IL MARE



estratto da

SEGNALI DAL CLIMA FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

Settembre 2025

SEGNALI DAL CLIMA FVG
CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

IL MARE

7 LIVELLO DEL MARE NEL 2024: IL SECONDO PIÙ ALTO DELLA SERIE STORICA. E IN FUTURO?

11 TEMPERATURA DEL MARE NEL 2024: UN NUOVO RECORD

13 UN MEDITERRANEO SEMPRE PIÙ CALDO: GLI EFFETTI SUL MARE E SULL'ATMOSFERA

"Segnali dal Clima in FVG" è realizzato da:
ARPA FVG - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia *nell'ambito dell'attività di coordinamento e segreteria del "Gruppo di lavoro tecnico scientifico Clima FVG" istituito dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia con Decreto DC Difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, n. 2137 del 04/05/2022*

Coordinamento editoriale:
Federica Flapp, Fulvio Stel

Elaborazione grafica:
Michela Mauro

"Segnali dal Clima in FVG" ospita articoli firmati da vari autori: ciascun autore è responsabile per i contenuti (testi, dati e immagini) dei propri articoli ed esclusivamente di essi.

ARPA FVG, gli altri enti del "Gruppo di lavoro tecnico scientifico Clima FVG" e i singoli autori non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

Ove non diversamente specificato, le immagini sono state fornite dagli autori dei diversi contributi, che se ne assumono la responsabilità, o sono tratte da:
https://pixabay.com/it/
https://www.google.com/maps
https://climatevisual.org
https://unsplash.com/it
https://www.pexels.com/it-it/
https://www.flickr.com

La foto di copertina è di Emanuele Esposito

ARPA FVG
Via Cairoli, 14 - 33057 Palmanova (UD)
Tel +39 0432 922 611 - Fax +39 0432 922 626
www.arpa.fvg.it
https://x.com/arpafvg
https://www.instagram.com/arpafvg/
https://www.youtube.com/channel/UCd04ue_5J9nkZzuTet2lSrg
https://www.linkedin.com/company/arpa-fvg/posts/?feedView=all
https://www.facebook.com/arpafvg/

Questo prodotto è rilasciato con licenza Creative Commons - Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY 4.0):
Può essere quindi utilizzato citando la fonte, nel rispetto delle condizioni qui specificate:
informazioni generali https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it
licenza https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.it



Come citare questa pubblicazione:
Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG. (ARPA FVG, 2025)

Segnali dal Clima

Come sta cambiando il clima in Friuli Venezia Giulia e come cambierà in futuro? Con quali effetti su ambiente, economia e società? Quali strumenti e conoscenze abbiamo a disposizione, nella nostra regione, per agire sulle cause dei cambiamenti climatici e per ridurne gli impatti? Come si stanno attivando le istituzioni, la società, gli enti scientifici e di ricerca?

A queste domande, anno dopo anno, cerca di rispondere *Segnali dal clima in FVG*, una pubblicazione divulgativa che racconta i cambiamenti climatici partendo da un'ottica locale e regionale e affrontando questo grande tema da tre prospettive: CAMBIAMENTI, IMPATTI, AZIONI.

Il 2024 è stato l'anno più caldo mai registrato in Friuli Venezia Giulia, come anche a livello globale: un record che si inserisce in una tendenza climatica ben evidenziata dai dati e che proseguirà in futuro. Per far fronte ai cambiamenti del clima e alle loro molteplici implicazioni, nel 2025 la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha avviato il percorso per elaborare LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG: gli strumenti per pianificare, con un approccio integrato e innovativo, le azioni regionali per la mitigazione e per l'adattamento ai cambiamenti climatici. L'edizione 2025 dei *Segnali* si apre quindi con una sezione che illustra questo percorso, che si svilupperà con la partecipazione dei diversi attori del territorio e della cittadinanza. È quindi fondamentale promuovere la conoscenza e la consapevolezza di tutta la popolazione riguardo a questi temi.

Attraverso le pagine dei *Segnali*, gli esperti degli enti che compongono il Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG raccontano e spiegano i diversi eventi, fenomeni e attività collegati ai cambiamenti climatici, mettendo a disposizione le loro conoscenze con l'obiettivo di renderle accessibili e interessanti per tutta la cittadinanza. Come? Traducendo le informazioni tecnico-scientifiche in un linguaggio comprensibile e utilizzando esempi, immagini, infografiche che le rendono più chiare e immediate.
Ma rendere più semplici e accessibili argomenti complessi non significa banalizzarli: attraverso la lettura di *Segnali dal clima in FVG* il lettore può rendersi conto di come tutti gli elementi - i cambiamenti dei diversi fattori climatici, le implicazioni per i vari sistemi naturali e settori socio-economici, le risposte che possiamo mettere in campo - siano interconnessi. E di come ciò che avviene nella nostra regione sia collegato a ciò che accade su scala planetaria.

"Capire le connessioni per affrontare i cambiamenti" diventa quindi il filo conduttore che ci accompagna nel percorso di lettura di questa terza edizione dei *Segnali*, che esplora alcune nuove tematiche: IL VERDE, nelle sue diverse declinazioni; la FAUNA SELVATICA; la SALUTE UMANA. Quest'ultima è tema centrale della sezione NOI E IL CLIMA, che quest'anno si arricchisce anche di nuovi contributi sulla psicologia ambientale, l'alimentazione sostenibile e i consumi energetici futuri per climatizzare le nostre case. Tema già presente nelle precedenti edizioni è quello delle acque interne, che viene qui sviluppato con particolare riferimento alla VITA NEI FIUMI.

Nell'intero percorso di lettura, ritroviamo più volte alcuni concetti e principi trasversali, fondamentali per uno sviluppo climaticamente resiliente: i servizi ecosistemici, la naturalità e connettività degli habitat, la necessità di affrontare con approcci integrati la crisi climatica che sta diventando sistemica.

Capisaldi di questo progetto editoriale rimangono le sezioni dedicate a IL METEO E IL CLIMA, I GHIACCIAI e IL MARE, che ogni anno forniscono aggiornamenti sugli andamenti di ciascun settore grazie alle serie storiche di dati analizzate dagli esperti, a cui si aggiungono nuovi approfondimenti.

Gli articoli di *Segnali dal Clima in FVG* sono il risultato del lavoro di decine di autori appartenenti agli enti del Gruppo di lavoro Clima FVG, che vi contribuiscono su base volontaria: perciò di anno in anno variano i temi generali e gli aspetti specifici che vengono esplorati e messi in evidenza. Ma *Segnali dal clima in FVG* non "invecchia" rapidamente: rimangono quindi a disposizione online le edizioni precedenti e tutta la ricchezza delle tematiche esplorate e degli argomenti trattati.

Questo impegno divulgativo condiviso ha ricevuto un importante riconoscimento internazionale, vincendo l'*EMS 2025 Outreach & Communication Award*, il premio per la sensibilizzazione e la comunicazione attribuito dalla European Meteorological Society.

Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG

L'ABC DEL CLIMA

I box o le pagine a sfondo arancione spiegano termini e concetti specifici utilizzati nell'articolo, fornendo le informazioni di base necessarie per una piena comprensione.

Lo sfondo arancione evidenzia anche i MINI-RIASSUNTI inseriti nella prima pagina di ciascun articolo.

APPROFONDIMENTI

I box o le pagine a sfondo azzurro contengono ulteriori informazioni sull'argomento, esempi specifici, contenuti extra e spiegazioni tecniche per chi sia interessato a una lettura più approfondita.

CONSIGLI PRATICI

I box o le pagine a sfondo verde propongono suggerimenti sui comportamenti che ciascuno può adottare a livello personale per adattarsi a cambiamenti climatici e/o ridurre le emissioni di gas serra.

GRUPPO DI LAVORO TECNICO-SCIENTIFICO CLIMA FVG

Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico “Clima FVG” istituito dalla Regione autonoma Friuli Venezia Giulia nel 2022 riunisce le eccellenze tecniche e scientifiche presenti in FVG, in grado di fornire all’amministrazione regionale e a tutti gli enti e soggetti del FVG le conoscenze più aggiornate per affrontare i cambiamenti climatici sul nostro territorio.

