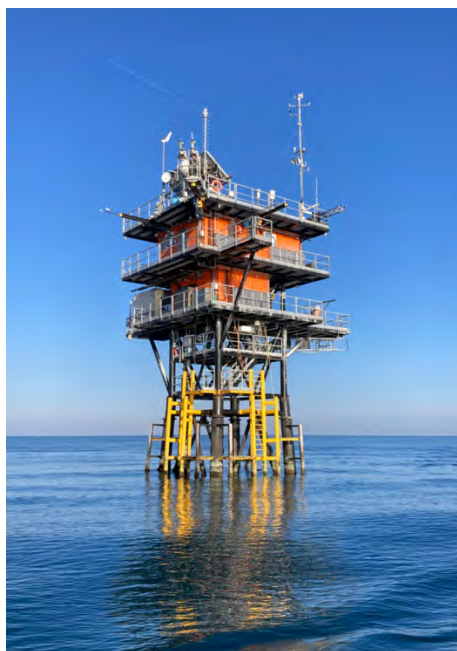




**CNR
ISMAR**
ISTITUTO
DI SCIENZE
MARINE



PIATTAFORMA DI RICERCA OCEANOGRAFICA “ACQUA ALTA”

OCEANOGRAPHIC RESEARCH TOWER “ACQUA ALTA”

**Mare Adriatico
45.314 N, 12.508 E**

- BOLLETTINO 2023

Indice

- **L'anomalia della temperatura dell'aria e del mare**
- **Livello del mare: le basse maree di febbraio**
- **Un nuovo strumento per il monitoraggio dello stato del mare e la verifica delle previsioni delle onde in piattaforma**
- **Test di una boa della Rete Ondametrica Nazionale Italiana**
- **Misure acustiche di onde interne ad alta frequenza**
- **Misura di onde frangenti da immagini digitali**
- **Monitoraggio del reclutamento larvale della specie protetta *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia)**
- **Uno studio della durabilità del legno**

Venezia

Tesa 104 - Arsenale,
Castello 2737/F
30122 - Venezia, IT
+39 041 2407911
www.ismar.cnr.it

Bologna

Area della Ricerca
di Bologna –
Via P. Gobetti 101
40129 - Bologna, IT
+39 051 639 8891

Lerici

Forte Santa Teresa,
Pozzuolo di Lerici
19032 - La Spezia, IT
+39 0187 1788900

Napoli

Calata Porta Di Massa
Porto Di Napoli 80
80133 - Napoli, IT
+39 081 5423802

Roma

Area della Ricerca
di Roma 2 - Tor Vergata
Via del Fosso del Cavaliere 100
00133 - Roma, IT
+39 06 45488634

Trieste

Area Science Park
Basovizza - Edificio Q2
Strada Statale 14, km 163.5
34149 - Trieste, IT
+39 040 3756872

L'anomalia della temperatura dell'aria e del mare

Alvise Benetazzo, Christian Ferrarin (CNR-ISMAR); Alvise Papa (Comune di Venezia)

Il 9 gennaio 2024, il Servizio Copernicus sui cambiamenti climatici della Commissione europea ha pubblicato un comunicato intitolato "Il 2023 è l'anno più caldo mai registrato, con temperature globali vicine al limite di $+1,5^{\circ}\text{C}$ ". Il comunicato afferma che le temperature globali hanno raggiunto livelli eccezionalmente alti nel 2023, riportando condizioni da record, come il mese più caldo mai registrato e le medie giornaliere delle temperature globali che hanno superato i livelli pre-industriali di oltre $+2^{\circ}\text{C}$. Le temperature globali senza precedenti a partire da giugno hanno fatto sì che il 2023 diventasse l'anno più caldo mai registrato, superando di gran lunga il 2016, il precedente anno più caldo. Nel Mare Adriatico settentrionale, i primi segnali di quanto il 2023 sarebbe diventato insolito sono iniziati a emergere all'inizio di gennaio, quando le anomalie mensili della temperatura dell'aria rispetto al periodo 2003-2020 hanno raggiunto i $+2^{\circ}\text{C}$ (Fig. 1). Per l'autunno 2023, le anomalie mensili della temperatura dell'aria superiori a $+2^{\circ}\text{C}$ sono diventate regolari a settembre e ottobre. Su base annua, l'anomalia della temperatura dell'aria è stata di $+0,7^{\circ}\text{C}$. Le temperature superficiali del mare (Fig. 2) sono rimaste persistentemente e insolitamente elevate a gennaio, agosto e ottobre, determinando tre significativi episodi di ondate di calore marino (marine heat wave, MHW).

Dati: Città of Venezia, <https://www.comune.venezia.it/it/content/3-piattaforma-ismar-cnr>

Link: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>

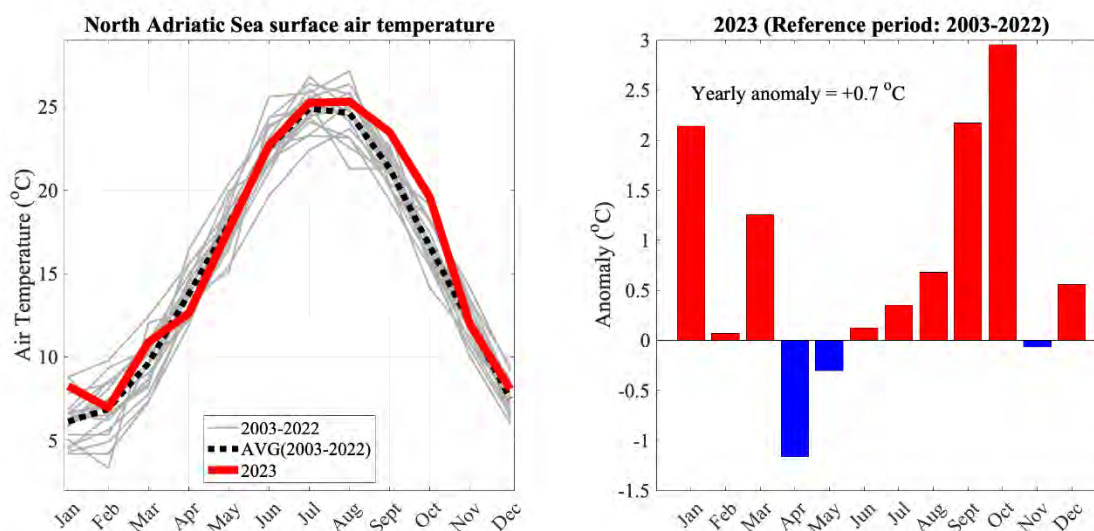


Figura 1 | (sinistra) Andamento delle temperature dell'aria, sotto forma di medie mensili, registrate presso la piattaforma "Acqua Alta". Anno 2023: linea rossa; anni 2003-2022: linee grigie; media degli anni 2003-2022: linea nera tratteggiata. (destra) Anomalia mensile relativa al periodo 2003-2020.

