



IL MARE E LA LAGUNA

SEGNALI DAL CLIMA IN FVG 2024

IL MARE E LA LAGUNA

LIVELLO DEL MARE NEL 2023: IL TERZO PIÙ ALTO MAI REGISTRATO	115
TEMPERATURA MEDIA DEL MARE: NEL 2023 LA PIÙ ALTA DELL'INTERA SERIE TEMPORALE	117
CAMBIANO TEMPERATURA E SALINITÀ STAGIONALI NEL GOLFO DI TRIESTE	119
I MOTORI FREDDI DEL NORD ADRIATICO SOSTENGONO LA VITA NEL MAR MEDITERRANEO	125
COME STANNO CAMBIANDO LE SPECIE ITTICHE? OSSERVAZIONI E RIFLESSIONI TRA BIOLOGI MARINI	129
CAMBIA LA LAGUNA, CAMBIA LA VITA NEI SUOI FONDALI	137

“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 in copertina è di Giorgio Mattassi

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>

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>



Segnali dal Clima

Segnali dal Clima in FVG è una pubblicazione divulgativa che racconta i cambiamenti climatici partendo da un'ottica locale e regionale e affronta questo grande tema da tre prospettive: CAMBIAMENTI, IMPATTI, AZIONI.

Nasce dall'impegno del Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG e dalla convinzione che le sfide che i cambiamenti climatici pongono alla nostra società si possano affrontare efficacemente solo se allo sviluppo scientifico e tecnologico si accompagnano una crescita della conoscenza e una consapevolezza sempre più diffusa sul tema da parte di tutta la popolazione.

Segnali dal Clima illustra diversi aspetti dei cambiamenti climatici partendo dal racconto di eventi e situazioni che hanno riguardato di recente il Friuli Venezia Giulia e attingendo alle attività e ricerche svolte dagli enti del Gruppo Clima FVG. Cerca però anche di collegare la dimensione locale con quella globale, attraverso alcuni articoli che ci consentono di allargare lo sguardo a ciò che accade su scala più ampia.

Un filo rosso – CAMBIAMENTI, IMPATTI, AZIONI - unisce i diversi articoli, i nostri “segnali dal clima”, collegando i cambiamenti in atto con i loro effetti sull'ambiente e sulle attività umane, ma anche con le azioni che possiamo mettere in campo sia per limitare il riscaldamento globale e i cambiamenti del clima (mitigazione) che per ridurre gli impatti che ne conseguono (adattamento).

Il 2023 è stato il terzo anno più caldo mai registrato in Friuli Venezia Giulia: atmosfera e mare hanno raggiunto temperature per molti mesi superiori alla media ed eventi estremi di notevole intensità hanno colpito diverse aree della regione. Da qui comincia quest'anno il racconto dei segnali di cambiamento climatico che rileviamo nel nostro territorio e che si traducono in effetti diversificati sui diversi sistemi naturali

e settori produttivi, chiamandoci ad “agire per il clima”. Esperti dei diversi campi – climatologi, geologi, oceanografi, biologi, agronomi, economisti, ingegneri, architetti, professionisti dell'ambiente, della pubblica amministrazione e della salute – ci accompagnano in un percorso di conoscenza che parte dalle nostre montagne e si snoda seguendo idealmente il fluire delle acque attraverso la pianura, per arrivare alla laguna e al mare. Tornando sulla terraferma esploriamo gli effetti dei cambiamenti climatici su piante e animali, sia negli ecosistemi allo stato naturale che nel settore agricolo, scoprendo quali ricerche gli enti del GdL Clima FVG svolgono per analizzare i fenomeni e individuare soluzioni innovative per fronteggiarli. Nella nuova sezione “NOI E IL CLIMA”, guardiamo agli effetti che i cambiamenti climatici hanno anche sulla nostra sfera personale, dal punto di vista fisico, etico e psicologico. Concludiamo anche questa edizione con alcuni esempi di azioni intraprese dagli enti pubblici per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici in FVG.

Alcuni temi attraversano diverse sezioni e collegano più articoli, come quello dei servizi ecosistemici. Emerge con forza anche l'importanza della partecipazione, della formazione e della condivisione di esperienze per far fronte alle sfide del clima che cambia con nuove forme di sviluppo, sia in montagna, che in agricoltura che nella pianificazione regionale.

Segnali dal Clima in FVG non è quindi un report sullo “stato del clima” in Friuli Venezia Giulia: non ha l'obiettivo di fornire un quadro completo ed esaustivo della tematica, non ne esplora tutti gli aspetti e i settori ambientali e socioeconomici coinvolti, non passa in rassegna tutte le conoscenze disponibili. È però, appunto, un segnale: un segnale di cosa sta accadendo, di quanto sia importante prenderne coscienza e agire, di come la società, la pubblica amministrazione e il mondo scientifico si stiano già attivando.

*Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico
Clima FVG*

L'ABC DEL CLIMA

Per rendere gli argomenti accessibili a tutti, negli articoli sono inseriti alcuni box a sfondo arancione pensati per avvicinare al pubblico alcuni termini e concetti tecnico-scientifici a cui è necessario fare riferimento quando si spiegano argomenti e fenomeni collegati ai cambiamenti climatici

DAL LOCALE AL GLOBALE

Con uno sfondo grigio sono evidenziati gli articoli che riportano notizie e informazioni relative a realtà extra-regionali e che ci consentono di ampliare la nostra visione, collegando ciò che avviene in Friuli Venezia Giulia con conoscenze generali e con fenomeni a scala più ampia.

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 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 E LA LAGUNA

estratto da

SEGNALI DAL CLIMA FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

notizie dal

GRUPPO DI LAVORO TECNICO SCIENTIFICO CLIMA FVG

luglio 2024

IL MARE E LA LAGUNA

Livello, temperatura, salinità delle acque e cambiamenti negli ecosistemi

Il mare sta subendo importanti cambiamenti, di cui forse non ci accorgiamo tanto perché meno direttamente percepibili.

Il livello medio del mare sta aumentando costantemente, così come la sua temperatura, sia a livello globale che localmente nel nord Adriatico. Ciò influisce sulle correnti marine e sugli ecosistemi, con effetti e modifiche importanti sulle popolazioni di pesci e altri organismi che popolano il nostro mare e le nostre lagune. E queste si ripercuotono poi sui comparti della pesca e dell'acquacoltura.

Preservare la naturalità degli habitat marini e lagunari può renderli più resilienti e tutelare le produzioni locali.



LIVELLO DEL MARE NEL 2023: IL TERZO PIÙ ALTO MAI REGISTRATO

Foto: Furio Pieri

Il livello medio del mare a Trieste nel 2023 è stato il terzo più alto dell'intera serie temporale disponibile. Tra il 27 ottobre e il 5 novembre si sono verificati numerosi eventi di "acqua alta" lungo il litorale della regione, con cinque episodi in cui il mare ha superato il livello dei moli a Trieste.

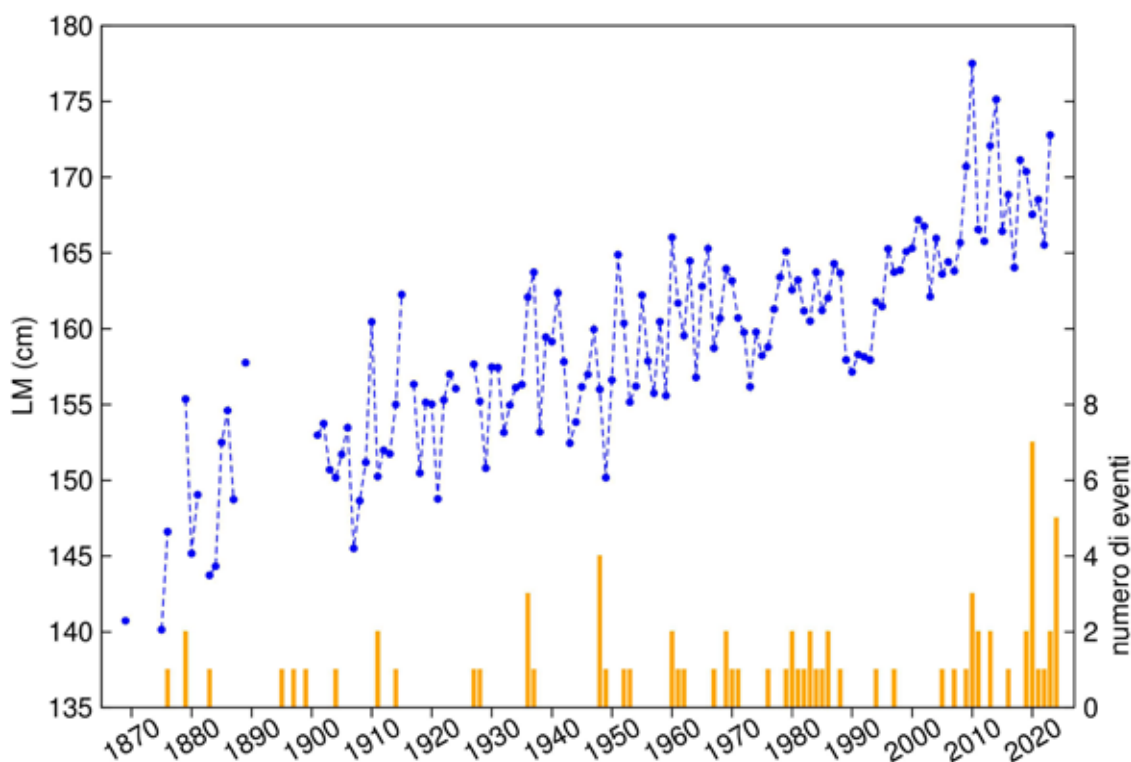
Il riscaldamento atmosferico globale in corso è responsabile dell'aumento del livello medio del mare attraverso due meccanismi, cioè l'aumento del volume dell'Oceano per dilatazione termica e l'aumento della massa oceanica dovuto alla fusione dei ghiacci continentali. Durante il 20° secolo il livello 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 globale sulle scale temporali pluridecennali e secolari, aumentando alla velocità di 1,5 mm/anno fino a metà anni '60 del secolo scorso e a **2,8 mm/anno dal 1993**. Le variazioni su tempi più brevi, che si sovrappongono all'andamento secolare, sono in relazione con la circolazione atmosferica e marina del nord Atlantico e del Mediterraneo.

IL LIVELLO DEL MARE A TRIESTE

Al Molo Sartorio (Trieste) 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.

Nel 2023 il livello medio è stato di 172,8 cm, che rappresenta il terzo valore più alto dell'intera serie temporale dal 1869, dopo quelli del 2010 e del 2014.



Livello medio (LM) annuale dal 1869 al 2023 osservato a Trieste Molo Sartorio; l'altezza è misurata rispetto alla zero mareografico. Numero annuo di eventi di superamento del piano del molo Sartorio (istogramma arancione). (Dati: CNR-ISMAR e ARPA FVG - RAFVG).

GLI EVENTI DI ACQUA ALTA

Una conseguenza dell'aumento del livello medio del mare, rilevante per il litorale della nostra regione è, in media, la crescente frequenza di eventi di “acqua alta”. Tali fenomeni si verificano in corrispondenza di bassa pressione atmosferica e correnti di Scirocco lungo l'Adriatico, tipicamente 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.