Ad ARPA FVG è stato affidato il coordinamento del team, che è composto da esperti di ICTP, OGS, CNR, delle Università di Udine e di Trieste e della stessa Regione: gli stessi che avevano elaborato e pubblicato, nel 2018, il primo Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia.

Il Gruppo di lavoro Clima FVG innanzitutto facilita la condivisione e la collaborazione tra i soggetti esperti che in regione producono conoscenze tecnico-scientifiche sui cambiamenti climatici e sui loro effetti.

Fornisce quindi un orientamento e un supporto consultivo alla pianificazione regionale delle azioni per il clima e in particolare per l’adattamento ai cambiamenti climatici.

L’attività del gruppo Clima FVG favorisce poi il trasferimento delle conoscenze scientifiche ai tecnici che le applicheranno sul territorio.

E infine, tutti i componenti del gruppo di lavoro credono che sia indispensabile divulgare queste conoscenze alla cittadinanza, promuovendo quella che si chiama “climate literacy” ovvero l’alfabetizzazione climatica che mette ciascuno di noi in condizione di comprendere la propria influenza sul clima e l’influenza del clima su ciascuna persona e sulla società.

La redazione di “Segnali dal Clima in FVG” è un primo passo per dare concretezza a questo fondamentale obiettivo.

GLI ENTI E LE PERSONE

ARPA FVG – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente	Fulvio Stel (coordinatore) e Federica Flapp
CNR - Istituto di Scienze Marine di Trieste	Fabio Raicich
CNR - Istituto di Scienze Polari	Renato R. Colucci
ICTP - International Centre for Theoretical Physics di Trieste	Filippo Giorgi
OGS - Istituto nazionale di oceanografia e di geofisica sperimentale di Trieste	Cosimo Solidoro
Regione autonoma Friuli Venezia Giulia	Silvia Stefanelli
Università degli Studi di Trieste	Giovanni Bacaro
Università degli Studi di Udine	Alessandro Peressotti

IL MARE

estratto da

SEGNALI DAL CLIMA FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

notizie dal
GRUPPO DI LAVORO TECNICO SCIENTIFICO CLIMA FVG

Settembre 2025

IL MARE

Il nostro mare: sempre più alto e sempre più caldo

In questa sezione gli esperti illustrano alcuni effetti diretti dei cambiamenti climatici sul Mar Adriatico e sul Mediterraneo, fornendoci dati concreti e proiezioni per il futuro.

Nel 2024 a Trieste è stato registrato il secondo valore più alto del livello medio del mare dal lontano 1869: sebbene non si siano verificati eventi di “acqua alta”, il dato è un chiaro segnale di una tendenza ormai evidente, come ci illustra il primo articolo. La velocità di aumento del livello medio è quasi raddoppiata dal 1993, mentre gli scenari futuri dipendono dalle nostre azioni in merito alle emissioni di gas serra.

Il secondo articolo si concentra su un altro record preoccupante: la temperatura del mare. Il 2024 ha segnato un nuovo primato assoluto, con una temperatura media annua superiore ai 18 °C e picchi che hanno eguagliato il record storico di 30.8 °C. Un dato che conferma come il nostro mare stia diventando sempre più caldo.

L’ultimo articolo ci aiuta a comprendere le conseguenze di questo riscaldamento, analizzando gli effetti di un Mediterraneo sempre più caldo, che influisce non solo sulla vita marina ma anche sull’atmosfera, favorendo l’evaporazione e aumentando il rischio di eventi estremi.

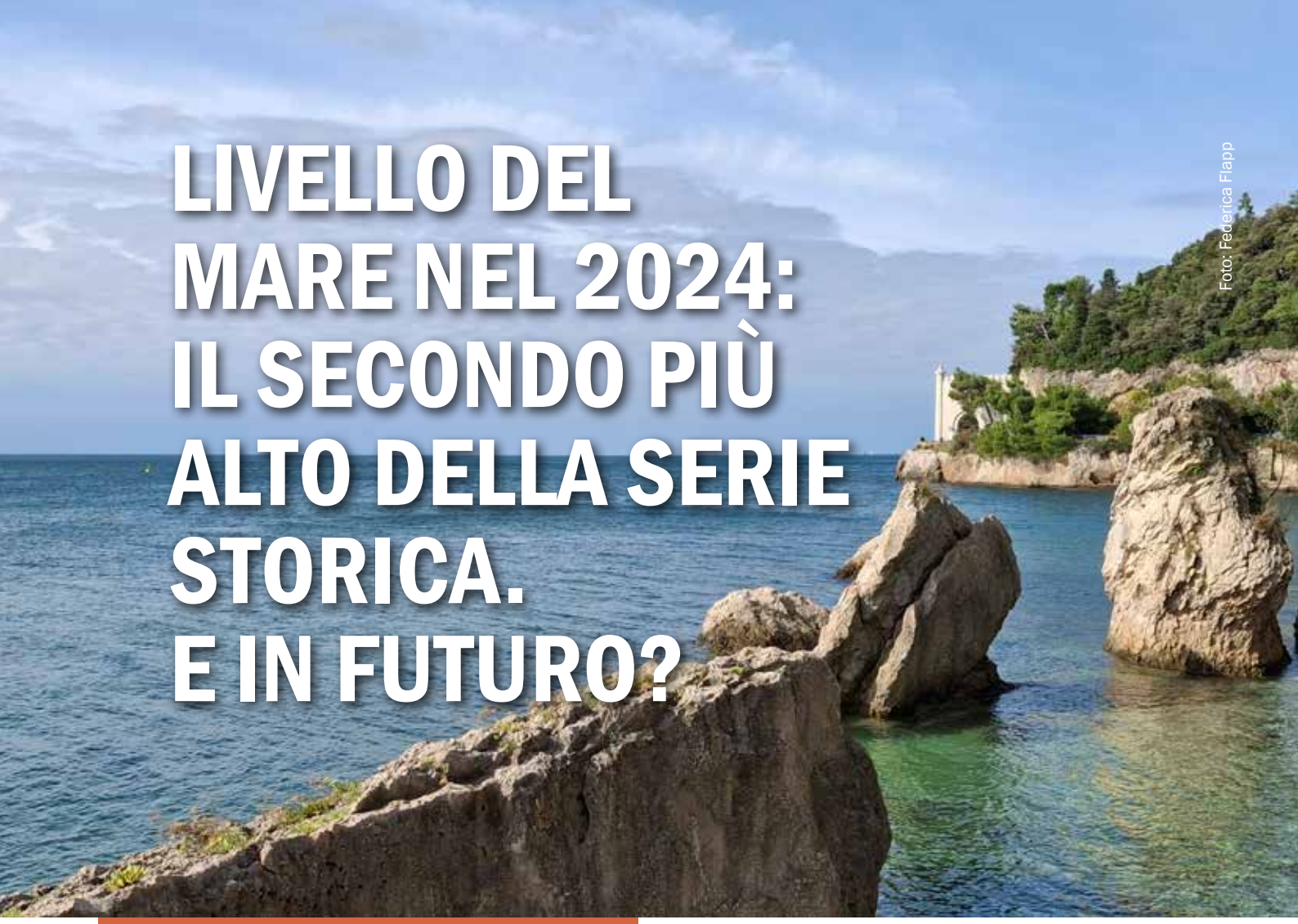


Foto: Federica Flapp

LIVELLO DEL MARE NEL 2024: IL SECONDO PIÙ ALTO DELLA SERIE STORICA. E IN FUTURO?

Nel 2024 a Trieste si è registrato il secondo valore più alto del livello medio del mare dal 1869 dopo il record del 2010, ma non sono stati osservati eventi di “acqua alta”.

Dal 1993 la velocità di aumento del livello medio è 3.1mm/anno, quasi doppia rispetto a quella stimata per il 20° secolo.