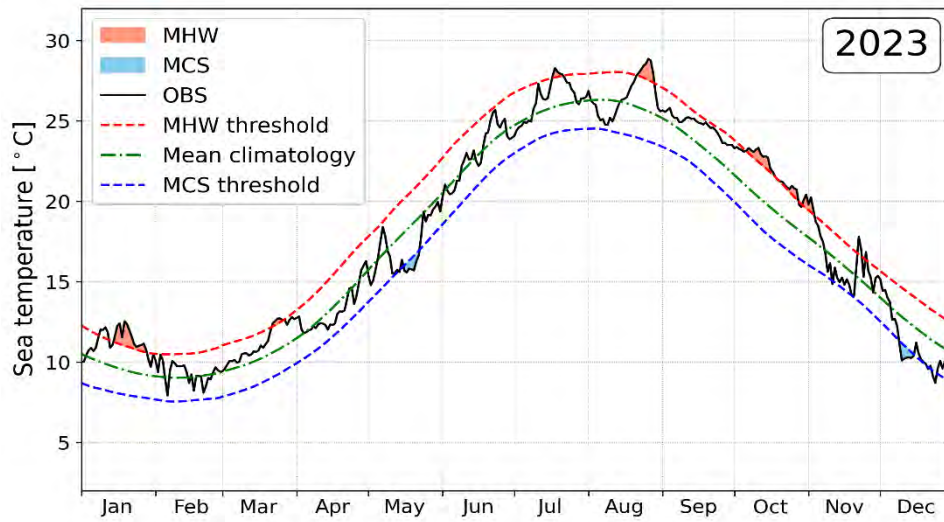


Figura 2 | Andamento della temperatura media giornaliera dell'acqua registrata alla profondità di 3 metri dalla superficie. Le linee rossa, verde e blu indicano rispettivamente il 90th percentile, la mediana e il 10th percentile della climatologia del periodo 2003-2022. La linea nera indica l'anno 2023. Le zone rosse e blu indicano rispettivamente le Marine Heat Wave (MHW) e le Marine Cold Spell (MCS).

Livello del mare: le basse maree di febbraio

Christian Ferrarin (CNR-ISMAR)

Il livello medio del mare dell'anno 2023 è stato di 38.6 cm (terzo valore più alto mai registrato dal 1974), valore che conferma il trend crescente in Nord Adriatico. Nell'anno 2023 sono stati registrati 14 eventi con valori di picco superiori a 110 cm, concentrati nella seconda metà di gennaio e nel periodo tra fine ottobre ed inizio novembre. In particolare, dal 26 ottobre al 5 novembre si sono verificati 7 picchi superiori a 110 cm con un valore massimo di 144 cm registrato il 27 ottobre. Questa serie di eventi di acque alte è da imputare a singoli episodi di vento di Scirocco ed anche ad un anomalo alto livello medio del mare Adriatico in ottobre e novembre (vedasi Fig. 3 riportante i valori medi mensili) dovuto a onde planetarie atmosferiche che hanno interessato il bacino Mediterraneo. Un aspetto peculiare dell'anno 2023 è l'anomalo basso livello medio del mare del mese di febbraio (Fig. 3) che risulta essere il valore minimo registrato dal 1974 in Piattaforma Acqua Alta. Tale basso livello medio del mare ha determinato una serie di basse maree eccezionali (valori inferiori ai -50 cm a Punta della Salute) in Laguna di Venezia con conseguenti disagi per la navigazione nei canali della città.

Dati: Comune di Venezia, <https://www.comune.venezia.it/it/content/3-piattaforma-ismar-cnr>

Link: <https://www.comune.venezia.it/it/content/massimi-e-minimi-significativi-registrati-nellanno-corso>

