osservazioni meteorologiche o ambientali).



## Nota per gli insegnanti

Un buon punto di discussione con i ragazzi è chiedere quali divulgatori scientifici seguono (su YouTube, Instagram, TikTok o podcast) e confrontare i linguaggi usati.



Anche nei secoli passati gli scienziati hanno cercato di condividere le proprie scoperte, sebbene con strumenti molto diversi da quelli attuali.

### Modalità storiche

- Manoscritti illustrati: circolavano tra studiosi e mecenati.
- Libri a stampa: dopo l'invenzione della stampa, le opere scientifiche divennero più diffuse, ma restavano costose e accessibili a pochi.
- Illustrazioni: incisioni e tavole permettevano di mostrare piante, animali e fenomeni naturali anche a chi non poteva vederli di persona.

### L'esempio di Marsili

Nel 1706, Luigi Ferdinando Marsili fece stampare tavole illustrate dei coralli osservati nel Golfo del Leone. Li interpretò come piante (errore comune all'epoca), ma le sue immagini contribuirono a diffondere conoscenza e a stimolare nuove ricerche.



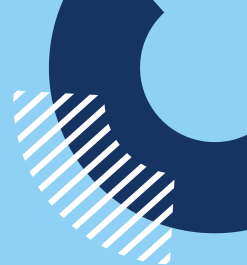
#### Nota per gli insegnanti

È interessante proporre un parallelo: ieri la scienza si comunicava attraverso incisioni e tavole stampate, oggi con video 3D, animazioni e immagini satellitari. Entrambi i linguaggi hanno avuto lo stesso scopo: rendere visibile e comprensibile ciò che non è immediatamente osservabile.