Il livello del mare in futuro aumenterà ancora: di quanto, dipende dagli scenari di emissioni dei gas serra.

Il riscaldamento atmosferico globale in corso è responsabile dell’aumento del livello medio del mare attraverso due meccanismi, cioè l’aumento del volume dell’Oceano per dilatazione termica e l’aumento della massa oceanica dovuto alla fusione dei ghiacci continentali. Durante il 20° secolo il livello medio globale è aumentato alla velocità di 1.5-2.0 mm/anno, ma durante gli ultimi 30 anni l’aumento ha raggiunto circa 3 mm/anno.

I dati della stazione mareografica di Trieste Molo Sartorio, attiva da oltre 150 anni e la più antica dell’Adriatico, confermano che l’andamento del livello medio dell’Adriatico segue quello medio globale. In particolare dal 1993 l’aumento è avvenuto alla velocità di 3.1 mm/anno.

IL LIVELLO DEL MARE A TRIESTE NEL 2024

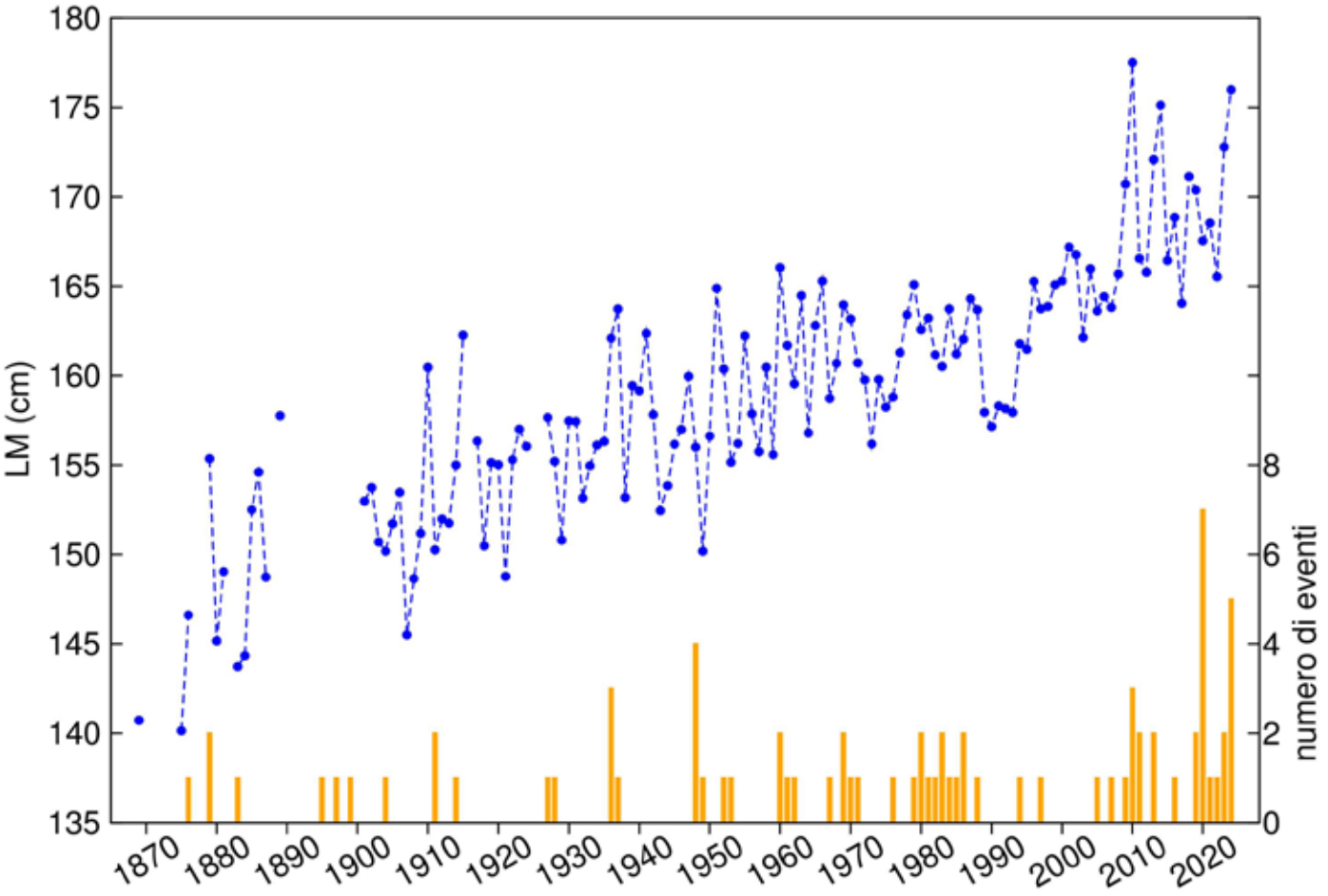
Al Molo Sartorio il livello marino viene misurato rispetto allo “Zero Istituto Talassografico”, che si trova 166.2 cm sotto lo Zero altimetrico dell’Istituto Geografico Militare Italiano.

Nel 2024 il livello è stato decisamente superiore alla norma fino a tutto ottobre. Il livello medio annuale è stato di 176.0 cm, cioè il secondo valore più alto dal 1869 dopo quello del 2010 (curva blu in figura).

Tra le conseguenze dell’aumento del livello medio si ha, in media, la crescente frequenza di eventi di “acqua alta”, dovuti a bassa pressione atmosferica e correnti di Scirocco lungo l’Adriatico, specie in autunno e inverno.

Questi eventi estremi provocano allagamenti e incrementano l’erosione costiera, anche a causa del forte moto ondoso che spesso li accompagna. L’aumento medio di frequenza di tali eventi non esclude le eccezioni come quella del 2024, che ne è stato privo: non sono state infatti osservate tracimazioni sopra il Molo Sartorio (istogramma arancione nella figura seguente). La principale ragione di questa assenza di eventi di “acqua alta” è che le profonde depressioni, con forti venti meridionali sull’Adriatico, sono state rare e relativamente deboli.

LIVELLO MEDIO ANNUALE DEL MARE ED EVENTI DI ACQUA ALTA A TRIESTE



Livello medio (LM) annuale dal 1869 al 2024 osservato a Trieste Molo Sartorio (curva blu); l’altezza è misurata rispetto alla zero mareografico.

Numero annuo di eventi di superamento del piano del molo Sartorio (istogramma arancione). (Dati: CNR-ISMAR, Trieste.)

COME POTREBBE EVOLVERE IL LIVELLO MEDIO A TRIESTE DURANTE IL 21° SECOLO?

La NASA ha recentemente messo a disposizione le proiezioni basate sugli scenari adottati nel Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (sealevel.nasa.gov/data_tools/17/; ipcc.ch/assessment-report/ar6/).