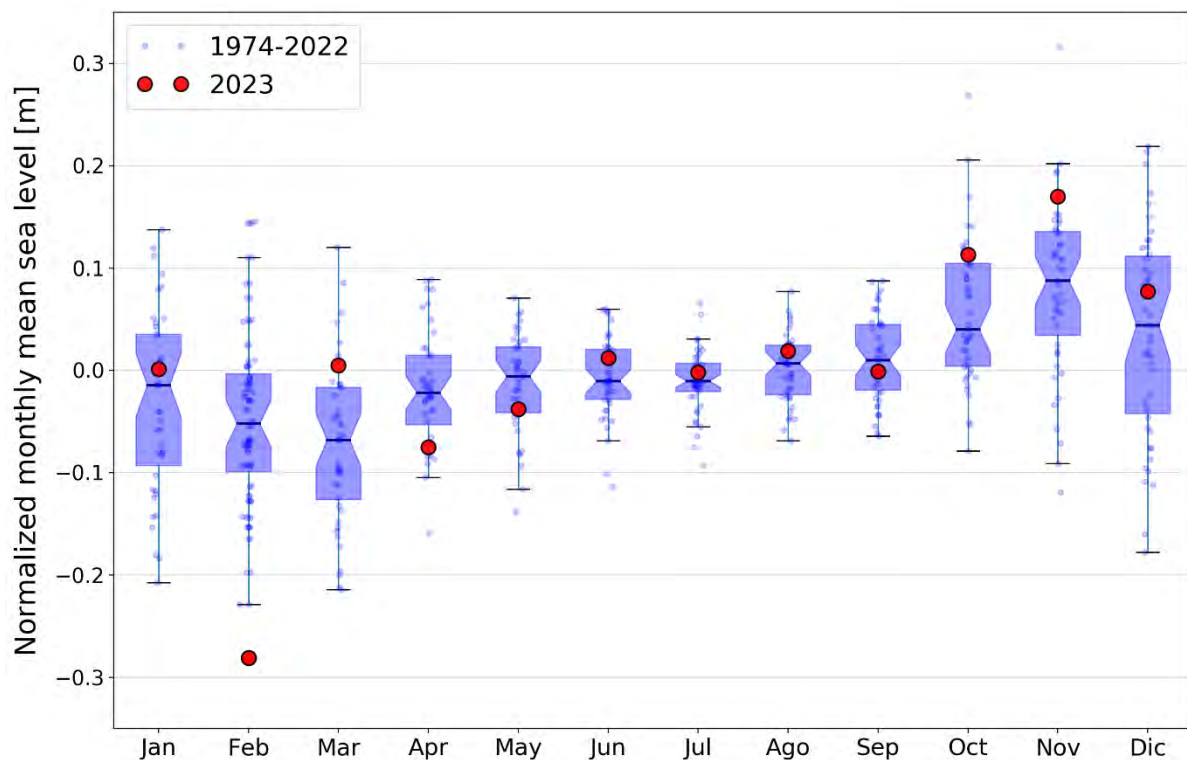


Figura 3 | Boxplot del livello del mare medio mensile normalizzato per il periodo 1974-2022 (pallini blu) e l'anno 2023 (pallini rossi). Il box si estende dal primo al terzo quartile dei dati con una linea sulla mediana.

Un nuovo strumento per il monitoraggio dello stato del mare e la verifica delle previsioni delle onde

Francesco Barbariol, Alvise Benetazzo, Mauro Bastianini (CNR-ISMAR); Alvise Papa (Comune di Venezia).

Nel mese di ottobre 2023 la rete osservativa meteo-marina della piattaforma “Acqua Alta” è stata dotata di un ulteriore strumento per la misura delle onde sulla superficie del mare: una boa ondometrica “SPOTTER” (Sofar Ocean, USA). La boa appartiene alla nuova generazione di boe ondometriche, sempre più diffuse a livello globale, che abbina la praticità ed economicità delle ridotte dimensioni (simili a quelle di un pallone da basket) ad una seppur buona accuratezza delle misure. Altre due boe di questo genere sono operative lungo il litorale veneziano: al Cavallino e a Malamocco. L’opportunità di impiegare questo strumento anche in piattaforma (la boa è ancorata a poche decine di metri) è scaturita dalla necessità di garantire la continuità del monitoraggio durante la manutenzione straordinaria dello strumento di norma utilizzato per la misura delle onde in piattaforma (un ondometro acustico posto sul fondale nelle vicinanze). In Fig. 4 (pannello di sinistra) la serie temporale dell’altezza d’onda significativa misurata dalla boa dal 2 ottobre al 31 dicembre 2023 mostra la fitta sequenza di eventi tempestosi che ha interessato il Golfo di Venezia da ottobre, con valori al picco frequentemente prossimi ai 3 metri. Eventi di questa intensità, specialmente quando associati ad alte maree, sono stati in grado di provocare allagamenti lungo i litorali ed erosione delle spiagge. Pertanto, essere in grado di prevederli in anticipo consente di mettere in atto opportune misure di protezione e mitigazione. In questo contesto, i dati raccolti dalla boa in tempo reale sono impiegati per la verifica in itinere delle previsioni dello stato del mare del sistema *PELMO*, sviluppato da CNR-ISMAR in collaborazione con il Centro Previsione e Segnalazione Maree del Comune di Venezia, che distribuisce quotidianamente le previsioni tramite il suo portale web. In Fig. 4 (pannello di destra) la misura dell’altezza d’onda significativa della boa (in blu) è sovrapposta alle previsioni del sistema *PELMO* alla piattaforma (in scala di colore rosso), in modo da valutare la bontà di quest'ultime.

Link: <https://www.comune.venezia.it/content/previsioni-onda-alto-adriatico-0>,
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.1002786/full>

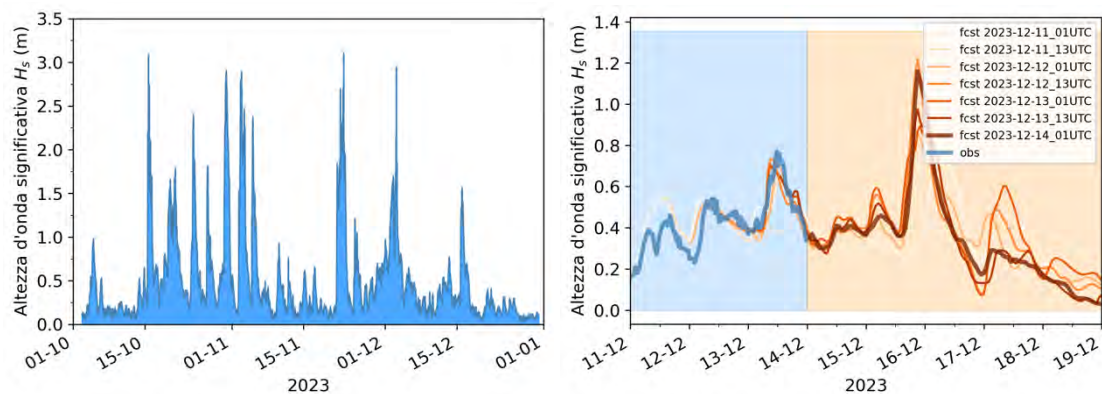


Figura 4 | Altezza d’onda significativa misurata dalla boa SPOTTER alla piattaforma “Acqua Alta” dal 2 ottobre al 31 dicembre 2023 (pannello di sinistra) ed esempio di confronto tra la misura della boa e le previsioni del sistema PELMO per la valutazione della bontà delle previsioni (pannello di destra). Nel pannello di destra, le diverse previsioni (fcst) effettuate a partire dalle 01UTC e 13UTC di ogni giorno e rappresentate con una scala di colore rosso (tono chiaro, la più vecchia; tono scuro, la più recente), sono confrontate con le misure disponibili più recenti nella parte della figura a sfondo blu, mentre sono mostrate per i successivi 5 giorni nella parte a sfondo arancione.