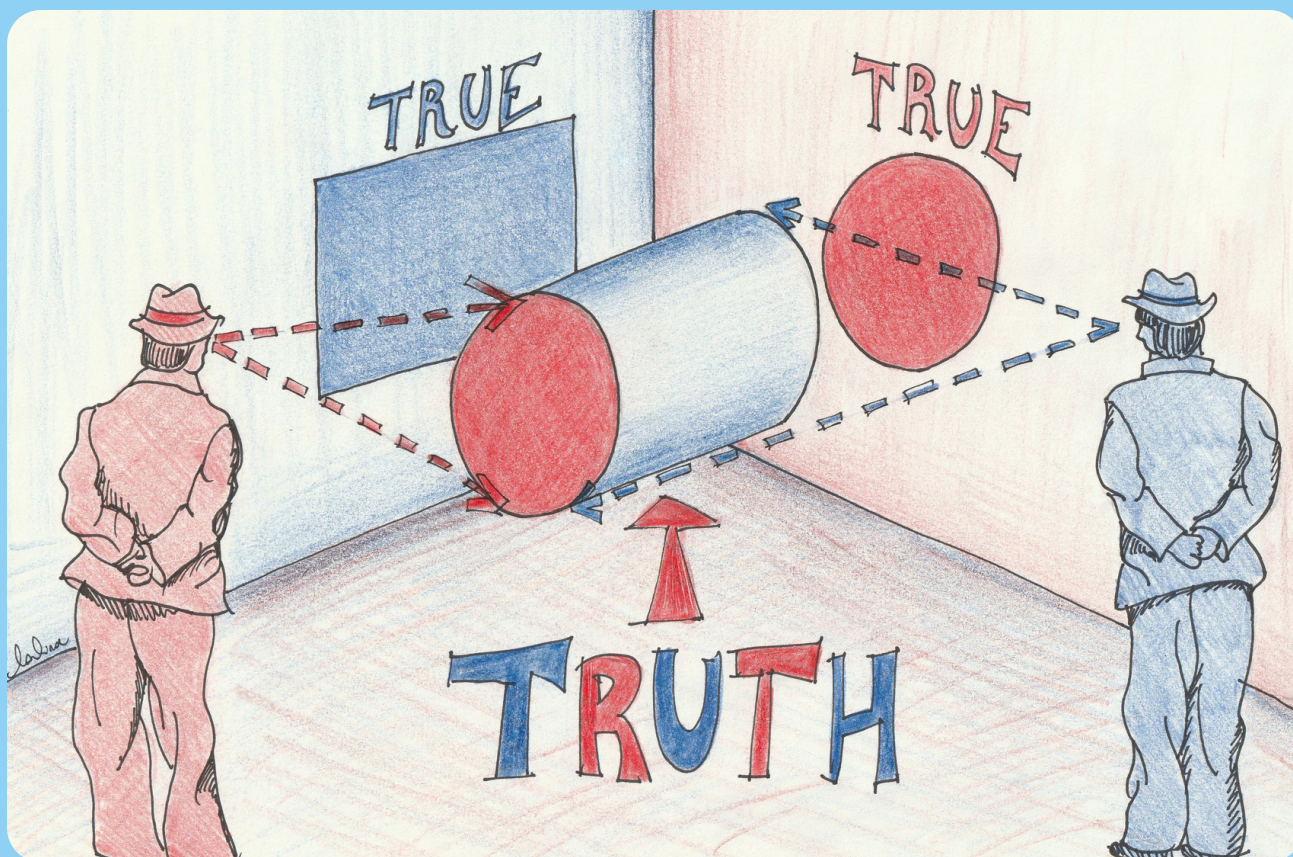


# IL PROGETTO MACMAP





Questo gioco si ispira a un progetto di ricerca reale: MACMAP (A Multidisciplinary Analysis of Climate change indicators in the Mediterranean And Polar regions), coordinato dall'INGV e attivo tra il 2020 e il 2025.



## Obiettivi del progetto

Studiare i cambiamenti climatici in due aree chiave del pianeta:

- il Mar Mediterraneo, bacino semi-chiuso particolarmente sensibile e densamente abitato;
- le regioni polari (in particolare l'Artide), dove i cambiamenti climatici sono più rapidi e amplificati.
- Integrare competenze diverse: oceanografia, geofisica, geochimica, modellistica, storia della scienza.
- Costruire scenari futuri per aiutare società e istituzioni ad affrontare le conseguenze del riscaldamento globale.



## Tematiche affrontate

### Riscaldamento globale e oceani

- Studio dell'innalzamento delle temperature e dei suoi effetti su correnti e acidificazione marina.
- Analisi della capacità dell'oceano di assorbire CO<sub>2</sub> e calore in eccesso.

### Innalzamento del livello del mare

- Ricostruzione delle variazioni dal passato al presente attraverso dati geologici, storici e osservazioni strumentali.
- Proiezioni future basate su modelli numerici.

### Oceano profondo e atmosfera

- Analisi degli effetti del riscaldamento sugli strati profondi del mare e sulle dinamiche atmosferiche.
- Studio delle interazioni oceano-atmosfera, fondamentali per il clima mediterraneo.

### Recupero e analisi di dati storici

- Utilizzo di fonti come l'*Histoire physique de la mer* di Luigi Ferdinando Marsili (1725) per confrontare osservazioni antiche con dati moderni.