Negli ultimi giorni di ottobre e i primi di novembre la bassa pressione e, soprattutto, i forti venti meridionali hanno prodotto vari eventi di “acqua alta”, con cinque episodi di tracimazione sopra il piano del Molo Sartorio. Il primo del 27 ottobre e l'ultimo del 5 novembre hanno superato il piano del molo di oltre 20 cm; gli altri tre, del 28 e 30 ottobre e del 3 novembre, lo hanno superato di pochi centimetri.

L'istogramma arancione nella figura mostra, per ogni anno, il numero di giorni in cui il livello ha superato l'altezza del piano del Molo Sartorio. Nel periodo considerato oltre un terzo degli eventi

(26 su 69) è stato osservato a partire dal 2010; pertanto, la loro frequenza media è più che quadruplicata, passando da 0,4 eventi all'anno prima del 2010, a 1,7 eventi all'anno successivamente.

CONTA ANCHE LA SUBSIDENZA

L'andamento 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. In prospettiva futura la subsidenza del suolo comporta maggiori rischi per le aree costiere in termini di inondazioni, erosione costiera, ostacolo posto allo scarico fluviale in mare, innalzamento della tavola d'acqua e salinizzazione del sottosuolo causata dalla penetrazione dell'acqua marina.

Fabio Raicich
CNR-ISMAR

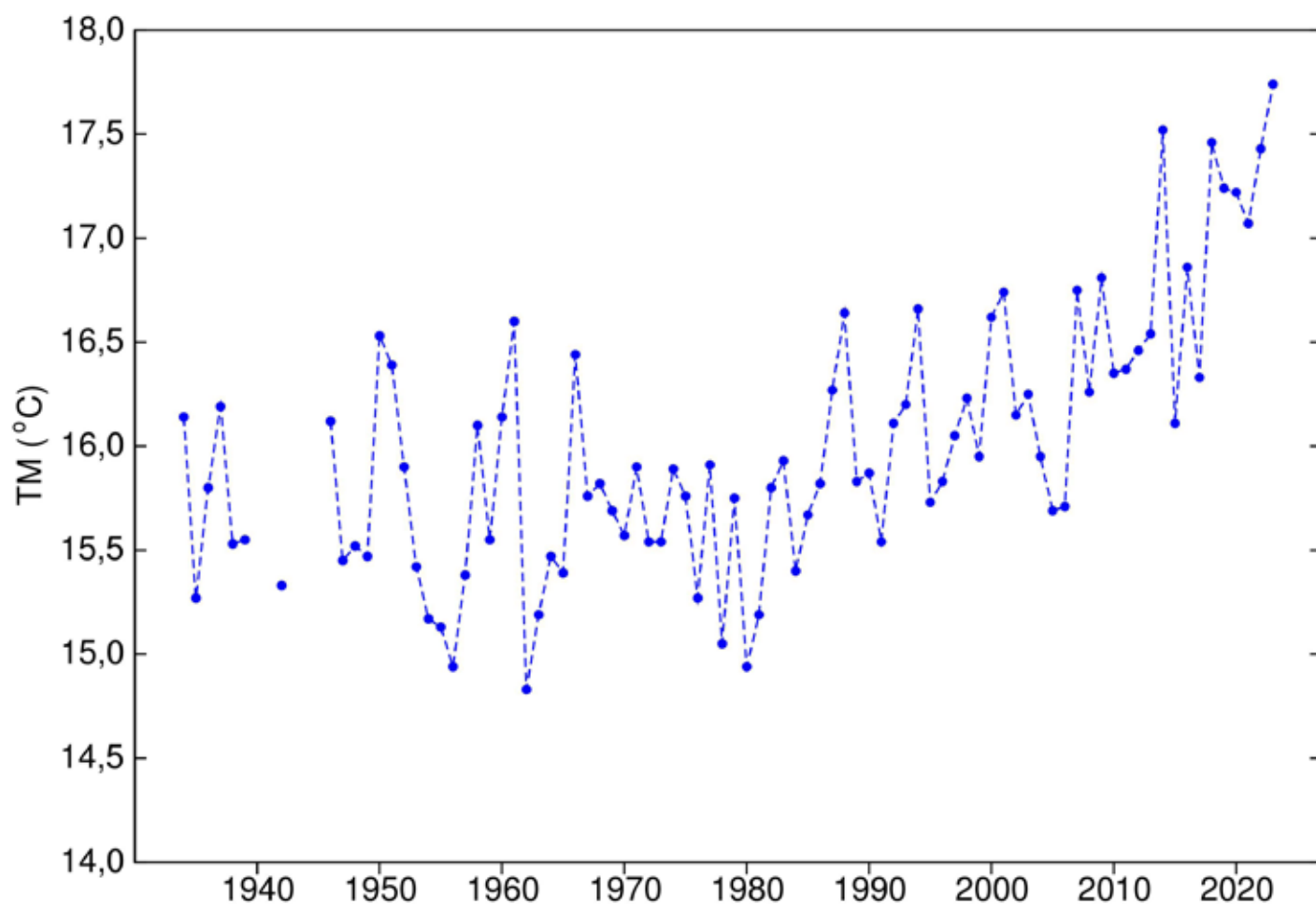
TEMPERATURA MEDIA DEL MARE: NEL 2023 LA PIÙ ALTA DELL'INTERA SERIE TEMPORALE

Come è avvenuto per l'atmosfera, nel 2023 anche la temperatura media del mare è stata la più alta dell'intera serie temporale disponibile. Questo soprattutto per gli alti valori registrati a gennaio e da settembre a dicembre.

Foto: Federica Flapp

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. Mentre il valore assoluto è fortemente dipendente dalle condizioni locali, l'andamento della temperatura è rappresentativo della zona costiera del Friuli Venezia Giulia e, in generale, della parte meno profonda del nord Adriatico.

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. D'altra parte, su scale stagionali e più lunghe la temperatura risente anche dal ricambio della massa d'acqua per effetto della circolazione dell'Adriatico, che ne modula l'andamento sul medio-lungo periodo.



Temperatura media annuale (TM) dal 1934 al 2023, osservata a 2 m di profondità (curva blu).
(Dati: CNR-ISMAR e ARPA FVG - RAFVG).

LA TEMPERATURA DEL MARE NEL 2023

La temperatura media annua del 2023 è stata di 17,7 °C, oltre un grado più alta della media del ventennio 2001-2020 e, soprattutto, **la più alta dell'intera serie temporale** disponibile, di cui la figura riporta il periodo dal 1934 (curva blu). A determinare questo risultato sono stati principalmente il mese di gennaio e quelli da settembre a dicembre, nei quali la temperatura è stata persistentemente superiore alla norma almeno di due gradi. Le temperature relativamente alte sono state conseguenza diretta dell'elevata temperatura atmosferica e della scarsità di irruzioni di aria fredda e di Bora.

L'ANDAMENTO NEL LUNGO PERIODO

La figura mette in evidenza il **recente significativo aumento della temperatura del mare**, in corrispondenza con il riscaldamento atmosferico, evidenziando due caratteristiche. La prima è che i sei anni più recenti, **dal 2018 al 2023**, presentano tutti temperature superiori alla serie storica precedente con la sola eccezione del 2014. La seconda è il più rapido riscaldamento in atto approssimativamente dalla fine del secolo scorso e particolarmente evidente **nell'ultimo ventennio**. Infatti, mentre dal 1899 al 1999 la temperatura è aumentata complessivamente di 0,8 °C, alla velocità media di 0,08 °C per decennio, dal 2000 l'aumento complessivo è stato di quasi 1,3 °C, corrispondente a **0,55 °C per decennio**.



CAMBIANO TEMPERATURA E SALINITÀ STAGIONALI NEL GOLFO DI TRIESTE

Dal 2014 al 2023 si è rilevato un generale aumento della temperatura e soprattutto della salinità, specialmente in inverno. Si osservano anche eventi estremi che modificano repentinamente, per brevi periodi, le caratteristiche idrologiche del golfo. Sono segnali di un cambiamento climatico che riguarda anche il mare.

Foto: ARPA FVG

Come è stata l'evoluzione della temperatura e della salinità delle acque del golfo di Trieste da 2014 al 2022?

Cosa evidenzia il confronto con le misure effettuate nel 2023?

A inizio 2024 ARPA FVG ha pubblicato il documento “Caratteristiche termaline stagionali delle acque del golfo di Trieste dal 2014 al 2022 e confronto con quelle del 2023” da cui emerge come il golfo di Trieste risulti essere un utile sito di studio della climatologia oceanografica associata a eventi estremi in un'area a clima temperato.



Foto: ARPA FVG

IL GOLFO DI TRIESTE E I CAMPIONAMENTI DI ARPA FVG

Il golfo di Trieste per le sue peculiarità geografiche, geomorfologiche e batimetriche è influenzato da numerosi **fattori meteorologici** (vento, irraggiamento solare, escursione termica tra inverno ed estate) e **idrologici** (portate fluviali e circolazione delle masse d'acqua adriatiche) che rendono **particolarmente dinamica la sua oceanografia**. Ed è proprio per questa particolarità che il bacino risulta essere un utile sito di studio della climatologia oceanografica associata anche a eventi estremi.

ARPA FVG effettua regolarmente il monitoraggio della qualità delle acque marine, come previsto dalla normativa del settore (Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE; D.Lgs. 152/2006; Direttiva quadro 2008/56/C - Marine Strategy; D.Lgs. n. 190 del 13/10/2010). I campionamenti vengono effettuati utilizzando della particolare strumentazione scientifica e per i parametri idrologici una sonda multiparametrica.

I primi monitoraggi effettuati da ARPA FVG nel golfo risalgono al gennaio 2006. Considerando



Foto: ARPA FVG

la media dei campionamenti per trimestre, il numero delle **stazioni campionate** nei diversi anni è variato da un minimo di 166, per aprile-maggio-giugno del periodo 2017-2019, a un massimo di 299, per luglio-agosto-settembre per il periodo 2014-2016.

Le misurazioni effettuate con sonda multiparametrica lungo la colonna d'acqua utilizzano un intervallo di campionamento pari a 0,25 dbar corrispondente a 25 cm. Lo strumento rileva diversi parametri: pressione/profondità; temperatura, conducibilità/salinità; pH; ossigeno disciolto; clorofilla a e dal 2014 anche l'irradianza PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) e la torbidità.

SERIE TEMPORALI DI PARAMETRI IDROLOGICI: QUALI CAMBIAMENTI?