Test di una boa della Rete Ondametrica Nazionale Italiana

Filippo Bergamasco, Mara Pistellato (Università Ca'Foscari di Venezia); Alvise Benetazzo, Francesco Barbariol, Luigi Cavaleri (CNR-ISMAR); Marco Picone, Arianna Orasi, Maurizio Ferla (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA); Alex Stevanin (SIAP+MICROS)

Le onde sulla superficie marina generate dal vento sono state misurate con diversi sistemi per oltre sei decenni. Questi includono sonde superficiali, profilatori acustici, sensori di pressione da unità singole ad array, sistemi stereo, radar e boe per onde. Le boe sono disponibili in varie forme, dimensioni, scafo, sottostrutture e configurazioni di ormeggio. La verifica delle prestazioni delle boe per quanto riguarda i parametri delle onde di massa richiede il confronto con strumenti di riferimento e l'analisi della risposta della boa al campo d'onda in arrivo. Con questo obiettivo, abbiamo sfruttato un sistema di stereo-camere esistente presso la piattaforma "Acqua Alta" per realizzare un esperimento di tracciamento di una boa da onda della Rete Ondametrica Nazionale Italiana (RON), misurando al contempo il campo di elevazione 3D della superficie marina circostante. È stata progettata una procedura di tracking accurata basata su un processo in due fasi. Nella prima, la boa viene rilevata e identificata in modo indipendente nelle sequenze video della camera sinistra e destra utilizzando i veloci filtri di correlazione kernelizzati. Poi, per ottenere una localizzazione accurata dell'oggetto, vengono identificati alcuni punti chiave predefiniti sulla struttura della boa, che vengono fatti corrispondere tra le viste sinistra e destra e triangolati. Il metodo studiato consente di descrivere il movimento della boa non solo in termini di elevazione verticale (*heave*), ma anche sul piano orizzontale 2D (cioè *surge* e *sway*). Queste informazioni, uniche nel loro genere, consentono di effettuare diversi confronti tra i dati provenienti dai sensori interni della boa (accelerometri), il tracciamento 3D e il campo d'onda spazio-temporale sottostante.

Link: <https://www.mareografico.it>; <https://sites.google.com/unive.it/wass/home>

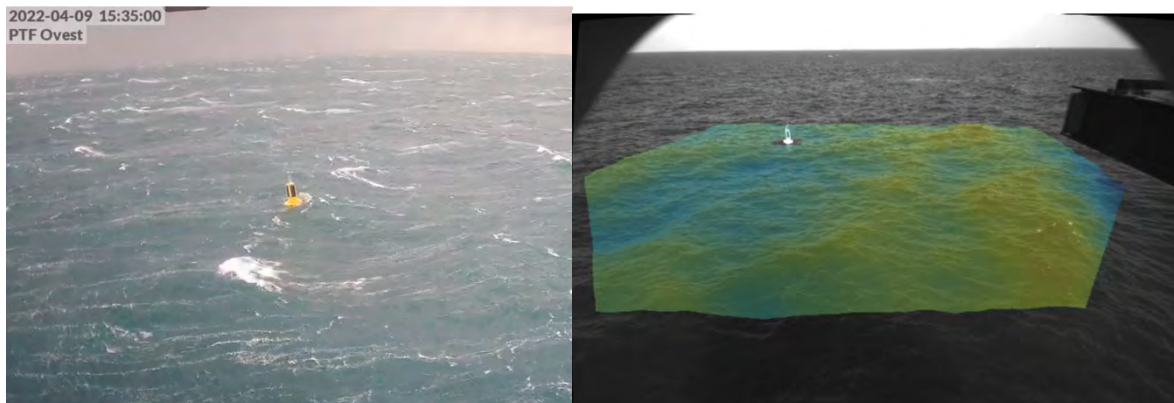


Figura 5 | (sinistra) Un'istantanea della boa d'onda della rete italiana RON in condizioni di tempesta e (destra) la boa con il campo d'onda tridimensionale circostante (in scala di colore) misurato con le telecamere stereo del sistema WASS.

Misure acustiche di onde interne ad alta frequenza

Silvio Davison, Alvise Benetazzo, Mauro Bastianini (CNR-ISMAR)

A maggio 2023 è stata registrata per la prima volta nei pressi della piattaforma “Acqua Alta” una serie temporale di oscillazioni all’interno della colonna d’acqua, denominate onde di gravità interne, ad una profondità compresa tra i 5 e i 10 metri. Simili alle onde superficiali prodotte dal vento all’interfaccia tra mare e aria, le onde interne si propagano orizzontalmente lungo la superficie di discontinuità tra due strati di acqua a diversa densità (picnoclino), tipicamente risultanti da variazioni di temperatura e/o salinità. A seconda del meccanismo di generazione delle onde interne (es. plume fluviali, stress da vento, flussi di marea, forti variazioni batimetriche), le loro dimensioni spaziali e temporali sono variabili. Il rilevamento di questo particolare evento, caratterizzato da ampiezze di circa 2 m e periodi compresi tra 5 e 10 minuti, è stato ottenuto grazie ad una sonda ad ultrasuoni ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) installata a dicembre 2022 sul fondale (profondità di circa 17 metri) nei pressi della piattaforma per monitorare le interazioni aria-mare. Osservando il campo dell’intensità di retrodiffusione acustica, al variare della profondità, misurato dall’ADCP il giorno 8 maggio 2023 (Fig. 6, pannello di sinistra) è possibile individuare il treno di onde interne (linea nera) all’interfaccia tra due strati di acqua a diversa densità (scala di colore blu), che scorrono l’uno sull’altro in direzioni opposte (Fig. 6, pannello di destra) con una velocità relativa di 0.4 m/s. Lo studio dei processi legati alla formazione delle onde interne è di notevole importanza dato il loro ruolo nel rimescolamento turbolento delle masse d’acqua e nel conseguente trasporto verticale di nutrienti, calore e gas, con importanti risvolti per gli ecosistemi costieri e per il clima.