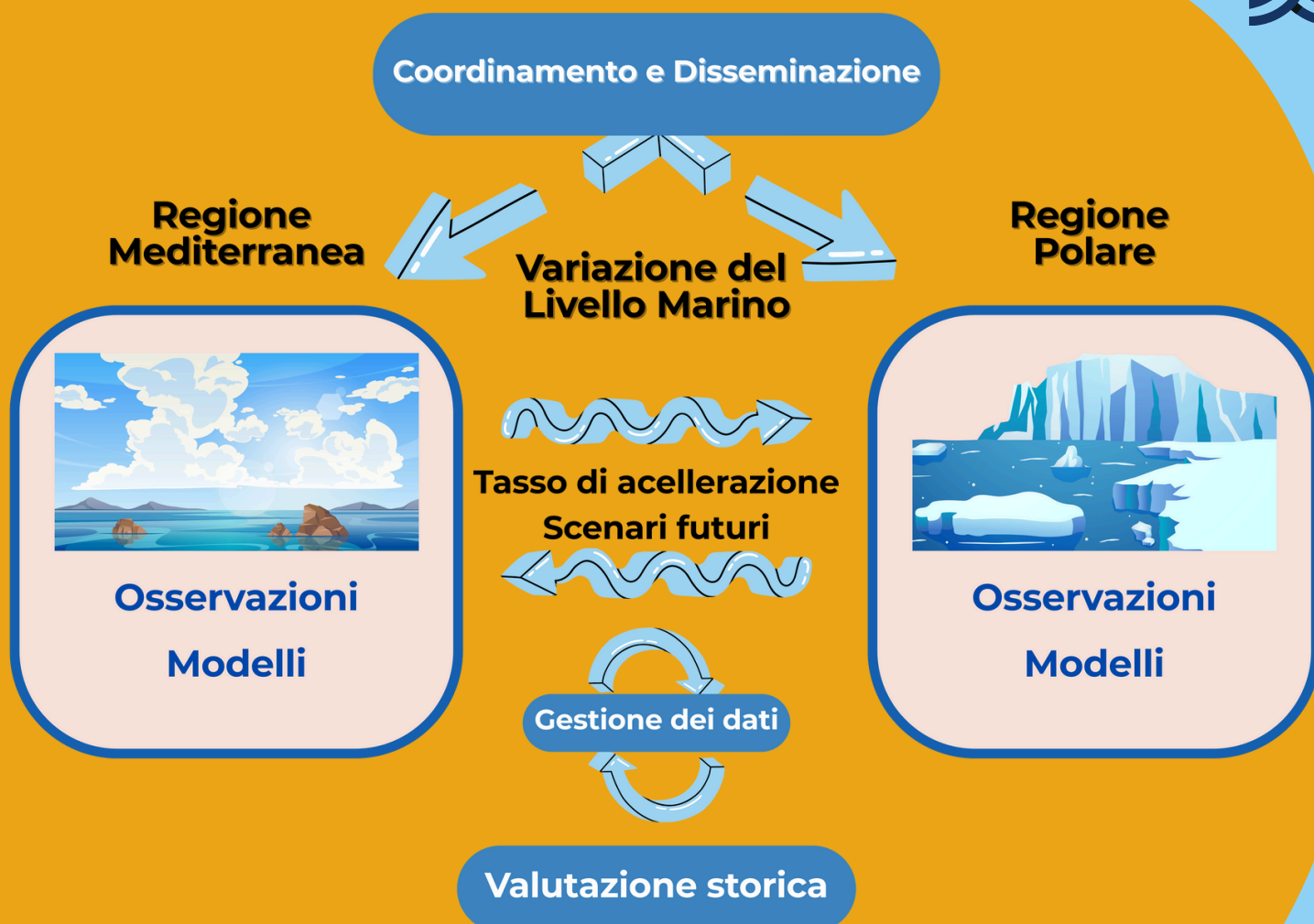


## La struttura del progetto

Il progetto è stato organizzato in Work Package (WP), ciascuno con compiti specifici:

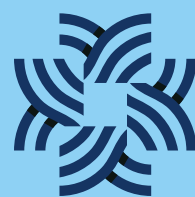
- **WP0:** coordinamento e attività di divulgazione e formazione.
- **WP1:** gestione dei dati.
- **WP2:** studio della variazione del livello marino.
- **WP3:** osservazioni nel Mediterraneo e nei laghi vulcanici.
- **WP4:** sviluppo di modelli numerici per simulare scenari climatici futuri.
- **WP5:** osservazioni in Artide e regioni polari.
- **WP6:** analisi delle fonti storiche e ricostruzione del clima passato.

Questa suddivisione riflette il carattere **multidisciplinare** della ricerca, che ha coinvolto decine di ricercatori con competenze diverse.



## Risultati attesi

- Miglioramento delle conoscenze sugli indicatori del cambiamento climatico nel Mediterraneo e nelle regioni polari.
- Elaborazione di scenari futuri per valutare rischi e impatti sulle società umane e sugli ecosistemi.
- Produzione di articoli scientifici e materiali divulgativi, tra cui il gioco MACMAP, come strumento educativo per avvicinare i giovani alla scienza del clima.



### Nota per gli insegnanti

Il progetto MACMAP dimostra come la scienza sia un lavoro di squadra internazionale, multidisciplinare e a lungo termine. Il gioco non è solo un passatempo: è una simulazione semplificata ma realistica del lavoro quotidiano dei ricercatori. Guidando i ragazzi attraverso il percorso di gioco, li si porta dentro la logica della scienza: osservare, analizzare, discutere, condividere e comunicare.