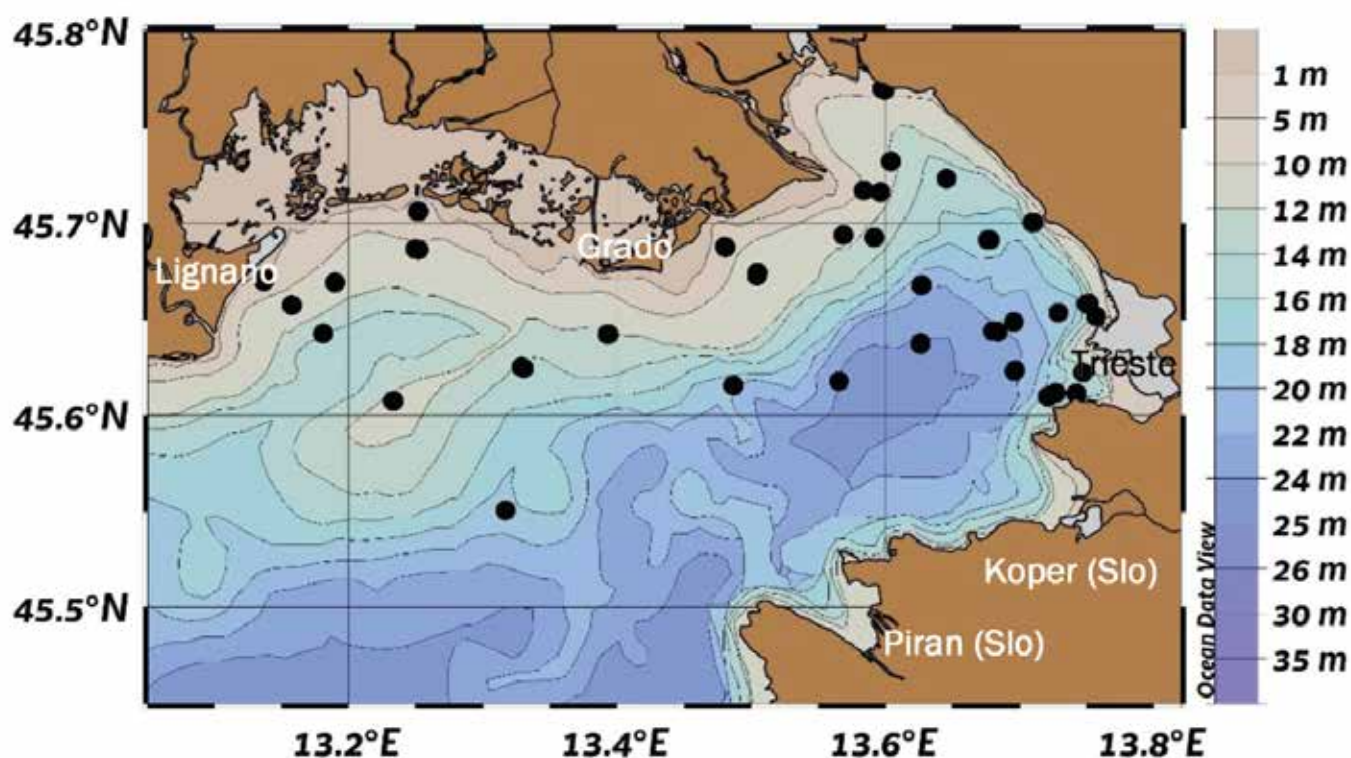
Lo studio, dal 2014 al 2023, delle caratteristiche termiche e saline stagionali delle sue acque ha evidenziato la tendenza a **un generale aumento della temperatura**, in particolare nel periodo estivo e autunnale **e soprattutto della salinità**, incremento evidente specialmente nel periodo invernale ed estivo.



Foto: ARPA FVG

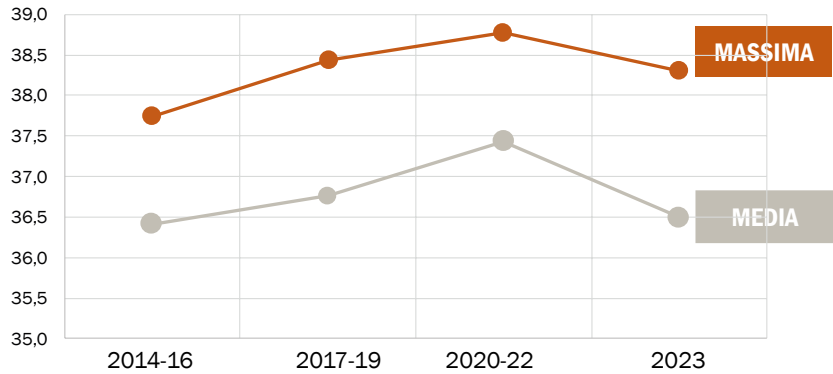
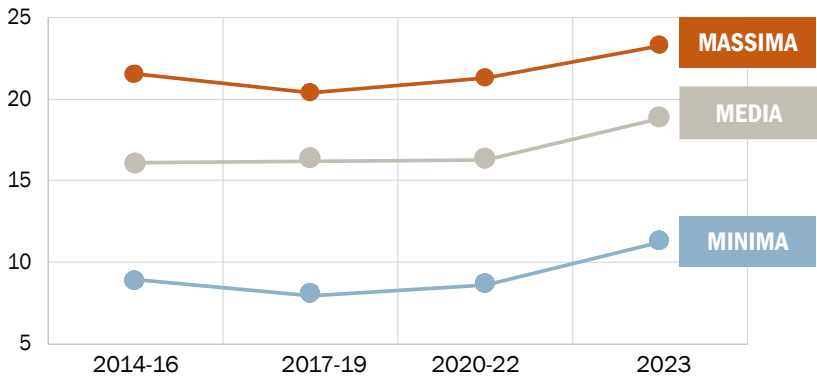
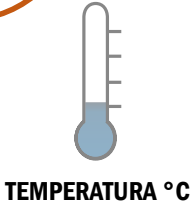
Sonda multiparametrica utilizzata per i monitoraggi ARPA FVG.

MAPPA DELLE STAZIONI DI CAMPIONAMENTO NEL GOLFO DI TRIESTE



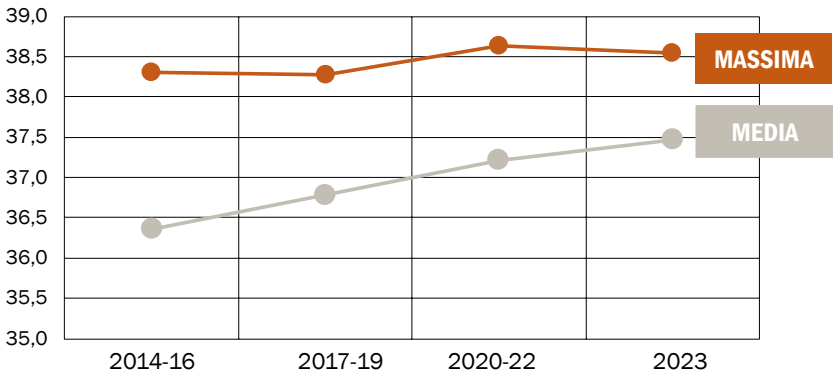
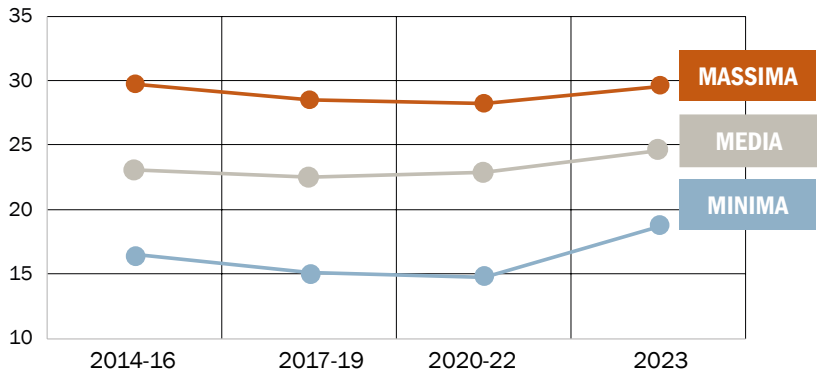
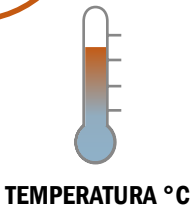
ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA E DELLA SALINITÀ NEL GOLFO DI TRIESTE

AUTUNNO
ottobre-
dicembre



Distribuzione della temperatura e salinità nel periodo autunnale 2014-2023.

ESTATE
luglio-
settembre



Distribuzione della temperatura e salinità nel periodo estivo 2014-2023.



LA TEMPERATURA

Per quanto riguarda la **temperatura**, in generale l'elaborazione evidenzia un'omogeneità termica della colonna d'acqua nel periodo invernale. Ad aprile si osserva l'inizio della **stratificazione termica** tra gli strati superficiali e quelli di fondo, che si mantiene per tutto il periodo estivo con valori massimi superficiali di quasi 30 °C (29,7 °C registrato il 22 luglio 2015). Nei mesi autunnali gli eventi meteorologici e marini associati al rilascio di calore dal mare all'atmosfera tendono a rimescolare la colonna d'acqua che poi si presenta nuovamente omogenea nel periodo invernale. La distribuzione stagionale della temperatura dal 2014 al 2022 non ha mostrato un particolare **aumento** per il periodo invernale e primaverile; aumento che si osserva, invece, per il **periodo estivo e autunnale**. Anche nel 2023 mantiene questa tendenza all'aumento, con una differenza massima di 2,7 °C tra la temperatura del mare dell'autunno 2023 e quella del triennio 2014-16.

LA SALINITÀ

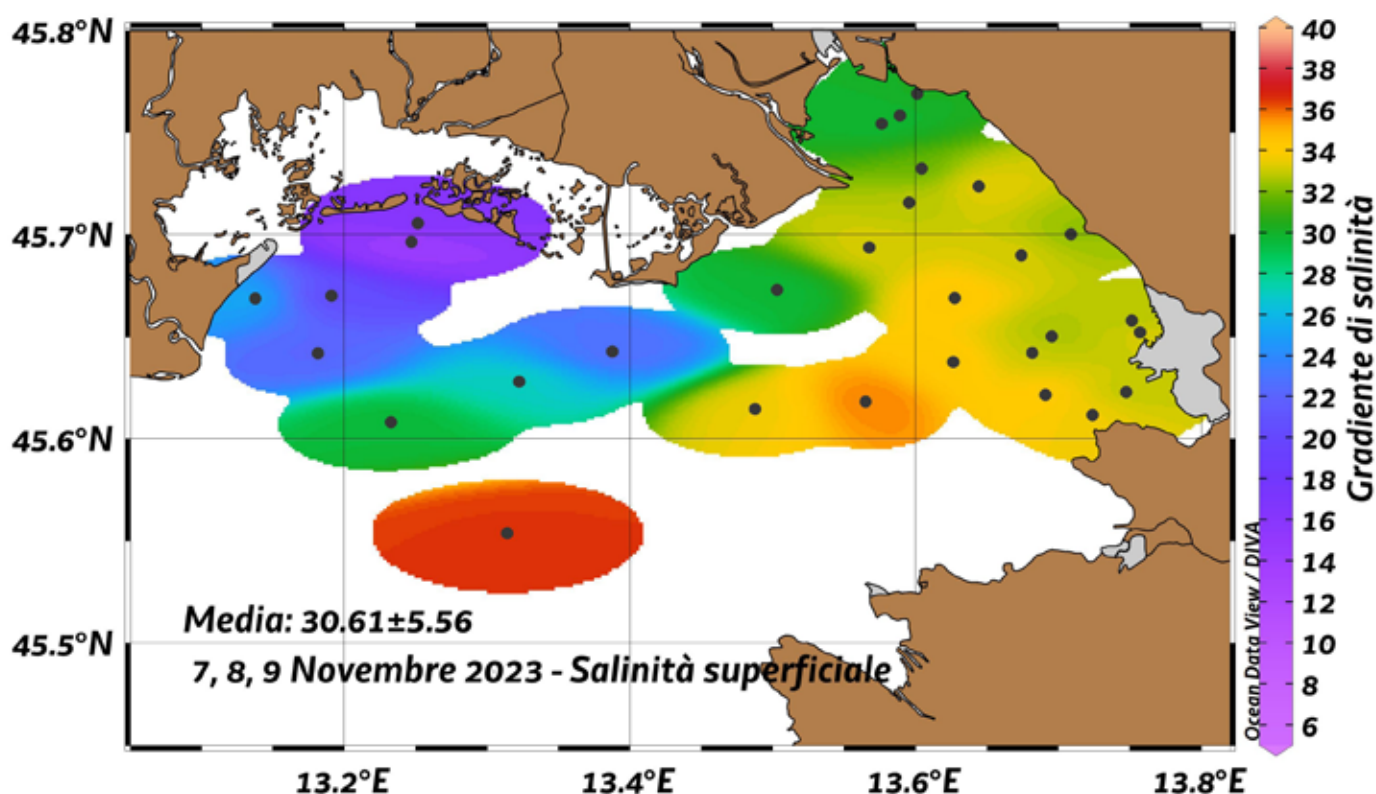
Per quanto riguarda la **salinità**, l'aumento dei valori medi stagionali è collegato sia all'ingresso nel golfo di **correnti marine** a elevata salinità (38,9 il 12 aprile 2022) che la tendenza a una situazione di **siccità** con scarsi apporti fluviali che non producono la diluizione delle acque del golfo.