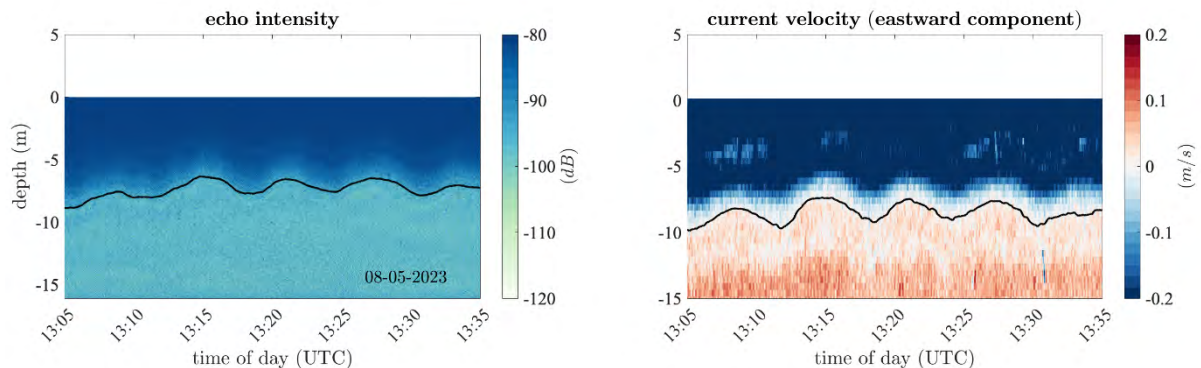


Figura 6 | Intensità di retrodiffusione (sinistra) e componente orizzontale della velocità della corrente (destra) al variare della profondità nei pressi della piattaforma “Acqua Alta” il giorno 8 maggio 2023, misurate da un ADCP Nortek Signature 1000.

Misura di onde frangenti da immagini digitali

Adrian Callaghan, Joe Peach (Imperial College, London); Filippo Bergamasco, Mara Pistellato (University of Venice "Ca' Foscari"); Alvisè Benetazzo (CNR-ISMAR)

Le onde che si frangono sulla superficie dell'oceano sono molto importanti per lo scambio di quantità di moto, energia e massa tra l'oceano e l'atmosfera. Poiché le onde frangenti sufficientemente energetiche formano i cosiddetti *whitecaps* oceanici, possono essere efficacemente identificate nelle immagini della superficie. Tuttavia, si sa molto poco sulle distribuzioni statistiche della loro energia e dinamica, in parte a causa dell'insufficiente comprensione dell'idrodinamica sottostante e della mancanza di adeguati algoritmi di elaborazione delle immagini in grado di identificare i singoli *whitecaps* mentre si evolvono nello spazio e nel tempo. In una collaborazione tra l'Imperial College di Londra, l'Università di Venezia e il CNR-ISMAR, con il finanziamento del *Natural Environment Research Council (NERC)* del Regno Unito, è stata sviluppata una nuova routine di elaborazione delle immagini che consente di identificare, etichettare e seguire i singoli *whitecaps* tra immagini sequenziali mentre si evolvono sulla superficie dell'oceano. Un'unica istantanea mostra un singolo *whitecap* identificato con vettori di flusso ottico associati che vengono utilizzati per calcolarne la velocità. I *whitecaps* vengono tracciati in questo modo su scale temporali. Questa nuova elaborazione consente una comprensione e una descrizione statistica senza precedenti dei *whitecaps* marini.



Figura 7 | Il pannello A mostra la superficie del mare con i frangenti riprese dalla piattaforma "Aqua Alta". Il pannello B mostra un primo piano di un frangente che si sta rompendo attivamente, tracciata individualmente. Le frecce rappresentano il movimento del *whitecap* calcolato con la tecnica di elaborazione delle immagini a flusso ottico.

Monitoraggio del reclutamento larvale della specie protetta *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia)

Marco Sigovini, Andrea Sabino, Tihana Marčeta, Irene Guarneri, Alessandro Bergamasco (CNR-ISMAR)

Pinna nobilis (L. 1758) è una specie endemica e il più grande bivalve del Mediterraneo, dove è distribuito in vari habitat, quali praterie di *Posidonia* e affioramenti rocciosi. Svolge un ruolo ecologico chiave aumentando la complessità strutturale dell'habitat e la biodiversità e contribuendo alla funzionalità complessiva dell'ecosistema. Per il suo valore ecologico e la sua vulnerabilità *Pinna nobilis* è soggetta a tutela da parte di leggi nazionali e internazionali, come la Convenzione di Barcellona e la Direttiva Habitat. Nel 2016 si è verificata un'epidemia nel Mediterraneo occidentale, che si è poi diffusa rapidamente verso est seguendo le correnti principali, provocando eventi di mortalità di massa (MME) con tassi di mortalità fino al 100% e un drastico calo delle popolazioni in tutto l'areale delle specie. L'Alto Adriatico è stata una delle ultime aree raggiunte dall'epidemia, nel 2019. La malattia è stata associata al protozoo parassita di nuova descrizione *Haplosporidium pinnae*, tuttavia altri possibili agenti eziologici sono stati poi identificati. Tassi di sopravvivenza più elevati sembrano essere associati agli ecosistemi costieri di transizione (ECT), come la Laguna di Venezia. Oltre ad essere un rifugio per le popolazioni relitte, gli ECT possono rappresentare una fonte di propaguli. Per studiare la presenza di riproduttori residui, il reclutamento della popolazione e le dinamiche di dispersione delle larve planctoniche, diversi collettori di larve, conformi al protocollo Kersting & Hendriks (2019) per *P. nobilis*, sono stati posizionati in diverse località dell'Adriatico settentrionale, inclusa la Laguna di Venezia, all'inizio della stagione riproduttiva 2023. Un set di 20 collettori è stato posizionato dalla squadra subacquea della Polizia di Stato di Venezia a cinque diverse profondità (quattro repliche ciascuna) presso la Piattaforma Oceanografica Acqua Alta il 19/07/2023, nell'ambito del progetto INTERREG IT-SI TRECcap. Ogni collettore è costituito da filamenti di nylon aggrovigliati come substrato di insediamento per le larve, posti all'interno di un sacchetto di rete di plastica che funge da protezione contro i predatori. I collettori sono stati recuperati il 22/01/2023 e sottoposti ad attenta cernita per verificare la presenza di giovanili insediati. Numerosi individui vivi sono stati rinvenuti. Per ciascun esemplare sono stati registrati il peso fresco e le principali biometrie. Sono stati campionati anche gli altri bivalvi insediati, al fine di caratterizzare il reclutamento complessivo. Uno stabulario appositamente predisposto per il mantenimento dei giovanili è stato posizionato presso la Piattaforma Acqua Alta, a un paio di metri dal fondale. L'analisi del dataset completo della rete di collettori contribuirà alla comprensione delle dinamiche ecologiche della specie e alla valutazione del suo stato di conservazione.