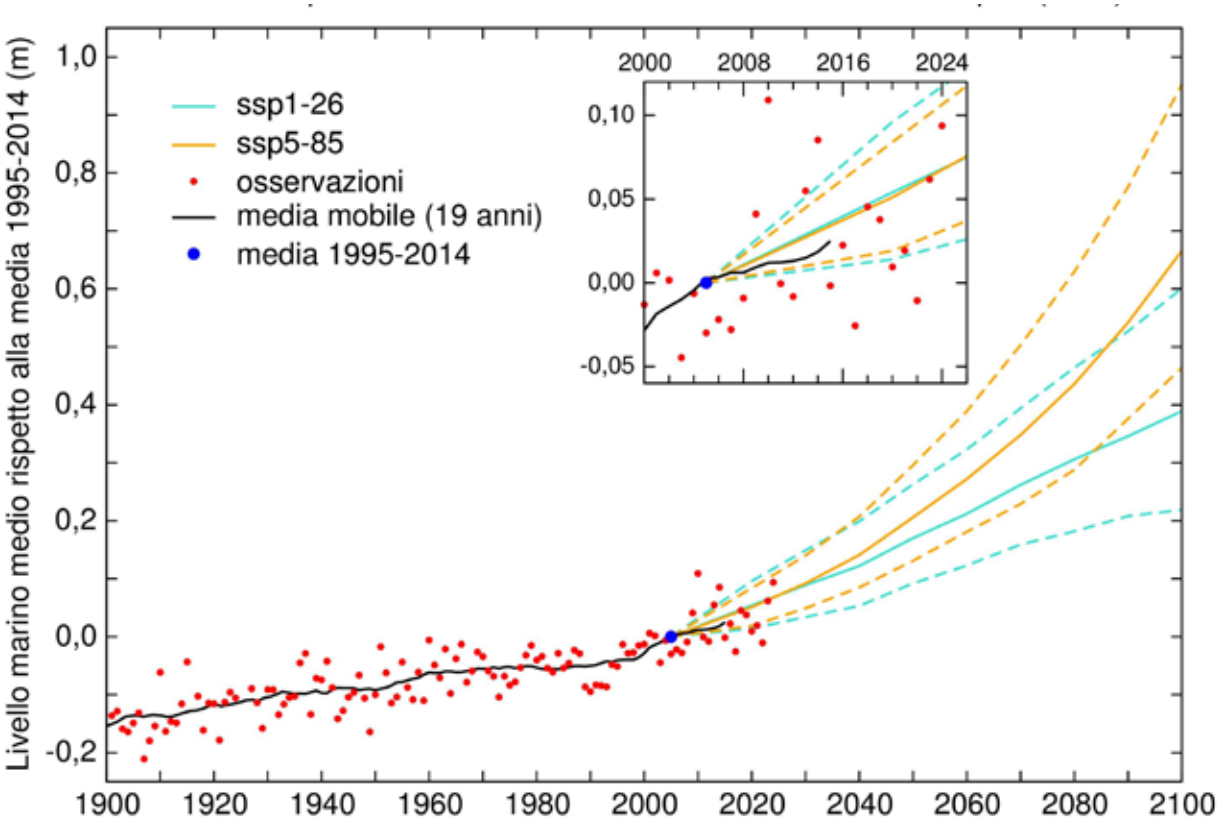
Il report fornisce proiezioni del livello medio del mare relative al periodo 1995-2014 per cinque diversi scenari, che dipendono dall'evoluzione della temperatura atmosferica media globale e della politica relativa alle emissioni di gas serra. I dettagli su tutti gli scenari sono disponibili in ipcc.ch/assessment-report/ar6/, mentre qui ci limitiamo a presentare i risultati in due scenari estremi.

Lo scenario più ottimistico è chiamato SSP1-2.6: esso contempla il contenimento del riscaldamento globale nel 2100 al di sotto di 2.0 °C sopra la media del periodo 1850-1900 e implica zero emissioni nette di anidride carbonica nella seconda metà del secolo. Lo scenario più pessimistico è chiamato SSP5-8.5 e in sostanza non prevede alcuna politica di contenimento; in questo caso il riscaldamento globale si colloca tra 3.3 e 5.7 °C.

La figura seguente riporta le medie annuali del livello osservate a Trieste, normalizzate in modo che la media 1995-2014 sia zero, e le proiezioni nei due scenari descritti sopra. Alle osservazioni è stata sovrapposta una media mobile, che consente di eliminare la variabilità di corto periodo. Ogni proiezione consiste di tre curve: quella continua rappresenta la media e quelle tratteggiate definiscono l'intervallo di incertezza corrispondente a una probabilità del 66%. Fino circa al 2030 le proiezioni sono quasi uguali, poi la loro differenza aumenta sempre più rapidamente. Rispetto alla media 1995-2014, nello scenario più ottimistico (SSP2.6) c'è una probabilità del 66% che nel 2100 il livello medio sia più alto tra 22 e 60 cm, in media 39 cm, e nello scenario più pessimistico (SP8.5) tra 46 e 95 cm, in media 67 cm.

Confrontando osservazioni e proiezioni si può notare come la media mobile del livello osservato si collochi circa 1 cm sotto le proiezioni, comunque entro l'intervallo di incertezza.

LIVELLO MEDIO ANNUALE DEL MARE A TRIESTE: PASSATO E FUTURO



Livello medio annuale dal 1901 al 2024 osservato a Trieste Molo Sartorio (punti rossi; dati: CNR-ISMAR, Trieste), normalizzato al 1995-2014 (punto blu); media mobile su 19 anni (linea nera). Proiezioni dell'IPCC e bande di incertezza del 66% negli scenari SSP1-26 e SSP5-85. Il periodo 2000-2024 è ingrandito nell'inserto.

CONTA ANCHE LA SUBSIDENZA

L'andamento medio del livello marino osservato a Trieste è rappresentativo dell'Adriatico settentrionale e quindi anche delle aree costiere del Friuli Venezia Giulia. Tuttavia si deve tenere presente che, mentre il suolo a Trieste è relativamente stabile, quello delle aree lagunari è localmente soggetto a un significativo abbassamento per subsidenza. In questi casi, per un osservatore situato sulla costa, il livello medio marino manifesta un aumento più rapido.

Fabio Raicich
CNR-ISMAR

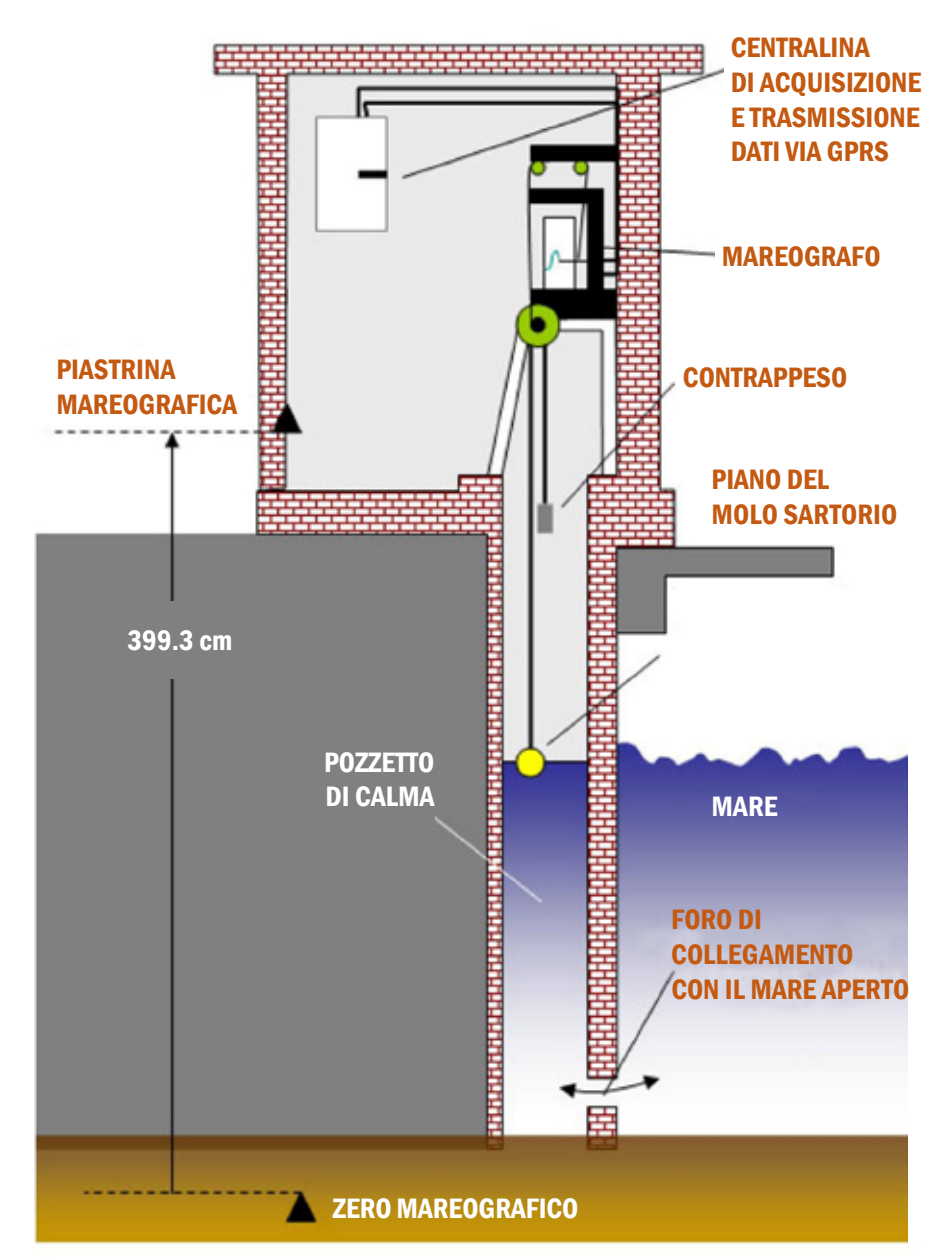
DOVE E COME VIENE MISURATO IL LIVELLO MARINO A TRIESTE?