Si presenta in controtendenza il periodo autunnale del 2023, caratterizzato tra fine ottobre e inizio novembre e tra fine novembre e inizio dicembre da cospicui e anomali apporti fluviali dell'Isonzo e Tagliamento.

EVENTI ESTREMI E CAMBIAMENTI REPENTINI

Negli ultimi anni, in associazione a queste tendenze si registrano **sempre più eventi repentini ed estremi** che, per brevi periodi, modificano le caratteristiche idrologiche del golfo. Ad esempio a metà gennaio 2021 e ad aprile 2022 le sue acque, per effetto della circolazione delle correnti dell'Adriatico, hanno raggiunto **salinità** superiori a 38,7 mentre, a novembre 2023, il bacino è stato diluito dalle piene fluviali dell'Isonzo e Tagliamento. A fine maggio 2022 la **temperatura superficiale** del mare è diminuita da 22 °C a 16 °C in meno di due giorni; tra fine agosto 2023 e metà gennaio 2024 le acque superficiali costiere hanno presentato valori medi giornalieri elevati rispetto a quelli riferiti alla media storica delle misure, per poi riallinearsi a fine gennaio. Successivamente, in febbraio e marzo 2024, il parametro ha mostrato nuovamente alti valori per poi diminuire drasticamente tra il 16 e 23 aprile per effetto di una anomala perturbazione caratterizzata da masse d'aria fredda.

DISTRIBUZIONE DELLA SALINITÀ SUPERFICIALE (7-9 NOVEMBRE 2023)



“SEGNALI” DAL CLIMA MARINO

Sia gli eventi estremi come pure la tendenza all'aumento della temperatura e della salinità del golfo sono **sentinelle che indicano il rapido cambiamento climatico in atto**. I tempi per agire su di esso si stanno sempre più riducendo e se non si attueranno le misure di mitigazione finalizzate a diminuire la concentrazione dei gas serra in atmosfera e contenerla entro limiti sostenibili, gli scenari ambientali e sociali di fine secolo saranno di difficile gestione.

Massimo Celio
ARPA FVG

I MOTORI FREDDI DEL NORD ADRIATICO SOSTENGONO LA VITA NEL MAR MEDITERRANEO

Il raffreddamento invernale delle acque marine nel Nord Adriatico, causato dalla Bora, è un “motore freddo” fondamentale per la circolazione delle correnti nel Mediterraneo e per lo scambio di ossigeno e nutrienti tra il fondo e la superficie del mare. Questo sistema, essenziale per la vita marina, può risentire dei cambiamenti climatici. Nel 2023 e 2024 le temperature invernali degli oceani sono state eccezionalmente calde a livello globale: non altrettanto, seppure sopra la media, nel Nord Adriatico.

Foto: Furio Pieri

Bora in inverno sul Golfo di Trieste.

I processi di mescolamento e trasporto verticale in mari e oceani sono fondamentali per il mantenimento della vita e la salute degli ecosistemi marini.

Infatti, senza questi processi il fondo dei mari resterebbe presto privo di **ossigeno**, visto che nei fondali marini vi è un significativo consumo di questo elemento, a causa della respirazione degli organismi presenti e della degradazione della materia organica non vivente presente sugli strati di fondo o adagiata sul fondale, ma non ci sono processi di produzione di ossigeno, visto che non c'è luce e quindi non ci può essere la fotosintesi. A lungo andare, quindi, gli strati di fondo diventerebbero anossici, come quelli sul fondo di un lago stagnante o in alcuni mari in cui questi processi sono assenti, come il Mar Nero.



L'IMPORTANZA DEL MESCOLOAMENTO PER LA FOTOSINTESI

Inoltre, **in mancanza di processi di mescolamento**, anche la fotosintesi negli strati superficiali dell'oceano risulterebbe – nelle zone lontano dalla costa – presto rallentata o inibita per la **mancanza delle sostanze nutritive**, quali i sali di azoto e fosforo.

Infatti, quando il fitoplancton muore e affonda verso gli strati più profondi, porta dentro di sé anche le sostanze nutritive assimilate negli strati superficiali durante il processo fotosintetico, e agisce quindi come una sorta di pompa, che trasporta carbonio, azoto e fosforo verso il fondo. In un periodo di tempo non troppo lungo, quindi, gli strati superficiali lontani dalle coste resterebbero privi di sostanze nutritive, **la fotosintesi rallenterebbe** e con essa la vita degli altri organismi marini.

Invece, e fortunatamente, tutti gli anni vi sono importanti fenomeni di mescolamento verticale, che portano ossigeno dalla superficie agli strati di fondo, e riportano in superficie le sostanze nutritive rilasciate al fondo dai processi di degradazione della materia organica. In questo modo la vita continua e si rinnova.

IL MESCOLOAMENTO DIPENDE DAL FREDDO

Purtroppo però **i cambiamenti climatici possono influire in maniera significativa** sulla entità di questi processi, visto che il freddo – la cui presenza è minacciata dai cambiamenti climatici – è uno degli ingredienti fondamentali per attivare questi processi verticali.

Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, vento e maree non sono gli unici motori delle correnti oceaniche, né i principali. Le correnti si innescano anche per **la differenza di densità** (peso specifico) fra le diverse masse d'acqua. Così come un olio più denso dell'acqua non galleggerebbe in superficie, ma affonderebbe, tutte le volte che le acque superficiali diventano più dense di quelle di fondo si ha uno sprofondamento delle acque superficiali, che **genera una corrente verticale** dall'alto verso il basso, che a sua volta genera anche dei moti orizzontali.

La densità delle acque marine dipende soprattutto da due fattori: la loro **concentrazione di sale** e la loro **temperatura**. Le acque più dolci e più calde sono meno dense, e stanno in superficie, quelle più salate e più fredde sono più dense, provocano mescolamenti verticali, e attivano il sistema delle circolazioni termoaline.

NORD ADRIATICO: UN MOTORE DEL FREDDO

In questo contesto, le acque del Friuli Venezia Giulia e del Nord Adriatico giocano **un ruolo particolarmente importante per tutto il Mar Mediterraneo**. Infatti, in tutto il Mediterraneo sono solo 3 le aree in cui si formano delle acque dense, che alimentano le varie celle termoaline: il Golfo del Leone, le acque greche del Mar Egeo, il Nord Adriatico.

In Nord Adriatico, durante l'inverno i venti freddi e secchi della **Bora** provocano un importante **raffreddamento**, che crea grandi volumi di acqua densa. Quest'**acqua sprofonda e viaggia sul fondo verso sud**, riempie le fosse del centro Adriatico,

tracima, e prosegue verso la Puglia, il mare Ionio e la parte orientale del Mediterraneo. La velocità di queste correnti non è elevata, le acque impiegano alcuni mesi per arrivare nello Ionio e mescolarsi con le acque che arrivano dall'Atlantico, ma i volumi possono essere anche molto rilevanti.

L'acqua che scende spinge su le acque di fondo, che **tornano in superficie, risalendo verso il Nord Adriatico** lungo la costa croata.

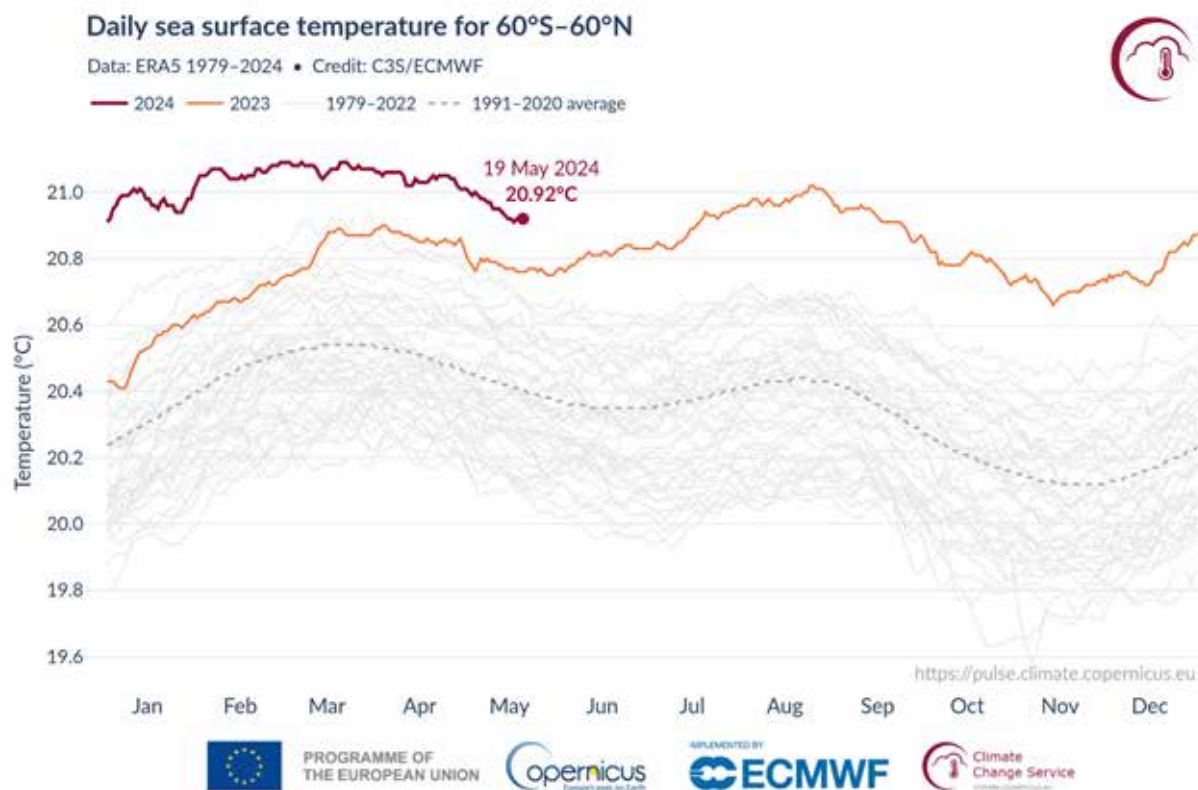
QUANTO SONO STATI CALDI GLI ULTIMI INVERNI A LIVELLO GLOBALE E LOCALE

Se questi 'motori freddi', a causa del riscaldamento climatico, dovessero fermarsi, ne risentirebbe la vita di tutto il Mediterraneo.