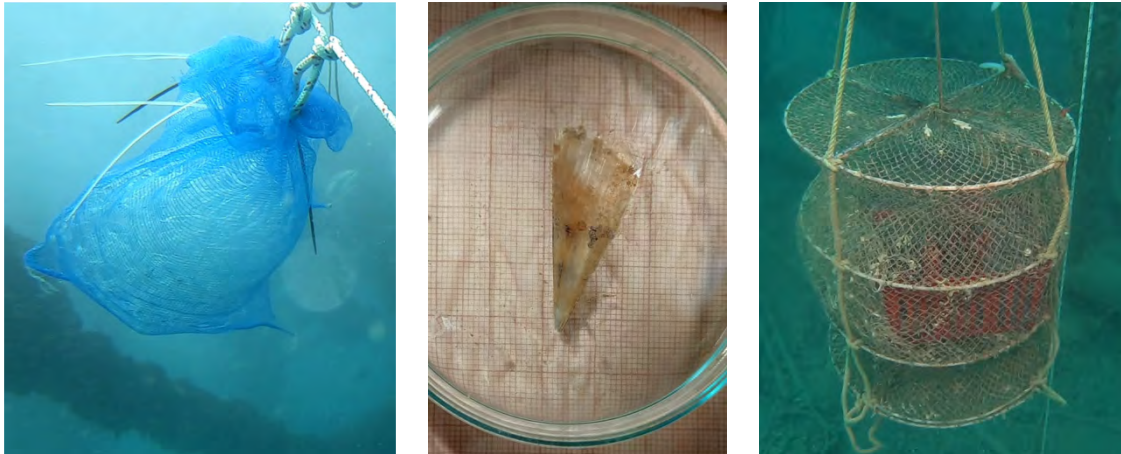


Figura 8 | (sinistra) uno dei collettori di larve planctoniche di *Pinna nobilis* collocati nel luglio 2023 e recuperati nel gennaio 2024; (al centro) giovanile di *Pinna nobilis* (carta millimetrata per riferimento dimensionale); (a destra) stabulario per ospitare esemplari giovanili provenienti da collettori larvali.

Uno studio della durabilità del legno

Irene Guarneri, Marco Sigovini, Andrea Sabino, Davide Tagliapietra* (CNR-ISMAR)

*Davide Tagliapietra è scomparso prematuramente il 15/09/2023

La degradazione del legno avviene attraverso fattori abiotici e biotici. A differenza dell'ambiente terrestre e delle acque interne, dove gli organismi maggiormente attivi sono microrganismi come funghi e batteri, in ambiente marino la degradazione vede come protagonisti crostacei e molluschi bivalvi. Al primo gruppo afferiscono isopodi del genere *Limnoria* e anfipodi del genere *Chelura*, in grado di produrre enzimi capaci di digerire le lignocellulose. Il secondo gruppo è rappresentato principalmente dalla famiglia delle Teredinidae, forniti di una conchiglia estremamente ridotta rispetto al corpo, usata come fresa per scavare il legno, di cui sono in grado di nutrirsi grazie alla presenza di batteri endosimbionti. La particolare morfologia delle teredini ne ha determinato il nome comune di "vermi delle navi" (*shipworms* in inglese, *bissi dei pai* in veneziano). La caratterizzazione e quantificazione dei processi di attacco e biodegradazione di materiali lignei viene svolta tramite attività sperimentali sulla base di protocolli standardizzati. Tali indagini consistono nell'esposizione in ambiente di provini in legno (soggetto o meno a specifici trattamenti) di dimensioni standard per una durata di 5 anni, e consentono di ottenere informazioni sulla durabilità del materiale, sull'efficacia di trattamenti innovativi e sostenibili a livello ambientale, dando inoltre la possibilità di studiare la biodiversità degli xilofagi e la presenza di specie non indigene. Dal 2021 viene condotta un'attività sperimentale di valutazione secondo lo standard EN275 presso la Piattaforma Acqua Alta, nell'ambito del progetto DuraSoft. In particolare, su un pilone della piattaforma, alla quota di 10 metri, sono stati installati 36 provini in totale, relativi a 5 diverse specie arboree (abete bianco *Abies alba*, abete rosso *Picea abies*, pino silvestre *Pinus sylvestris*, pino di Monterey *Pinus radiata* e quercia *Quercus rubor*) alle quali sono stati applicati diversi trattamenti (es. acetilazione, modificazione termica, impregnazione con formulazioni specifiche per il trattamento di legno di conifera). I test vengono eseguiti in parallelo in aree geografiche e in ambienti differenti. Questo approccio consente di valutare la risposta dei materiali in condizioni diverse e soggetti all'azione di diverse comunità di xilofagi marini. Per questa valutazione le osservazioni avvengono parallelamente nell'area costiera veneta alla piattaforma, in Slovenia a Capodistria e all'interno della laguna di Venezia presso la Darsena dell'Arsenale. L'indagine è tutt'ora in corso e si concluderà nel 2026.