La stazione mareografica della Sede di Trieste dell'Istituto di Scienze Marine del CNR è situata in una cabina sul lato nord-est del Molo Sartorio, nel porto di Trieste. La stazione è la più antica dell'Adriatico poiché le prime osservazioni mareografiche risalgono al 1859.

Al Molo Sartorio il livello marino viene misurato rispetto allo zero mareografico chiamato "Zero Istituto Talassografico", che si trova 166.2 cm sotto lo Zero altimetrico dell'Istituto Geografico Militare Italiano.

Attualmente la stazione include quattro mareografi. Uno, piezometrico, è collegato con la centrale operativa della Protezione Civile del FVG e trasmette i dati del livello ogni 30 minuti. Gli altri, due dei quali digitali e uno analogico, sono dotati di sensore a galleggiante e fanno parte della rete meteomarina del CNR-ISMAR di Trieste; la registrazione dell'altezza istantanea del livello avviene ogni minuto.

La principale funzione della cabina mareografica, oltre ad alloggiare la strumentazione, è quella di ospitare un pozzetto, che si apre sul pavimento ed è collegato al mare aperto tramite un foro, la cui sezione è pari a 1/400 della sezione orizzontale del pozzetto. In questo modo si ottiene la sufficiente attenuazione delle oscillazioni di alta frequenza causate dal moto ondoso, conservando quelle di più lungo periodo che sono rilevanti per la mareografia.



Sezione della cabina mareografica del Molo Sartorio (Trieste).

TEMPERATURA DEL MARE NEL 2024: UN NUOVO RECORD



Foto: Federica Flapp

Nel 2024 la temperatura del mare è stata quasi sempre sopra la norma.

Per la prima volta la temperatura media annua è stata superiore a 18 °C, segnando un record assoluto.

La temperatura istantanea ha uguagliato il record di 30.8 °C già osservato nel 2010 e in ben 12 giorni la temperatura ha toccato o superato i 30 °C.

La temperatura del mare rappresenta uno degli indicatori dell'evoluzione del clima. Dal 1899, sebbene con interruzioni, nel porto di Trieste sono disponibili osservazioni della temperatura del mare a 2 m di profondità. La scarsa profondità del bacino e il fatto che sia in gran parte circondato dal continente fa sì che le variazioni di temperatura siano fortemente influenzate dagli scambi di calore con l'atmosfera, specialmente su scale temporali fino a qualche settimana.

LA TEMPERATURA DEL MARE NEL 2024

La temperatura media annua del 2024 è stata di 18.4 °C, oltre 1.5 °C più alta della media del ventennio 2001-2020, e la più alta dell'intera serie storica disponibile, di cui la figura riporta il periodo dal 1934. Ha quindi battuto il precedente record segnato nel 2023. Tutti i mesi del 2024, specie nella prima parte dell'anno, sono stati notevolmente più caldi della norma.

Il 2024 ha fatto registrare il massimo storico di temperatura con 30.8 °C, come nel 2010, e ben 12 giorni con almeno 30 °C. In precedenza, la soglia dei 30 °C era stata raggiunta solo nel 1957 e nel 2010.

Anche la temperatura minima, di 10.2 °C, ha uguagliato il record del valore minimo annuale più alto, registrato nel 2020.

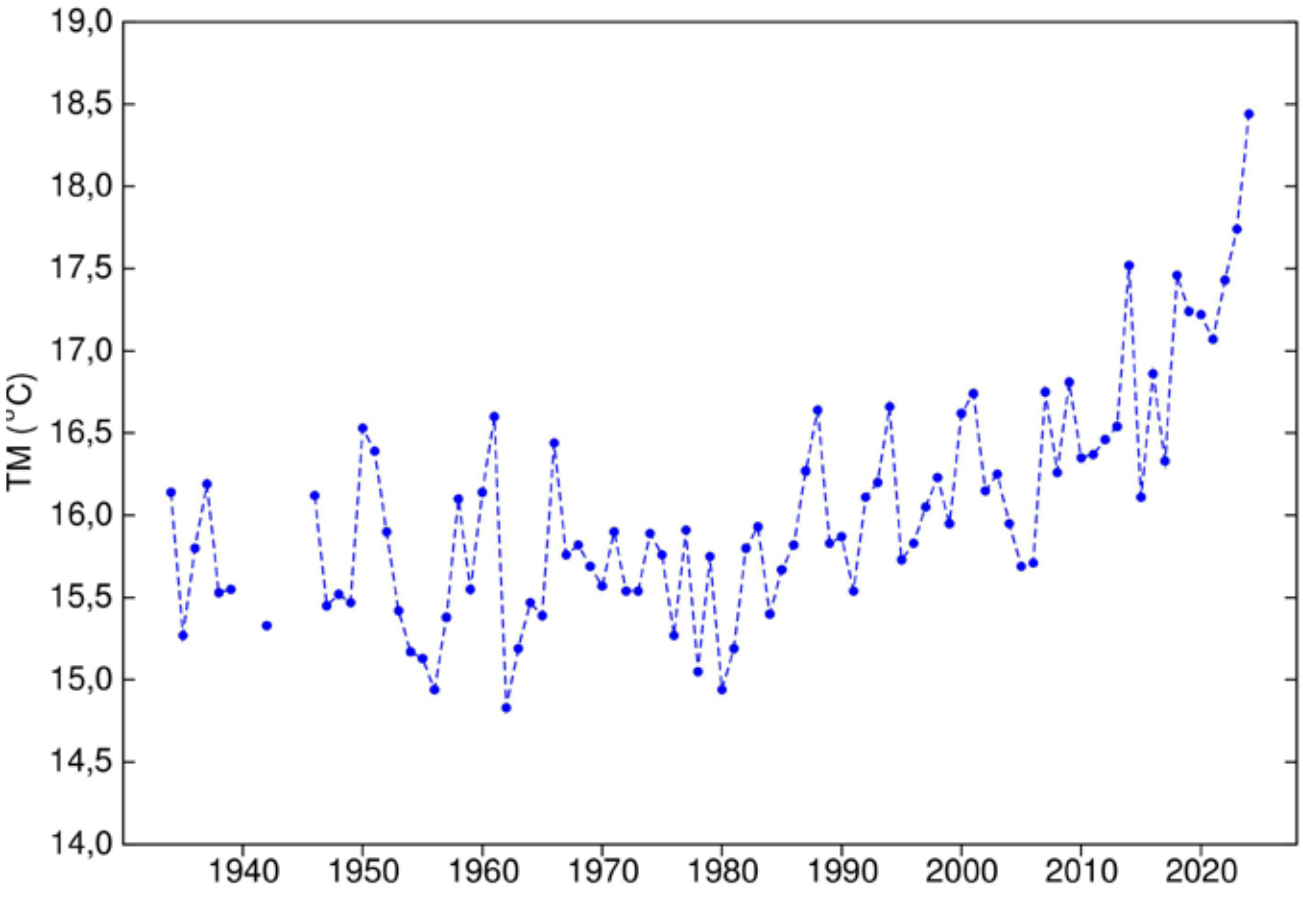
UN RISCALDAMENTO PROGRESSIVO, SEMPRE PIÙ VELOCE

La figura mette in evidenza il notevole recente riscaldamento del mare. Si noti che per il settimo anno consecutivo, cioè dal 2018, la media annua è stata superiore a 17 °C, fatto verificatosi in precedenza solo nel 2014.