È possibile che questo accada?

Il grafico riporta l'andamento della **temperatura media dell'oceano superficiale, a scala globale**, calcolato dal servizio europeo COPERNICUS integrando dati in campo, osservazioni satellitari e modelli numerici attraverso algoritmi numerici particolarmente sofisticati.

TEMPERATURA MEDIA DELL'OCEANO SUPERFICIALE



Andamenti annuali della temperatura media dell'oceano superficiale dal 1979 a oggi. Ogni spaghetti rappresenta un anno diverso. L'anno 2023 è rappresentato in arancione, e il 2024 in rosso. La linea tratteggiata rappresenta l'andamento medio nel trentennio 1990-2020. I dati sono calcolati dal servizio COPERNICUS, integrando osservazioni sperimentali e modelli numerici.

Il risultato che ne emerge è molto impressionante, e non può non spaventarci: un insieme di curve grigie illustra l'andamento stagionale della temperatura, giorno dopo giorno, per 43 anni **dal 1979 al 2022**, e si nota come questi andamenti stagionali formino una matassa di linee ragionevolmente compatta. La linea arancione rappresenta l'andamento del 2023, e si osserva facilmente come questa rappresenti un filo che a partire **da aprile 2023** si distacca chiaramente dalla matassa, evidenziando temperature ininterrottamente **molto sopra gli andamenti tipici del periodo**. La linea rossa, relativa al **2024**, mostra tuttavia **un andamento ancora più alto**, rappresentato da un filo ancora più isolato.

Questi dati evidenziano come, a **livello medio globale**, l'**inverno** appena passato sia stato **particolarmente caldo** e certo se anche le nostre

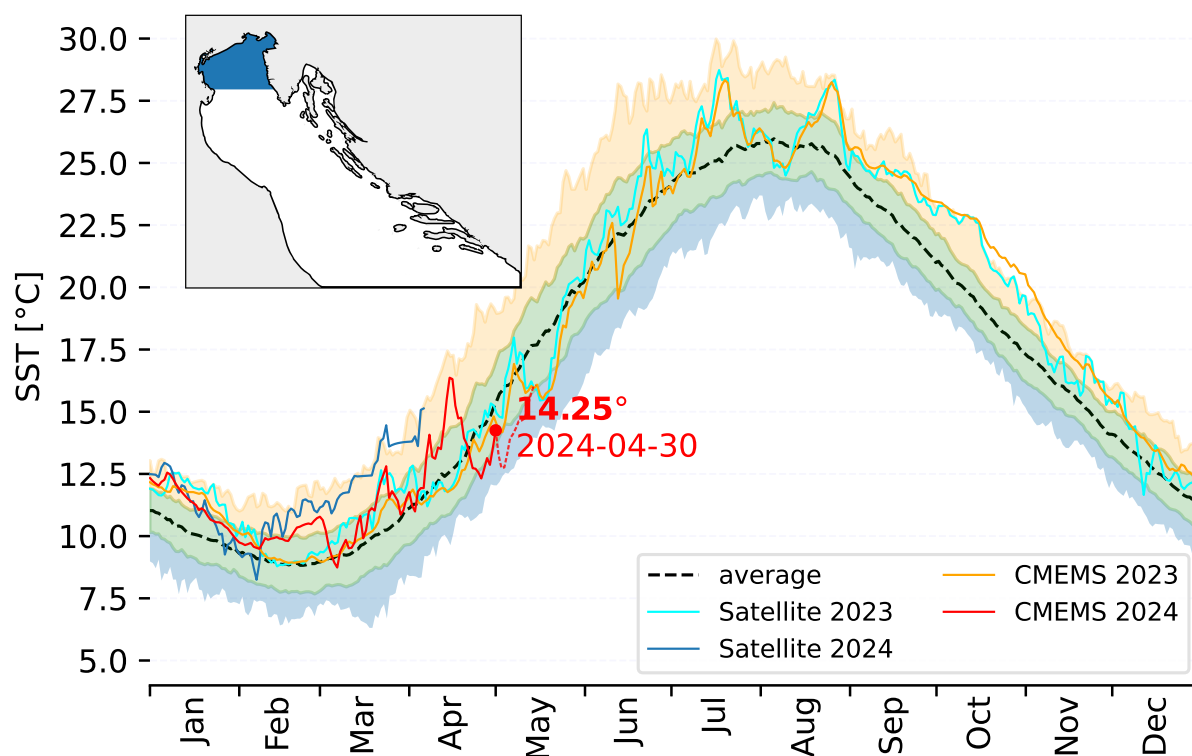
acque del Friuli Venezia Giulia avessero avuto un andamento simile, sarebbe lecito ipotizzare un forte rallentamento nella formazione di acque dense, con conseguenze importanti per tutto il Mediterraneo.

Tale ipotesi, però, non ha trovato conferma osservando i dati locali. Una analisi specifica sul **Nord Adriatico** evidenzia infatti come nella nostra area i dati del 2023 (linea azzurra per i dati satellitari e arancione per quelli modellistici), pur mostrando valori generalmente **superiori alle medie del periodo**, non identificano un filo che si distacca sensibilmente dalla matassa degli anni precedenti. In modo analogo, i dati del **2024** (linee blu e rossa del seguente grafico) indicano un **inverno caldo, ma non così caldo come si poteva temere osservando i dati globali**.

Stefano Piani
Stefano Salon
Cosimo Solidoro
OGS

TEMPERATURA MEDIA DEL NORD ADRIATICO SUPERFICIALE

SST Yearly trend (N45) - Satellite climatology



Andamento annuale della temperatura media del Nord Adriatico (zona blu nella figura in riquadro) superficiale dal 2005 alla primavera del 2024. Le linee azzurra e blu riportano le informazioni desunte dal satellite per gli anni 2023 e 2024, quelle rossa e arancione le stime del servizio COPERNICUS per gli stessi anni. La linea nera tratteggiata rappresenta il valore medio degli andamenti negli anni dal 2005 al 2021. La banda verde rappresenta l'intervallo che racchiude la variabilità del 70% degli anni, mentre le bande gialla e blu l'intervallo di variabilità del 15% degli anni rispettivamente più caldi e più freddi del periodo.



COME STANNO CAMBIANDO LE SPECIE ITTICHE? OSSERVAZIONI E RIFLESSIONI TRA BIOLOGI MARINI

Foto: Diego Borme

I cambiamenti climatici hanno importanti effetti su pesci e altri organismi di mare e di laguna nell'alto Adriatico: ne influenzano cicli riproduttivi, distribuzione e abbondanza. Diminuiscono le specie delle acque più fresche e si diffondono quelle di mari più caldi, che possono diventare invasive e nuocere a ecosistemi, pesca e acquacoltura. Queste attività potranno adattarsi modificandosi, ma è prioritario preservare la naturalità degli habitat marini e lagunari per renderli più resilienti e tutelare le produzioni locali.

Come stanno cambiando le specie ittiche? È una domanda che viene sempre più spesso rivolta a noi biologi marini ormai stagionati, che sin dalla tenera età abbiamo acquisito una certa familiarità con i pesci, le barche da pesca e soprattutto con gli incredibili racconti dei vecchi pescatori istriani. Già allora era percepibile una certa rarefazione di alcune specie ittiche un tempo abbondanti, come pure la comparsa di altre mai viste prima d'ora nelle nostre acque. Sulla spinta dei cambiamenti climatici sempre più evidenti, è nata quindi la necessità di iniziare un percorso di riflessione condivisa sull'argomento, unendo le nostre osservazioni e raccogliendo le testimonianze di chi iniziò a documentare questi fenomeni prima di noi.

Di seguito presentiamo al gentile Lettore le osservazioni e le riflessioni che a nostro avviso sono le più rilevanti riguardo ai cambiamenti della fauna ittica marina e lagunare nella nostra regione.



Foto: ARPA FVG

Campionamento fauna ittica in Laguna di ARPA FVG.

GLI SGOMBRI E IL CIRCUITO DELLE CORRENTI

Fino alla fine degli anni '60 gli sgombri (*Scomber scombrus*) facevano la loro comparsa nel Golfo di Trieste nei mesi di aprile-maggio e venivano pescati fino a tarda estate in quantità medie di 1.000-1.500 quintali l'anno.

Dopo il 1970 la produzione di questa specie raggiunse appena qualche decina di quintali/anno, riducendosi così di almeno due ordini di grandezza. Il fenomeno fu attribuito a fenomeni inquinanti attorno all'isola di Pelagosa (*Palagruža*) in Croazia (la zona che viene indicata quale unico luogo di riproduzione dello sgombero adriatico), a malattie epidemiche, a competizioni con il congenere *Scomber colias* (lanzardo), ecc. Nessuna di queste spiegazioni fu però sufficiente a dar ragione di un così grande e improvviso calo della produzione.

Per tentare altre spiegazioni, l'allora prof. Giuliano Orel dell'ateneo triestino richiamò alcuni concetti di biologia delle popolazioni ittiche: ciascuno stock di pesci con uova e larve pelagiche (la stragrande maggioranza) vive all'interno di un circuito di correnti in cui avviene la riproduzione, lo sviluppo larvale e giovanile e il reclutamento delle

nuove generazioni allo stock di adulti. Considerato che in questo circuito esiste una fase di trasporto passivo corrispondente agli stadi planctonici di uova e larve, va da sé che lo stock mantiene le sue caratteristiche solo se ciascuna fase del ciclo si svolge nel luogo e nel momento adatto. Se mutamenti climatici influenzano la velocità o la direzione delle correnti che formano tale circuito, ecco che la deriva larvale può concludersi in un luogo non adatto a fungere da nursery (luogo di accrescimento dei giovanili). Nel caso specifico dell'Adriatico, i mutamenti in questione potrebbero riguardare la diminuzione degli apporti di acqua dolce dal fiume Po, che potrebbe avvenire in seguito alla modificazione del regime delle precipitazioni e all'aumento delle advezioni di acque meridionali; conseguenza di ciò potrebbe essere un aumento dei tempi di soggiorno delle acque all'interno del bacino. D'altra parte, anche qualora le larve terminassero la loro deriva nel luogo giusto, ma in un momento inadatto, ad esempio quando la disponibilità di cibo (sotto forma di prede planctoniche) fosse stata anticipata o ritardata, fallirebbe il reclutamento delle nuove leve. Dopo alcuni di questi fallimenti in successione lo stock potrebbe addirittura scomparire.