Link: <http://2014-2020.ita-slo.eu/it/durasoft>, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-021-02461-3>

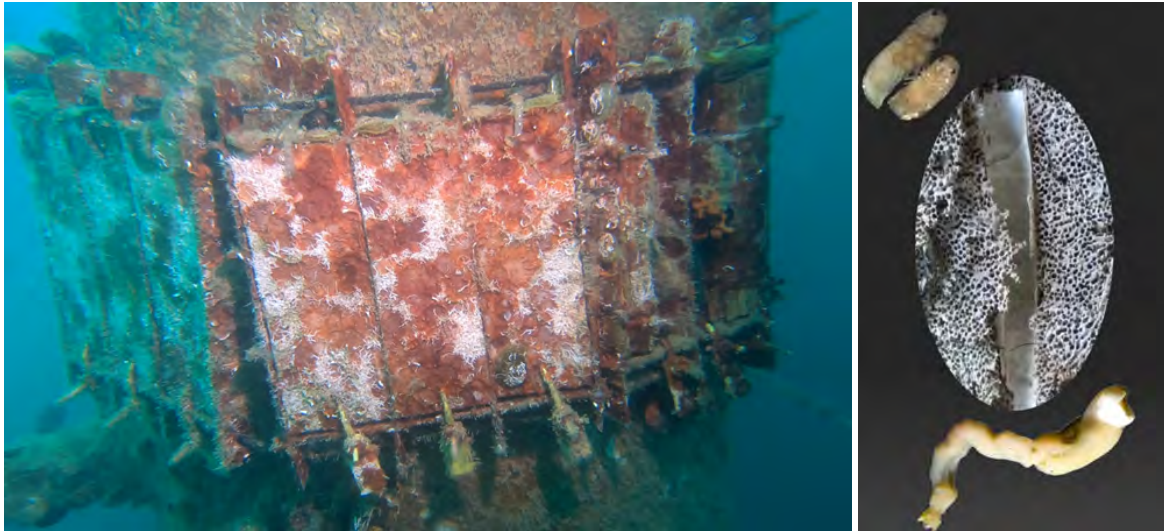
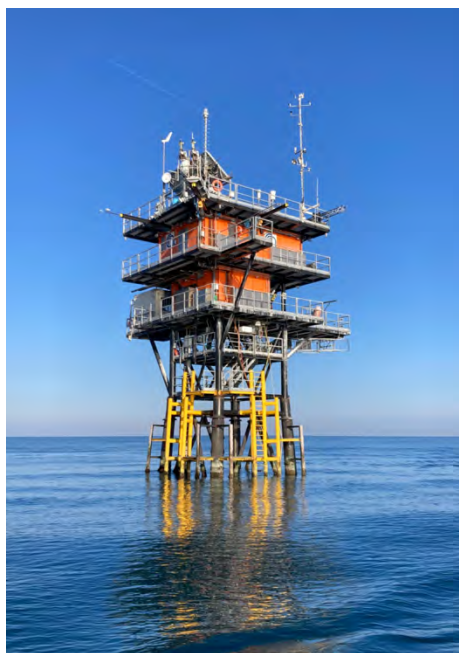


Figura 9 | (sinistra) Pannelli in legno sottoposti a diversi trattamenti in fase di sperimentazione. (destra) Coppia di *Limnoria* sp. In alto e *Teredo bartschi* (specie aliena invasiva) in basso, al centro dettaglio del danno causato dall'azione combinata dei due gruppi organismi (*Limnoria* ha prodotto la foratura fine stratificando il legno, il tubo calcareo centrale è stato prodotto da una teredine).



**CNR
ISMAR**
ISTITUTO
DI SCIENZE
MARINE



OCEANOGRAPHIC RESEARCH TOWER "ACQUA ALTA"

PIATTAFORMA DI RICERCA OCEANOGRAFICA "ACQUA ALTA"

Adriatic Sea

45.314 N, 12.508 E

- BULLETTIN 2023

Index

- **The anomaly of air and water temperatures**
- **The exceptionally low water levels of February**
- **A new buoy for wave monitoring and wave-forecast validation**
- **Testing a wave buoy of the Italian Network**
- **Measurement of high-frequency internal waves**
- **Detection of breaking waves from digital images**
- **Monitoring of larval recruitment of the protected species *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia)**
- **Wood durability study**

Venezia

Tesa 104 - Arsenale,
Castello 2737/F
30122 - Venezia, IT
+39 041 2407911
www.ismar.cnr.it

Bologna

Area della Ricerca
di Bologna –
Via P. Gobetti 101
40129 - Bologna, IT
+39 051 639 8891

Lerici

Forte Santa Teresa,
Pozzuolo di Lerici
19032 - La Spezia, IT
+39 0187 1788900

Napoli

Calata Porta Di Massa
Porto Di Napoli 80
80133 - Napoli, IT
+39 081 5423802

Roma

Area della Ricerca
di Roma 2 - Tor Vergata
Via del Fosso del Cavaliere 100
00133 - Roma, IT
+39 06 45488634

Trieste

Area Science Park
Basovizza - Edificio Q2
Strada Statale 14, km 163.5
34149 - Trieste, IT
+39 040 3756872

The anomaly of air and water temperatures

Alvise Benetazzo, Christian Ferrarin (CNR-ISMAR); Alvise Papa (CPSM, Venice Municipality)

On the 9th of January 2024, the Copernicus Climate Change Service by the European Commission released a communication entitled “2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the +1.5°C limit”. It is stated that global temperatures reached exceptionally high levels in 2023, reporting on record-breaking conditions such as the hottest month on record and daily global temperature averages surpassing pre-industrial levels by more than +2°C. Unprecedented global temperatures from June onwards led 2023 to become the warmest year on record – overtaking 2016, the previous warmest year, by a large margin. In the North Adriatic Sea, the earliest signs of how unusual 2023 was to become began to emerge in early January, when air temperature monthly anomalies relative to 2003-2020 reached +2°C (Fig. 1). For the autumn of 2023, monthly air temperature anomalies above +2°C became regular in September and October. Yearly, the air temperature anomaly was of +0.7 °C. Near-surface sea surface temperatures (Fig. 2) remained persistently and unusually high in January, August, and October, determining three significant events of marine heatwaves (MHW).