Dal 2000 la velocità con cui è aumentata la temperatura è pari a 0.7 °C per decennio, corrispondente a un aumento complessivo di 1.6 °C in 24 anni.

Fabio Raicich
CNR-ISMAR

TEMPERATURA MEDIA ANNUALE DEL MARE A TRIESTE



Temperatura media annuale (TM) dal 1934 al 2024, osservata a 2 m di profondità. (Dati: CNR-ISMAR, Trieste e ARPA FVG - RAFVG).

UN MEDITERRANEO SEMPRE PIÙ CALDO: GLI EFFETTI SUL MARE E SULL'ATMOSFERA



Foto:Arturo Puccillo

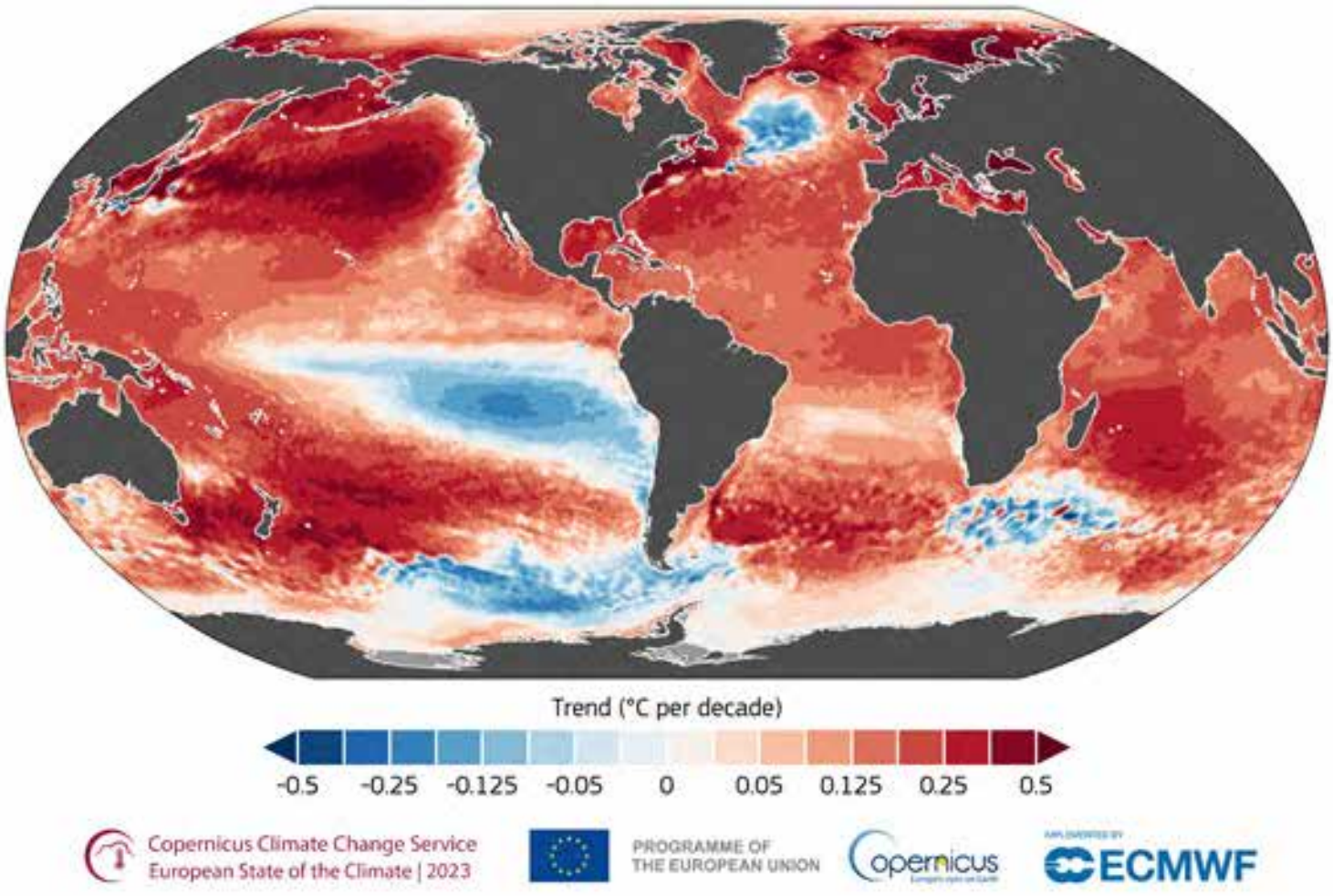
Il riscaldamento del mare sta accelerando, con il Mediterraneo tra le aree più colpite.

Questo fenomeno influisce sulla vita marina, ostacolando la circolazione delle acque e intensificando le ondate di calore. Inoltre, mari più caldi favoriscono evaporazione e cicloni, aumentando il rischio di precipitazioni estreme e uragani mediterranei.

Il mare è sempre più caldo. Negli ultimi 30 anni, periodo in cui abbiamo potuto monitorare la temperatura superficiale del mare attraverso una combinazione di dati satellitari e misurazioni dirette in mare, le registrazioni di questa variabile indicano un aumento inequivocabile.

Le analisi effettuate dal programma dal Servizio Ambiente Marino del programma europeo Copernicus (cui anche OGS contribuisce) permettono di affermare che nel corso di queste decadi l'oceano superficiale si è riscaldato di 0.4 °C ogni 10 anni, e quindi di più di un grado nel trentennio, che l'estensione dei ghiacci artici si è ridotta di più di 2 milioni di chilometri quadrati e che il livello del mare si è alzato di circa 10 cm. A fronte di questi valori medi, relativi a tutto il pianeta, alcune zone registrano cambiamenti più alti e altre minori.

ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE PER IL PERIODO 1993-2023



Distribuzione spaziale della velocità di riscaldamento osservata nello strato superficiale dell'oceano durante gli ultimi 30 anni.

Dati: ESA CCI SST v3.0 Periodo di riferimento: 1991-2020 Crediti: C3S/ECMWF.

IL MEDITERRANEO: UN "*HOT SPOT*" CLIMATICO

Se calcoliamo la velocità di riscaldamento (trend) e analizziamo una mappa (vedi figura sopra) di come tale velocità varia da zona a zona, è possibile notare come le zone rosse siano molto più ampie di quelle blu, a illustrare come quasi tutto l'oceano globale si sia riscaldato, e anche che il Mar Mediterraneo è una delle aree che si sono riscaldate più velocemente, insieme al Baltico, al Mar Nero, parti dell'oceano artico e del Pacifico. Per questo si dice che il Mar Mediterraneo è un '*hot spot*' climatico.

GLI IMPATTI SU STRATIFICAZIONE, CIRCOLAZIONE E VITA MARINA

L'aumento di temperatura superficiale del mare ha effetti rilevanti sulla dinamica delle masse oceaniche. Infatti la differenza di temperatura fra fondo e superficie può causare fenomeni di stratificazione che inibiscono i fenomeni di mescolamento verticale lungo la colonna d'acqua, o, nel periodo invernale, la formazione di acqua particolarmente densa, che (come spiegato nella edizione 2022 di "Segnali del Clima in FVG)"che origina la circolazione termoalina. Questi processi sono entrambi fondamentali per il mantenimento della vita marina.

Il riscaldamento del mare ha inoltre ovvi effetti diretti sugli organismi che si trovano esposti a temperature diverse da quelle per loro ottimali. In questo contesto è importante evidenziare come il riscaldamento debba essere considerato anche in relazione ai valori estremi, quali estati che diventano sempre più calde, e in cui molti organismi possono trovarsi in situazioni di forte difficoltà. È il caso delle ondate di calore, che sono sempre più frequenti, lunghe, intense, e capaci di raggiungere profondità maggiori. A solo titolo di esempio possiamo ricordare che il numero di ondate di calore marine è raddoppiato in confronto al 1982.