CHI ARRIVA E CHI SCOMPARE IN UN MARE SEMPRE PIÙ CALDO

Nel 1974 il Cap. Mario Bussani rilevò per la prima volta la presenza della **sardina africana o alaccia** (*Sardinella aurita*) nel Golfo di Trieste, il settore più settentrionale del bacino Mediterraneo. Alcuni individui di questa specie furono catturati in mezzo ai banchi di sardina (*Sardina pilchardus*) durante le operazioni di pesca con le fonti luminose (saccaleva). L'alaccia è una specie tipicamente termofila e rappresentò un'importante risorsa ittica nelle acque antistanti la foce del fiume Nilo, fino al tracollo produttivo durante gli anni '60, a

causa della costruzione della grande diga di Assuan in Egitto. La presenza della sardina africana nel Golfo di Trieste è **ormai costante durante il periodo estivo**, anche se i dati quantitativi relativi alle catture sono molto variabili. Tuttavia, fu rilevata anche durante l'inverno 2009, nel mese di febbraio, quando fu protagonista di un evento di moria di massa a causa di un drastico calo delle temperature, associato a un evento di Bora particolarmente intenso.

Questi e altri fenomeni anomali, comparsi a partire **dagli anni '70**, fecero presagire che **qualcosa nel mare stava cambiando**. In effetti, prendendo



Foto: Stazione biologia marina di Pirano



Foto: Diego Borme



Foto: Pietro Dal Forno

- 1) Alaccia o sardina africana (*Sardinella aurita*) nel Golfo di Trieste (febbraio 2009)
- 2) Spratto o papalina (*Sprattus sprattus*)
- 3) Pesce foglia (*Lobotes surinamensis*) catturato nella Laguna di Marano e Grado (luglio 2016).

in considerazione la serie secolare della temperatura del mare a Trieste (pubblicata dai ricercatori del CNR_ISMAR Fabio Raicich e Renato R. Colucci nel 2019), a partire dal 1970 i giorni con temperatura inferiore a 6,5° C sono passati da circa 35/anno a meno di 10. Dal 2000 in poi il numero di giorni/anno con temperature inferiori a tale valore è pressoché nullo, se non si considera il singolo evento freddo del 2012 (che per certi aspetti fu comparabile al famoso inverno del 1929).

In tale contesto, l'aumento generalizzato della temperatura del mare di questi ultimi anni ha notevolmente livellato le stagionalità caratteristiche dell'Alto Adriatico. A un siffatto aumento di temperatura viene associato il fenomeno di meridionalizzazione, manifestato da uno spostamento verso Nord delle specie a spiccato carattere termofilo e in questo senso la fauna ittica ne rappresenta un buon indicatore. Pertanto, parecchie specie ittiche di provenienza meridionale, un tempo rare o poco frequenti, ora risultano più abbondanti. Allo stesso modo, si registrano continuamente nuove presenze, anche di carattere alloctono o alieno, provenienti principalmente dal Mar Rosso attraverso Suez. Viceversa, alcuni stock di specie a indole tipicamente nordica, quali ad esempio la passera di mare (*Platichthys flesus*) e lo spratto o papalina (*Sprattus sprattus*), confinate nell'area più settentrionale del bacino, stanno subendo una sensibile rarefazione.

OSPITI ESOTICI, SEMPRE PIÙ STABILI

Tra le specie a indole termofila, è meritevole di citazione la cattura nel luglio 2016, nella Laguna di Marano e Grado, di un esemplare di pesce foglia (*Lobotes surinamensis*), una specie cosmopolita nelle acque marine e salmastre delle aree tropicali e sub tropicali, che costituisce la seconda cattura ufficiale nell'Alto Adriatico, dopo quella del 2013 avvenuta nel Canal d'Arsia, nell'Istria orientale.

Altro esempio da citare è la cattura accidentale, avvenuta nel 2022 con un tramaglio dedicato alle seppie, poco al largo di Grado, dell'aguglia tropicale *Tylosurus crocodilus*, specie che solitamente abita le acque poco profonde delle lagune e dei reef dell'Oceano Indiano e Pacifico occidentale.

Il pesce serra (*Pomatomus saltatrix*) è invece una di quelle specie un tempo rare, ma che ormai

sono diventate talmente abbondanti da costituire una preda ben nota e ambita dai pescatori sportivi. Si tratta di un pesce pelagico e migratorio caratteristico delle zone costiere temperate e sub tropicali, meglio conosciuto come *bluefish*. La prima segnalazione ufficiale sulla sua presenza cospicua in Alto Adriatico risale al dicembre 2003, nella Val di Torre, alla foce del fiume Quieto, in Istria occidentale. In questa località, durante i mesi invernali, si pratica ancora la pesca con la tratta, dove più dell'85% del pescato è costituito da cefali, mentre il rimanente annovera orate, mormore, spigole e altro pesce bianco pregiato. In tale occasione, invece, vennero catturati anche 1.520,8 kg di pesci serra. In seguito, nel 2009, il novellame di pesce serra fu ritrovato nei cogolli a maglia stretta utilizzati nella Laguna di Venezia e nella Laguna di Marano e Grado, segno che, ormai, questa specie si è insediata stabilmente anche nel settore più settentrionale del bacino Mediterraneo. Il pesce serra è un vorace predatore di pesci che sta assumendo carattere di dominanza e rappresenta una reale minaccia per le popolazioni ittiche locali. A testimonianza di ciò, va segnalato che, durante una delle ultime edizioni della tratta in Val di Torre, invece dei cefali, il pescato era quasi completamente rappresentato dai pesci serra.

CAMBIA IL MARE, CAMBIA LA PESCA

Come conseguenza, tali osservazioni inducono a pensare che le modificazioni climatiche incidano fortemente, non solo nella comparsa di certe specie termofile calde, ma anche sull'intera struttura trofica del Golfo di Trieste. Questa propaggine settentrionale dell'Adriatico sta assumendo pertanto connotazioni di mare temperato caldo-subtropicale, rispetto a quelle di mare temperato che mostrava un tempo, con una diminuzione nelle escursioni delle temperature stagionali.

Nel settore della pesca, con un siffatto scenario climatico, si verifica quindi un graduale passaggio da un ciclo di produzione della pesca tipico delle aree temperate, con due massimi stagionali e ben definiti di produzione annuale (in primavera e autunno), verso un ciclo di produzione più simile a quello subtropicale o tropicale, in cui la produzione ittica è distribuita piuttosto uniformemente nel corso dell'anno, ma con valori sostanzialmente inferiori.

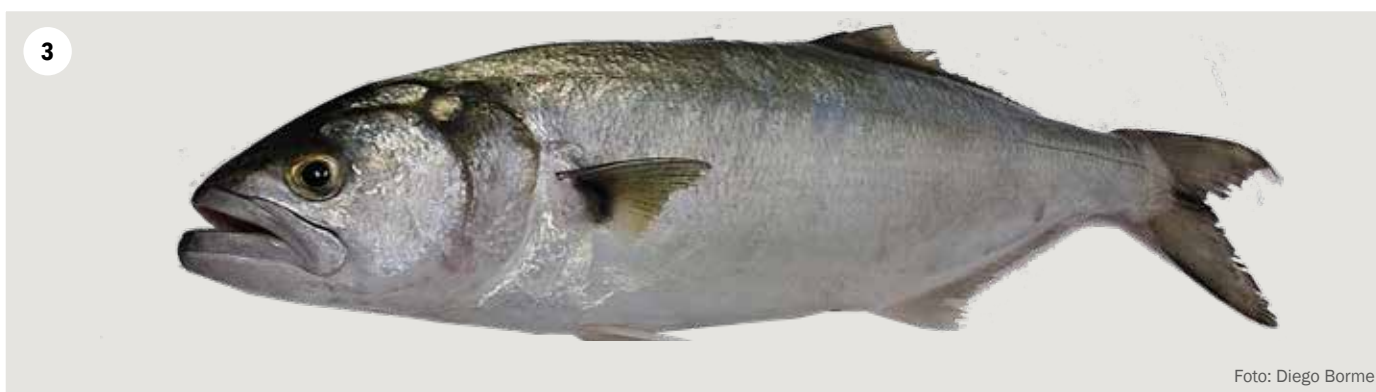


Foto: Diego Borme

- 1) Passera di mare (*Platichthys flesus*);
- 2) Aguglia tropicale (*Tylosurus crocodilus*) pescata davanti a Grado il 16 giugno 2022;
- 3) Pesce serra (*Pomatomus saltatrix*).



I RISCHI PER LE SPECIE DELLA LAGUNA

Per quanto riguarda le acque di transizione, **gli ambienti lagunari** dell'Alto Adriatico stanno assumendo connotati **sempre più marini**, fatto legato all'innalzamento del livello del mare. Questo potrebbe minacciare alcune **specie tipicamente lagunari** come il **ghiozzetto cenerino o giavedon** (*Pomatoschistus canestrinii*), che tra l'altro è già inserito nell'Allegato II della Direttiva Habitat 92/43/CEE. Questa specie, infatti, vive confinata nella porzione più interna della Laguna di Marano e Grado, soprattutto in prossimità delle foci del fiume Stella, dove la salinità varia tra 5 e 20.

Rispetto al passato, inoltre, quando la Laguna di Marano e Grado **era dominata dal pesce piatto**, in primis la passera di mare (*Platichthys flesus*), specie a indole nordica, si assiste **ora alla dominanza dell'orata** (*Sparus aurata*), la quale predilige invece acque più calde e salate e anzi soffre le basse temperature. È evidente che il paventato scenario climatico favorirà sempre più la presenza degli sparidi come l'orata, piuttosto che dei pleuronettiformi o pesci piatti.

La rarefazione non riguarda però solo la passe-

ra di mare, ma anche una delle sue prede più ambite, il **gamberetto grigio o schila** (*Crangon crangon*), anch'esso una specie più confacente ai regimi climatici del Nord piuttosto che a quelli mediterranei. In compenso la laguna sta diventando un'area nursery per l'accrescimento di altri crostacei, le giovani **mazzancolle** (*Penaeus kerathurus*). Inoltre, tra i pesci che abitano la laguna nelle loro fasi giovanili, accanto alla consolidata presenza dei piccoli pesci serra, è stata rilevata anche la presenza dei **giovani del luccio di mare o aluzzo**, noto anche come barracuda europeo (*Sphyraena sphyraena*).

LE SFIDE DELL'ADATTAMENTO PER SALVAGUARDARE ECOSISTEMI, PESCA E ACQUACOLTURA

Secondo il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, per quanto riguarda la pesca marittima, i cambiamenti del clima avranno effetti non solo sulla produttività delle risorse, ma anche sulle operazioni di pesca. I pescatori, quindi, dovranno **adattare le tattiche di pesca** alle nuove specie ittiche che stanno progressivamente sostituendo quelle tradizionali e saranno costretti a rivedere, almeno in parte, **le tecniche**



Foto: Diego Borme

Cattura a strascico con volantina di un luccio di mare (*Sphyraena sphyraena*) avvenuta il 14 dicembre 2006 nel Golfo di Trieste.

e gli **attrezzi di pesca** utilizzati nel passato, tramandati da generazione in generazione.

Purtroppo, però, il quadro si fa sempre più complicato a causa delle **recenti invasioni della noce di mare**, lo ctenoforo (*Mnemiopsis leidyi*), e **del granchio blu** (*Callinectes sapidus*), che hanno già messo in ginocchio rispettivamente la pesca e la molluschicoltura negli ambienti lagunari.