# COME NASCE IL GIOCO

*Il gioco MACMAP – Ricercatori in team per lo studio del clima, è stato sviluppato attraverso due Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento (PCTO), realizzati con un Liceo Scientifico (a.s. 2022/23 e 2023/24) e un Liceo Artistico (2023/24).*

## **Primo anno** (Liceo Scientifico)

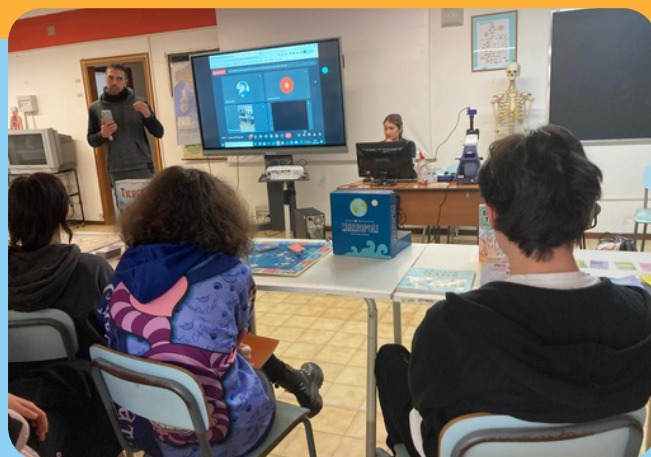
*Le ragazze e i ragazzi sono stati coinvolti in seminari e attività laboratoriali su cambiamenti climatici, oceanografia, risorse rinnovabili, storia della scienza, meccaniche dei giochi da tavolo e sul progetto MACMAP. Le attività si sono concluse con sessioni di brainstorming guidate dai ricercatori, che hanno posto le basi per i contenuti e la struttura del gioco.*

## **Secondo anno** (Liceo Artistico e Liceo Scientifico)

*Le due scuole hanno lavorato in sinergia, con incontri online e test a distanza. Il Liceo Artistico ha curato lo sviluppo delle illustrazioni (carte, tabellone, gettoni, pedine, plance di gioco), mentre il Liceo Scientifico ha elaborato le domande da inserire nel gioco.*

*Il supporto delle e degli insegnanti è stato fondamentale per indirizzare il lavoro e rispettare le scadenze. Le ricercatrici e i ricercatori hanno poi integrato tutto il materiale, apportato gli aggiustamenti necessari e realizzato il gioco e questa guida di supporto.*

*Durante il 2024 e il 2025 il gioco è stato testato in diverse manifestazioni pubbliche (Lucca Comics, Play – Festival del Gioco di Bologna, World Ocean Day, Notte dei Ricercatori), ed è stato ulteriormente migliorato grazie ai commenti dei partecipanti.*





# CHI HA PARTECIPATO

Il gioco nasce da un'idea di Marina Locritani e dal lavoro congiunto di molte persone che hanno contribuito alle diverse fasi del progetto.

## Seminari formativi

- Marina Locritani, Antonio Guarnieri, Daniele Melini, Anita Grezio, Sara Garvani (INGV); Silvia Merlino, Marco Bianucci (CNR-ISMAR); Luca Rossi (LudoStoria).

## Regolamento

- Marina Locritani, Sara Garvani, Daniele Melini, Anita Grezio, Antonio Guarnieri, Spina Cianetti, Elena Sassi (INGV); Silvia Merlino (CNR-ISMAR); Neva Besker (CINECA); insegnanti Manuela Policicchio, Giuditta Martinicchio, Maria Rosaria Saragosa, Manuela Magnaneschi, Federico Saladino, Maria Maccarone, Simona Rita Domenica Sanfilippo, Annalaura Gentili e studenti del Liceo Artistico Caravillani (classi 3E, 4E, 3D – a.s. 2023/24); Andrea Mecci e Luca Rossi (appassionati di giochi da tavolo); insegnanti Valeria Belloni, Davide Grande e studenti del Liceo Scientifico Parentucelli di Sarzana (classe 4E – a.s. 2023/24).

## Domande

- Marina Locritani, Sara Garvani, Daniele Melini, Anita Grezio, Spina Cianetti, Antonio Guarnieri, Damiano Delrosso, Elena Sassi, Stefania Lepidi, Domenico Di Mauro (INGV); Silvia Merlino (CNR-ISMAR); Neva Besker (CINECA); insegnanti Valeria Belloni, Davide Grande e studenti del Liceo Scientifico Parentucelli (classe 4E – a.s. 2023/24).

## Contenuti artistici del gioco e della guida

- Studenti e studentesse delle classi 3E, 4E, 3D del Liceo Artistico Caravillani (a.s. 2023/24) e Carolina Borghi.

## Redazione e grafica del gioco:

- Marina Locritani (INGV).

## Redazione e grafica della guida:

- Lili Cafarella (INGV).

*Grazie!*