2024: TEMPERATURE RECORD PER IL MEDITERRANEO

In Mediterraneo il 2024 è stato un anno eccezionalmente caldo. Il grafico della figura a lato riporta, sovrapposti come i fili di una matassa, gli andamenti annuali di temperatura registrati -anno dopo anno- a partire dal 1979, insieme al valore medio (curva tratteggiata), in arancione l'anno 2023 e in rosso il 2024. Dal grafico appare chiaramente che l'estate 2024 è stata la più calda fra gli anni considerati, con valori giornalieri da metà luglio a fine settembre costantemente sopra i valori mai registrati nei 30 anni precedenti. La mappa in basso integra questa informazione mostrando la distribuzione spaziale delle anomalie di temperatura rispetto il valore tipico, e mostra che se tutto il Mediterraneo era da considerarsi in agosto molto più caldo di quanto non sia normalmente, le anomalie sono particolarmente alte intorno alla penisola italiana, e che il nord Adriatico era fra le zone più eccezionalmente calde, con valori di 5 o più gradi sopra le medie del periodo. L'impatto di questo evento sulle comunità marine è stato sicuramente rilevante, ma non è ancora stato completamente quantificato.

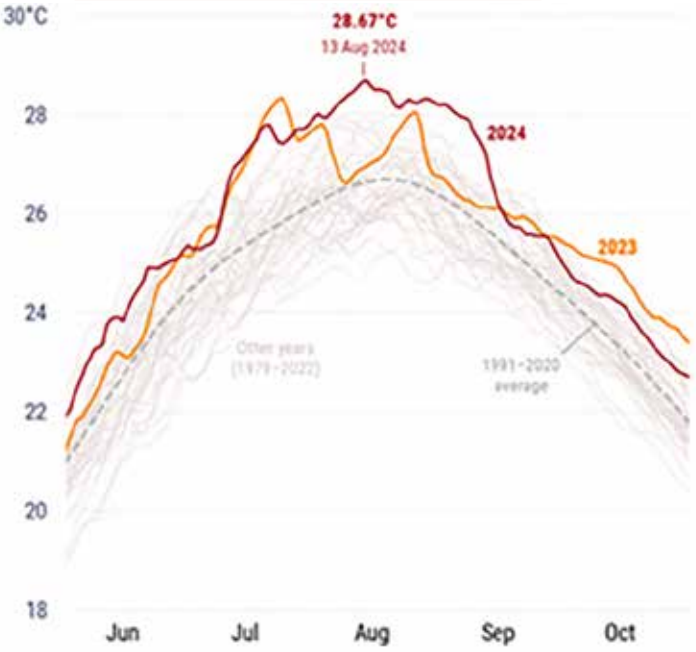
MARI PIÙ CALDI, PIOGGE PIÙ INTENSE

L'aumento della temperatura del mare non ha effetti solo sul mare, ma anche sul clima.

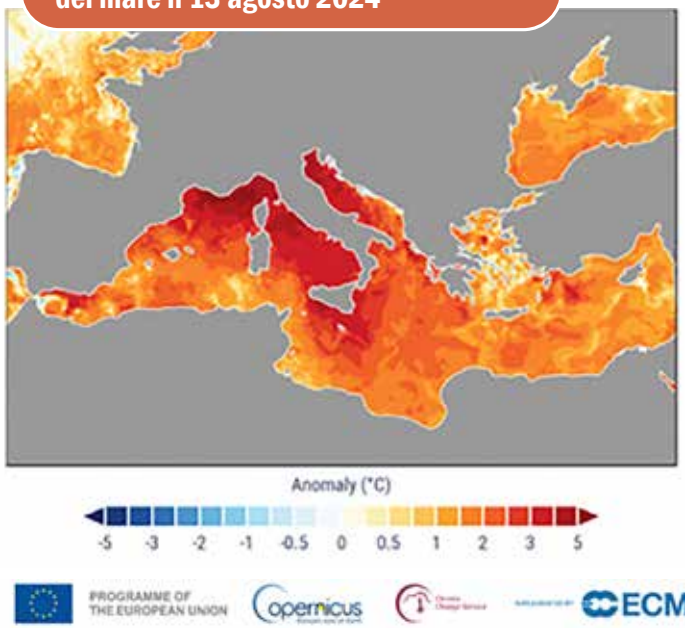
Il mare infatti è una componente essenziale del cosiddetto ciclo idrologico, ossia l'insieme di trasformazioni continue di circolazione dell'acqua fra acqueacque superficiali (fiumi e oceani), sotterranee (falde) e atmosfera (nuvole).

ONDATA DI CALORE MARINO NEL MAR MEDITERRANEO NELL'AGOSTO 2024

Temperatura superficiale del mare giornaliera in tutto il Mar Mediterraneo



Anomalia nella temperatura superficiale del mare il 13 agosto 2024



PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION · Copernicus · ECMWF

In alto l'andamento stagionale del valore medio della temperatura superficiale del Mediterraneo per i diversi anni dal 1979 a oggi, l'andamento medio (a tratteggio) e gli andamenti registrati per gli anni 2023 e 2024. In basso la differenza (anomali) fra il valore osservato nel il 13 agosto 2024 nelle diverse aree del Mediterraneo e i valori tipici per le stesse aree. L'insieme dei due grafici evidenzia che l'agosto 2024 è stato eccezionalmente caldo per tutto il Mediterraneo, ma in particolare per i mari italiani, e fra questi il nord Adriatico.

Dati: C3S Temperatura superficiale del mare e del ghiaccio marino Periodo di riferimento 1911-2020 Credit: C3S/ECMWF/DMI.



Foto:Arturo Puccillo

Possiamo immaginare che l'oceano sia un grande serbatoio di acqua (salata) a cielo aperto, da cui evaporano ingenti quantità di acqua, che nel processo di evaporazione diventa vapore di acqua dolce. Il vapore sale nell'atmosfera, viene trasportato dai venti e quando si trova in determinate condizioni di pressione e di temperatura condensa formando nubi e precipitazioni piovose o nevose che riportano l'acqua al mare, direttamente se le precipitazioni si verificano sopra i mari, o indirettamente attraverso i fenomeni di ruscellamento che alimentano fiumi e acquiferi quando le precipitazioni si verificano sulla terra emersa.

Risulta quindi evidente che, che pur non essendovi una corrispondenza geografica esatta fra il dove avviene l'evaporazione e dove avviene la precipitazione, l'intensità dei fenomeni piovosi è in media pari alla intensità dei fenomeni di evaporazione. A periodi eccezionalmente caldi, cui corrisponde un'evaporazione particolarmente intensa, devono corrispondere precipitazioni complessivamente più abbondanti. Se tali precipitazioni vengo, per qualche motivo, concentrate in aree e periodi limitati, diventano eccezionalmente intense.

CICLONI MEDITERRANEI

La grande massa d'acqua del mar Mediterraneo gioca un ruolo fondamentale nella dinamica atmosferica della nostra regione, in quanto rappresenta una sorgente di energia e di umidità per i moti atmosferici. Di recente l'attenzione della ricerca scientifica si è focalizzata su determinare in che misura il riscaldamento delle acque mediterranee influenzi la dinamica dei sistemi meteorologici che interessano la regione a diversa scala spaziale, come i cicloni mediterranei e le supercelle temporalesche.