È bene ribadire che queste due specie aliene non sono un effetto diretto dell'aumento delle temperature, ma bensì **sono degli opportunisti** a cosiddetta larga ripartizione ecologica, abilissimi a sfruttare situazioni ecologiche a loro favorevoli, a scapito delle comunità indigene, già di per sé stressate dagli impatti antropici e dai nuovi scenari climatici.

Tuttavia, una delle migliori strategie per mitigarne gli impatti, sarà senz'altro quella di preservare e/o ripristinare il più possibile **la naturalità degli habitat** marini e lagunari, al fine di renderli **più resilienti**. Un ambiente sano, capace di mantenere le risorse tradizionali, permetterà a sua volta di tutelare una **cultura millenaria**, quella adriatica, della pesca e dell'acquacoltura.

Nicola Bettoso
ARPA FVG

Diego Borme
OGS



Foto: ARPA FVG

Esemplare di granchio blu (*Callinectes sapidus*), crostaceo alieno originario delle coste dell'Atlantico occidentale, la cui presenza ha assunto carattere invasivo nel 2023.



Foto: Diego Borme

La noce di mare (*Mnemiopsis leidyi*), una specie aliena e invasiva di ctenoforo, originaria dell'Atlantico occidentale, introdotta probabilmente con le acque di zavorra delle navi cisterna.

PAROLE CHIAVE

ADVEZIONE

in oceanografia inteso come spostamento di masse d'acqua in direzione prevalentemente orizzontale.

ORGANISMO PELAGICO

che vive prevalentemente in mare aperto e negli strati superficiali, lontano dal fondo.

SPECIE ALLOCTONA O ALIENA O ESOTICA

specie vegetale o animale non originaria della zona in cui si trova e nella quale è arrivata per l'azione diretta o indiretta dell'uomo.

SPECIE A INDOLE BOREALE

specie che mostra una propensione a climi freddi, quali si riscontrano nelle aree più settentrionali del nostro emisfero.

SPECIE TERMOFILA

specie adattata ad abitare ambienti caldi o temperato-caldi.

STOCK ITTICO

porzione di una popolazione di pesci sottoposta ad attività di pesca.

STRUTTURA TROFICA

insieme delle relazioni alimentari che si creano tra organismi produttori, consumatori e decompositori.

CAMBIA LA LAGUNA, CAMBIA LA VITA NEI SUOI FONDALI

Le lagune sono estremamente vulnerabili agli effetti delle attività umane e ai cambiamenti climatici. 30 anni di analisi dello stato ecologico della Laguna di Marano e Grado evidenziano che le comunità di organismi dei suoi fondali (*macrozoobenthos*) si stanno modificando a causa della sua “marinizzazione”. Paradossalmente aumenta la biodiversità, ma si perdono le caratteristiche – tra cui l’elevata produttività – delle comunità biologiche tipicamente lagunari.

Foto: ARPA FVG

Stelle serpentine su sedimento sabbioso-fangoso.

Le lagune costiere sono ambienti particolari che ricoprono circa il 13% della fascia costiera del pianeta e nel bacino del Mediterraneo più di 50 lagune sono state analizzate dal punto di vista ambientale nella letteratura scientifica. Questi ambienti rappresentano un ecotono tra gli ecosistemi continentali e marini, condividendone tratti comuni, specie e funzioni ecologiche. A causa della presenza di numerose attività socio-economiche (pesca, turismo, acquacoltura, porti, canali di navigazione, insediamenti urbani) questi siti sono estremamente soggetti all’impatto delle attività umane e anche ai cambiamenti climatici.

IL MACROZOOBENTHOS COME INDICATORE DELLO STATO ECOLOGICO

In seguito all'attuazione della Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), le lagune sono state identificate come acque di transizione e sottoposte alla classificazione dello stato ecologico, attraverso l'analisi di alcuni elementi di qualità biologica (EQB). Tra questi EQB, il *macrozoobenthos* di fondo mobile rappresenta un **ottimo indicatore faunistico** per definire lo **stato di qualità ambientale**, a causa della rapida risposta dei suoi organismi ai fattori di pressione antropica e alla variabilità ambientale. La valutazione del suo stato ecologico prevede il calcolo di **specifici indici ecologici** (tra i quali, ad esempio, ricchezza specifica e indice di diversità), ufficialmente adottati nei Paesi della Comunità Europea per le metodologie della Direttiva Quadro sulle Acque.

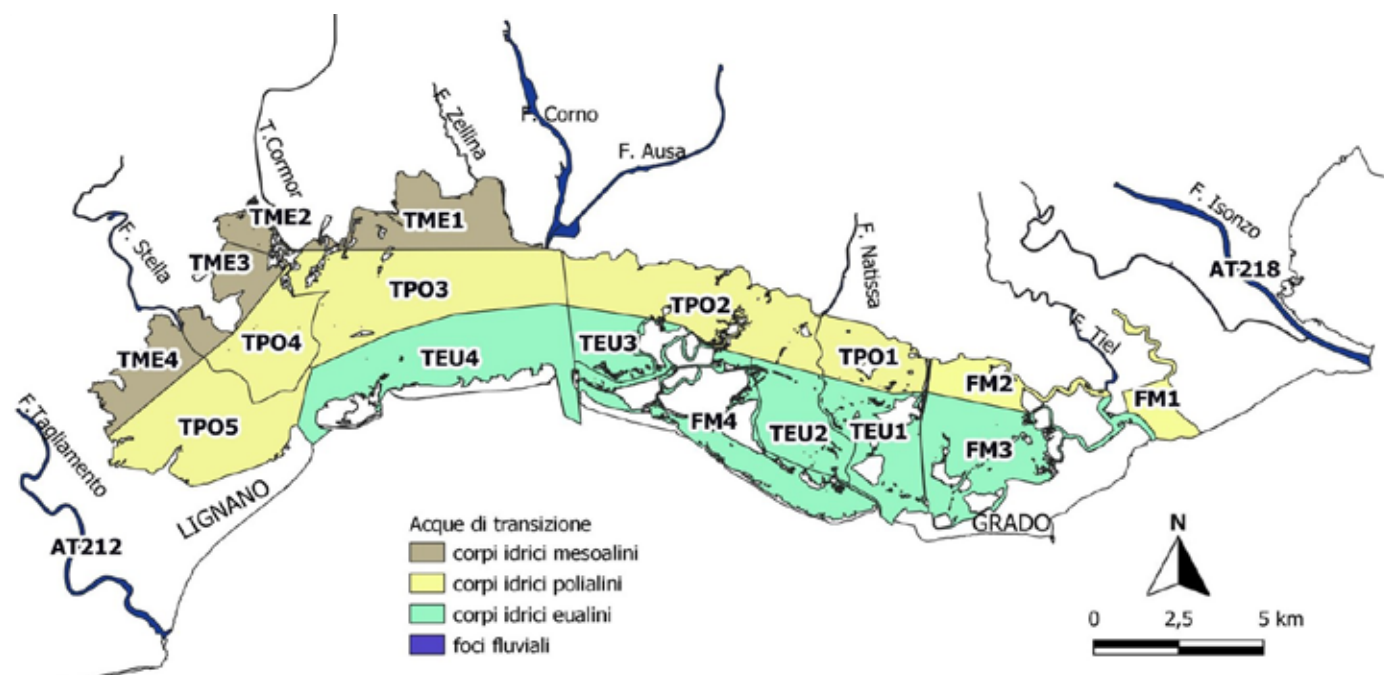
IL GRADIENTE DI SALINITÀ

La Laguna di Marano e Grado è una delle più estese (160 km²) e meglio conservate dell'intera area mediterranea: è infatti riconosciuta come Sito di Importanza Comunitaria. La salinità del sistema lagunare **decresce da Sud-Est verso Nord-Ovest** e questo gradiente fa sì che le diverse specie del *macrozoobenthos* e della fauna ittica si distribuiscono nelle diverse parti della laguna a seconda delle loro "preferenze" rispetto al grado di salinità.

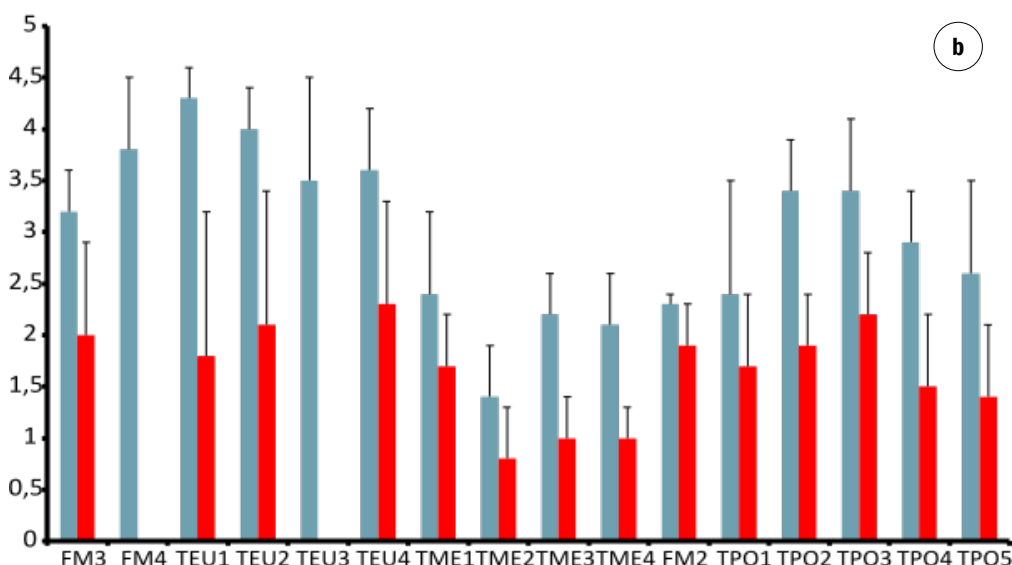
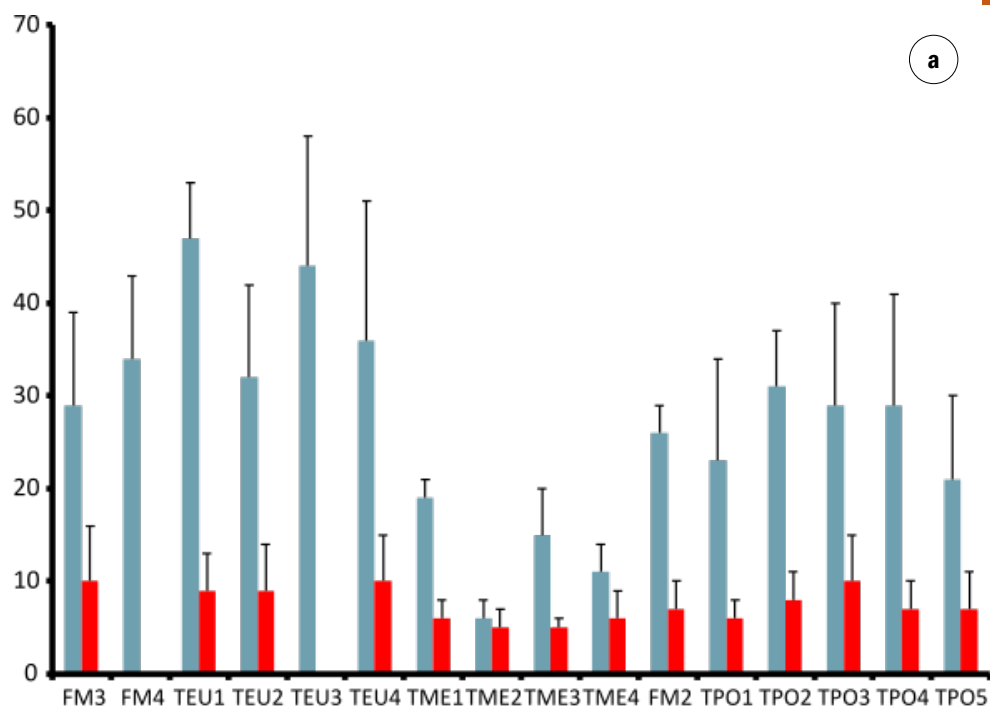
STUDI E CAMPIONAMENTI DEL MACROZOOBENTHOS

Per quanto riguarda il *macrozoobenthos*, le prime conoscenze sulla composizione della comunità a invertebrati, residenti nei sedimenti lagunari, derivano dallo studio pionieristico condotto da Aristocle Vatova durante gli anni '60. Risale invece agli anni '90 la prima caratterizzazione condotta dall'Università degli studi di Trieste (1993-1994-1995), utilizzando le tecniche di campionamento e analisi tuttora adottate per il monitoraggio di questo EQB.

Grazie alla comparabilità dei metodi di prelievo e di analisi dei campioni è stato possibile operare un confronto tra i campionamenti eseguiti prima e dopo l'entrata in vigore della Direttiva Quadro sulle Acque. A tale scopo la Laguna di Marano e Grado è stata **suddivisa in 17 corpi idrici sulla base della salinità**: corpi idrici "eualini" (TEU) con salinità compresa tra 30-40 (simile a quella del mare), "polialini" (TPO) (20-30) e "mesoalini" (TME) (5-20), ovvero a salinità via via inferiore rispetto al mare. Alcuni corpi idrici, invece, sono stati ulteriormente identificati come fortemente modificati (FM), poiché il loro regime idrologico ha perso la sua naturalità essendo modificato, nel caso di FM2 e FM3, dalla presenza del ponte Grado-Aquileia che, di fatto, ha confinato la porzione più orientale della laguna, e dalla presenza del complesso delle valli da pesca (FM1, FM4).



La Laguna di Marano e Grado con i corpi idrici definiti in base alla salinità.



Numero medio di taxa per corpo idrico (a) e dell'indice di diversità (indice ecologico di Shannon-Wiener) (b) durante il periodo 1993-1995 (rosso) e 2008-2021 (blu).

I campioni analizzati da ARPA FVG sono stati raccolti con frequenza costante a partire dal 2008 (2008, 2011, 2014, 2018 e 2021). Pertanto il complessivo dataset è rappresentato da molti diversi siti e un gran numero di campioni: costituisce quindi un buon punto di partenza per confrontare lo **stato attuale della comunità del macrozoobenthos rispetto a 30 anni fa**.

I CAMBIAMENTI EVIDENZIATI

Il confronto tra i due periodi ha evidenziato un **aumento** significativo sia della **ricchezza specifica** (intesa come numero di taxa) che dell'indice di **diversità** e ciò è dovuto principalmente al gruppo tassonomico degli anellidi policheti (vermi segmentati marini), che è il gruppo faunistico più rappresentativo del sedimento fangoso anche in termini di abbondanza degli individui. Tale aumento è stato molto più evidente **nei corpi idrici a maggiore salinità**, localizzati in prossimità degli scambi mare-laguna, rispetto alle zone più confinate all'interno della laguna e maggiormente soggette agli apporti fluviali.

	1993	1994	1995	2008	2011	2014	2018	2021
TME	3,2±0,17	2,79±0,16	2,89±0,05	3,06±0,05	3±0,00	3,01±0,01	3,28±0,22	3,13±0,15
TPO	2,67±0,23	2,66±0,14	2,15±0,2	3,49±0,18	3,07±0,11	3,29±0,19	2,78±0,39	3,03±0,13
TEU	2,68±0,17	2,11±0,21	0,69±0,26	3,13±0,29	3,11±0,13	3,09±0,35	2,94±0,47	2,27±0,33

Valori medi (\pm E.S.) del grado di disturbo ambientale (indice AMBI).

Azzurro: indisturbato, verde: leggermente disturbato, giallo: moderatamente disturbato.

Il grado medio di **disturbo ambientale** è rimasto **costante** e ha indicato che il *macrozoobenthos* è sempre sottoposto a un leggero grado di disturbo per la maggior parte dei corpi idrici in tutti gli anni di campionamento. Dalle elaborazioni effettuate, sono state evidenziate nelle comunità biologiche modificazioni statisticamente significative rispetto a 30 anni fa. In particolare, nei corpi idrici a maggiore salinità (TEU) è stato riscontrato che le comunità del *macrozoobenthos* sono **divenute più simili a quelle tipiche del dominio marino** rispetto alla biocenosi tipica degli ambienti di transizione, la quale è caratterizzata da specie animali adattate ad ampie escursioni di salinità e temperatura durante l'anno.

IL PARADOSSO DEGLI AMBIENTI DI TRANSIZIONE

La **biocenosi** caratteristica degli ambienti di transizione è **tipica degli ambienti naturalmente instabili**, dove le elevate escursioni di salinità e temperatura si verificano a causa delle piene dei fiumi, delle piogge o dell'elevato tasso di evaporazione durante l'estate.

Alcune specie bentoniche tipicamente lagunari dei fondi mobili sono capaci di tollerare anche un moderato grado di ipossia, di arricchimento organico, oltre a un moderato disturbo meccanico come la risospensione dei sedimenti. La maggior parte di queste specie infatti sono estremamente opportuniste e a elevato potenziale riproduttivo, come gli anellidi policheti che in questi ambienti possono rappresentare anche l'80% del popolamento in termini di abbondanza numerica.

Pertanto, a causa di queste particolari caratteristiche intrinseche di questi habitat costieri, molto spesso **non è possibile distinguere** un disturbo di **origine antropica** da un altro originato dalla **naturale fluttuazione** dei parametri ambientali. Questo fenomeno nella letteratura scientifica è propriamente conosciuto come il paradosso degli ambienti di transizione.

ECOSISTEMI PARALICI, CONFINAMENTO, ZONAZIONE: ECCO LA SPIEGAZIONE

Dall'inizio degli anni '80, due ricercatori francesi, Olivier Guelorget e Jean-Pierre Perthuisot, introdussero i concetti di "ecosistema paralico" e di "confinamento" nella geomorfologia costiera, nella sedimentologia, nell'idrologia e nell'ecologia delle lagune e degli habitat simil-lagunari delle coste mediterranee.

Con il termine **paralico** venne definito un ecosistema costiero che possiede un certo rapporto con il mare e che è caratterizzato da comunità viventi originali e da processi sedimentari e geochemici peculiari. Il tempo necessario affinché in un determinato punto di questo ecosistema si rinnovino gli elementi di origine marina determina il suo grado di "**confinamento**" e quest'ultimo è uno dei principali parametri ambientali responsabili della **zonazione biologica**, ossia della distribuzione dei diversi organismi nelle diverse zone dell'ecosistema paralico (la nostra laguna).

Ecco quindi spiegata la crescente **diminuzione del numero delle specie** man mano che ci sposta dalle bocche a mare della laguna **verso le aree più interne** e confinate, caratterizzate invece da **valori più elevati della biomassa**. Per questo motivo le zone più interne della Laguna di Marano e Grado, sebbene povere di specie, rappresentano invece una ricca zona di pascolo e di nursery per molte specie ittiche di interesse commerciale.

AUMENTA LA BIODIVERSITÀ, DIMINUISCE LA PRODUTTIVITÀ

Il significativo aumento del numero delle specie a indole più marina in tutta la laguna, rispetto a 30 anni fa, induce concretamente a ipotizzare una diminuzione del grado di confinamento a causa della **marinizzazione**, fenomeno originato dall'innalzamento del livello medio del mare e accentuato da altri fattori locali, come già descritto nell'edizione 2023 di Segnali dal clima in FVG.



Foto: ARPA FVG

Streblospio shrubsolii (Buchanan, 1890) – anellide polichete.



Foto: ARPA FVG

Abra segmentum (Récluz, 1843) – mollusco bivalve.



Foto: ARPA FVG

Hediste diversicolor (O.F. Müller, 1776) – anellide polichete.

Paradossalmente questa evoluzione dei popolamenti bentonici **potrà migliorare la qualità ecologica dei corpi idrici** ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque. D'altro canto però, questa tendenza sta causando la **perdita delle caratteristiche peculiari** degli ambienti lagunari, ovvero la minore biodiversità rispetto al mare, ma con una maggiore produttività in termini di biomassa, la quale è fondamentale per sostenere un'**economia basata sulla pesca e l'acquacoltura**. Un'economia ittica lagunare che oggi, complici anche le recenti invasioni della noce di mare e del granchio blu, sta tentando in tutti i modi di sopravvivere, più per la forte impronta culturale della popolazione lagunare, che per capacità produttiva.

Nicola Bettoso

Ida Floriana Aleffi

Lisa Faresi

Alessandro Acquavita

ARPA FVG

Valentina Pitacco

Istituto Nazionale di Biologia della Slovenia,

Stazione di Biologia Marina di Pirano

Romina Zamboni

Skyproxima

PAROLE CHIAVE

ANELLIDI POLICHETI

vermi segmentati frequenti e abbondanti nei fondali marini.

BENTHOS, SPECIE BENTONICHE

categoria di organismi acquatici che vivono a stretto contatto con il fondo.

BIOCENOSI

comunità delle specie di un ecosistema che vive in un determinato ambiente.

CLASSIFICAZIONE DELLO STATO ECOLOGICO

sistema di valutazione dello stato ecologico di un habitat acquatico in funzione di specifiche classi di qualità.

CONFINAMENTO

nell'ambito degli habitat lagunari viene inteso come la distanza di un'area lagunare rispetto al mare.

DATASET

insieme di dati ambientali per definire la struttura di un ecosistema.

ECOTONO

ambiente di transizione tra due ecosistemi ben distinti.

EQB

elementi di qualità biologica da monitorare per definire lo stato ecologico di un habitat acquatico.

FONDO MOBILE

habitat acquatico costituito da sedimenti sabbiosi o fangosi.

INVERTEBRATI

gruppo di animali privi di colonna vertebrale o di uno scheletro interno.

IPOSSIA

condizione di carenza di ossigeno disciolto nell'acqua al livello del fondale marino o lagunare.

MACROZOOBENTHOS

gruppo di organismi bentonici animali aventi dimensioni superiori a 1 mm.

NURSERY

aree di rifugio e di crescita per le forme giovanili dei pesci.

PARALICO

ambiente acquatico situato tra il dominio continentale e quello marino.

TAXA

categorie tassonomiche o gruppi nei quali vengono classificati gli esseri viventi.

VALLI DA PESCA

aree lagunari delimitate da argini nelle quali si pratica la vallicoltura, ovvero una tipologia di allevamento ittico ottenuto con le sole risorse naturali.

Scarica tutti i “Segnali dal clima in FVG”:

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