I cicloni rappresentano una delle componenti più

importanti della circolazione atmosferica nella regione mediterranea e sono importanti nell'influenzare la distribuzione e l'intensità delle precipitazioni. Il loro passaggio può quindi produrre effetti benefici per determinati settori economici quali ad esempio l'agricoltura, ma può anche essere associato al verificarsi di eventi estremi quali mareggiate lungo le coste del Nord-Est, precipitazioni intense, tempeste di vento, alluvioni e frane. Con il termine generico ciclone si indica a volte un insieme variegato di sistemi atmosferici, anche con caratteristiche e dinamiche spesso differenti tra loro. Negli ultimi anni, comunque, l'interesse della comunità scientifica si è focalizzato anche su una specifica classe di cicloni mediterranei con effetti particolarmente intensi, detti *Medicanes*, contrazione di *Mediterranean Hurricanes*, ossia uragani mediterranei. Questi sistemi mostrano delle caratteristiche morfologiche simili ai cicloni tropicali, con un 'occhio' centrale circondato da una banda di nuvole a sviluppo convettivo.

AUMENTANO I *MEDICANES*

Negli ultimi decenni si è osservato un aumento della frequenza e intensità di questi fenomeni, e si ritiene che la causa principale sia legata ai cambiamenti climatici. Infatti, in presenza di una evaporazione più intensa, e anche considerando che un'atmosfera più calda può trattenere più vapore acqueo, l'atmosfera ha più umidità e quindi più energia, immagazzinata nel vapore acqueo come "calore latente". In presenza di condensazione del vapore, questa energia viene liberata, l'aria che riceve l'energia diventa più calda e leggera, e sale velocemente verso l'alto, generando correnti ascendenti anche forti, che possono provocare ulteriori condensazioni. Queste condizioni atmosferiche energetiche, dinamiche e instabili, sono condizioni favorevoli alla formazione di temporali, piogge intense, e in certe condizioni dei *Medicanes*. In sintesi, quindi, i *Medicanes* traggono energia dalle acque calde del Mediterraneo e

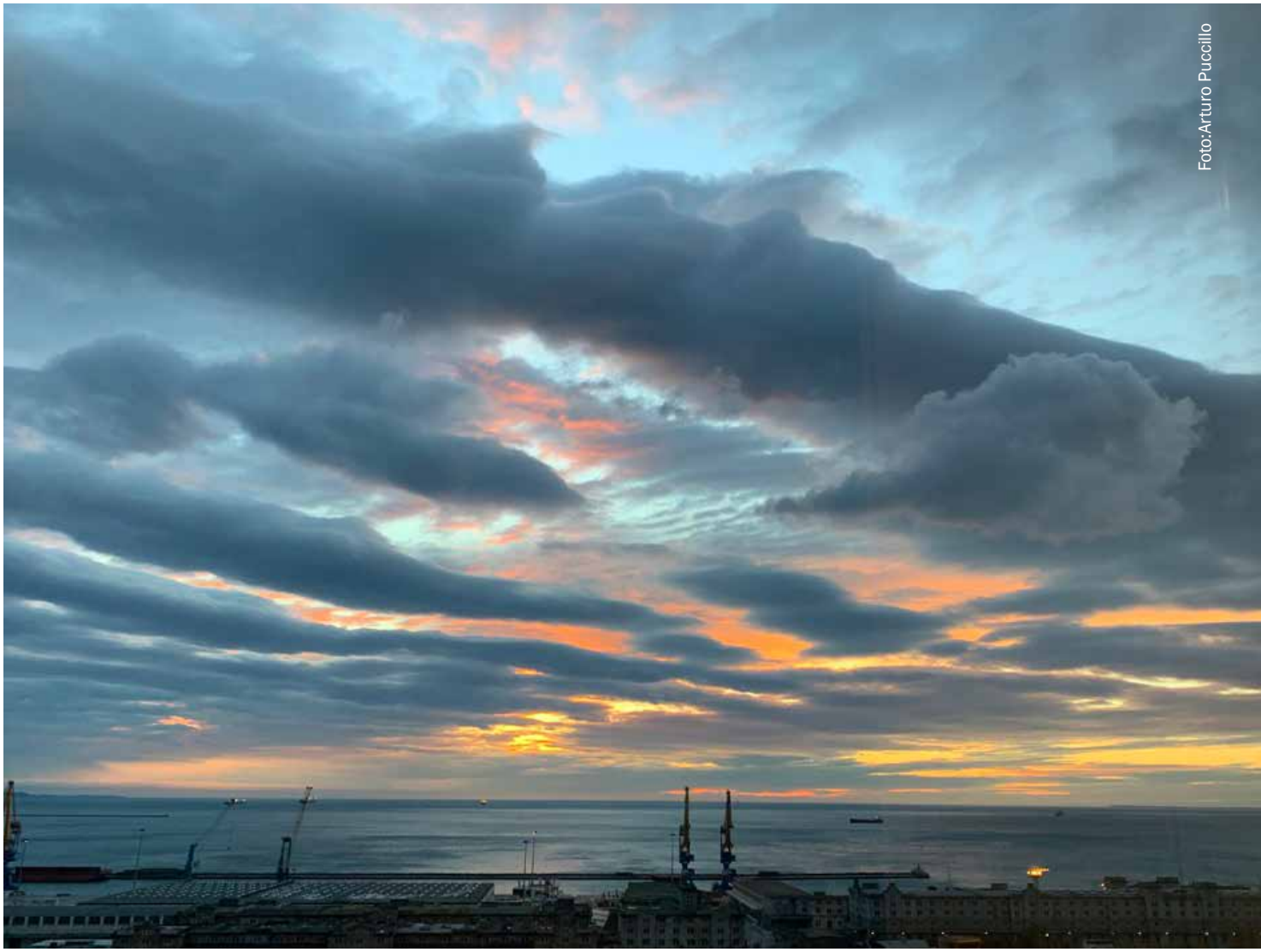


Foto:Arturo Puccillo

con l'aumento delle temperature marine possono diventare più intensi, con venti più forti e precipitazioni più abbondanti. Sebbene la frequenza annuale dei *Medicanes* sia variabile, si prevede che nel prossimo futuro la loro intensità aumenterà, a causa del riscaldamento del mare.

LE SUPERCELLE TEMPORALESCHE

Un meccanismo analogo può spiegare anche l'aumento di frequenza dei fenomeni temporaleschi particolarmente intensi noti come supercelle temporalesche. Questi eventi si distinguono dagli altri temporali perché hanno una corrente ascensionale rotante al loro interno, possono durare molte ore e generare grandine, piogge torrenziali, raffiche di vento molto forti e a volte trombe d'aria. Anche nel caso delle supercelle, infatti, la necessaria presenza di alta umidità, energia e instabilità può essere collegata all'aumento della temperatura dell'aria, che determina la possibilità di contenere più vapore acqueo, e a una maggior evaporazione dalla superficie marina. Le supercelle temporalesche si osservano frequentemente anche nel nord Italia, dove l'interazione tra le masse d'aria fredda deviate dalla complessa topografia dell'area e i flussi di aria umida e calda provenienti dal Nord Adriatico producono una convenzione particolarmente intensa.

E IN FUTURO?

È oggetto di dibattito come le caratteristiche di questi sistemi e dei relativi eventi estremi, quali ad esempio le precipitazioni, risponderanno in futuro all'aumento delle temperature globali e più localmente al riscaldamento delle acque mediterranee, ma studi basati su insiemi di simulazioni climatiche suggeriscono che nel futuro questi eventi saranno forse meno frequenti, ma con precipitazioni più intense, a causa dell'aumento dell'umidità negli strati bassi dell'atmosfera causata dal riscaldamento marino.

Stefano Piani, Marco Reale, Stefano Salon, Cosimo Solidoro
Istituto Nazionale di Oceanografia
e di Geofisica Sperimentale - OGS

Un ringraziamento a tutti coloro
che hanno contribuito alla realizzazione
dei "Segnali dal Clima in FVG",
sia con i loro testi, dati e immagini,
sia con le loro riflessioni, osservazioni
e disponibilità a condividere
idee e conoscenze.

Il pdf integrale e i pdf tematici di Segnali dal clima in FVG 2025, insieme a quelli delle precedenti edizioni, sono disponibili su:

https://www.arpa.fvg.it/temi/temi/meteo-e-clima/sezioni-principali/cambiamenti-climatici/segnali-dal-clima-in-fvg/