Data: City of Venice, <https://www.comune.venezia.it/it/content/3-piattaforma-ismar-cnr>

Link: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>

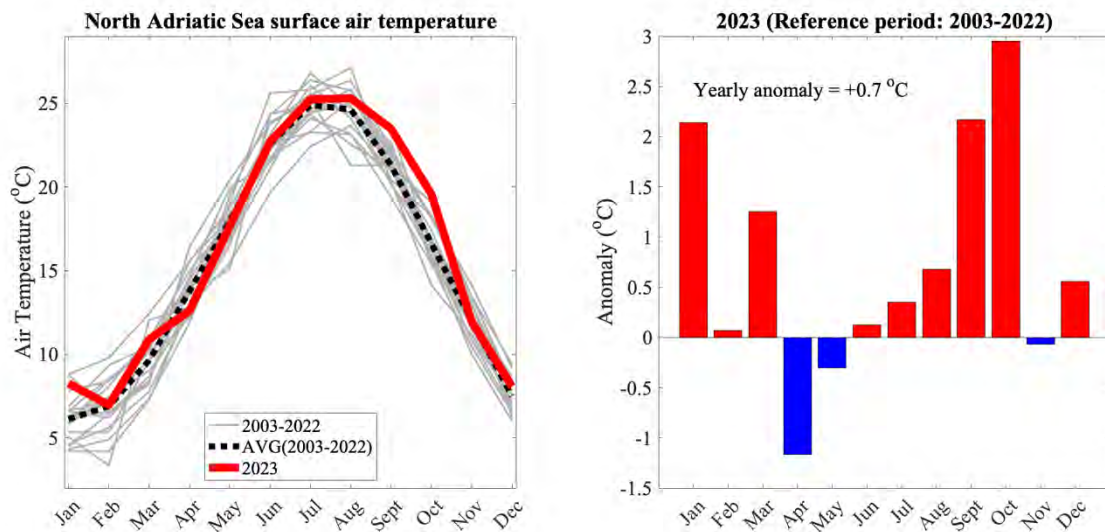


Figure 1 | (left) Trend of air temperatures, in the form of monthly averages, recorded at the "Acqua Alta" platform. Year 2023: red line; Years 2003-2022: grey lines; Average of years 2003-2022: dashed black line. (right) Monthly anomaly relative to 2003-2020.

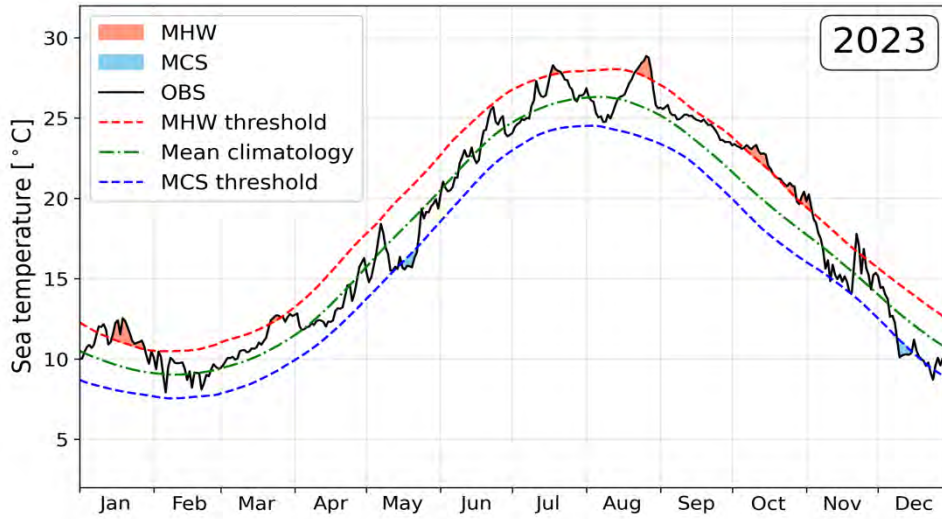


Figure 2 | Trend of daily mean water temperature recorded at 3 meters below the sea surface. The red, green and blue lines indicate the 90th percentile, median and 10th percentile of the 2003-2022 climatology, respectively. The black line indicates the year 2023. The red and blue areas indicate Marine Heat Wave (MHW) and Marine Cold Spell (MCS), respectively.

The exceptionally low water levels of February

Christian Ferrarin (CNR-ISMAR)

The mean sea level for the year 2023 was 38.6 cm (the third highest value ever recorded since 1974), a value that confirms the increasing trend in the Northern Adriatic. In 2023, 14 events were recorded with peak values above 110 cm, concentrated in the second half of January and in the period between the end of October and the beginning of November. In particular, from 26 October to 5 November, seven peaks were above 110 cm, with a maximum value of 144 cm recorded on 27 October. This series of storm tide events can be attributed to single episodes of Sirocco wind and an anomalously high mean level of the Adriatic Sea in October and November (see Fig. 3 showing the monthly average values) due to atmospheric planetary waves which affected the Mediterranean basin. A peculiar aspect of 2023 is the anomalously low average sea level in February (Fig. 3), which appears to be the minimum value recorded since 1974 on the “Acqua Alta” Platform. This low average sea level has resulted in a series of exceptionally low tides (values below -50 cm at *Punta della Salute*) in the Venice Lagoon, with consequent inconveniences for navigation in the city's canals.

Data: City of Venice, <https://www.comune.venezia.it/it/content/3-piattaforma-ismar-cnr>

Link: <https://www.comune.venezia.it/it/content/massimi-e-minimi-significativi-registrati-nellanno-corso>; <https://www.venezia.isprambiente.it/>

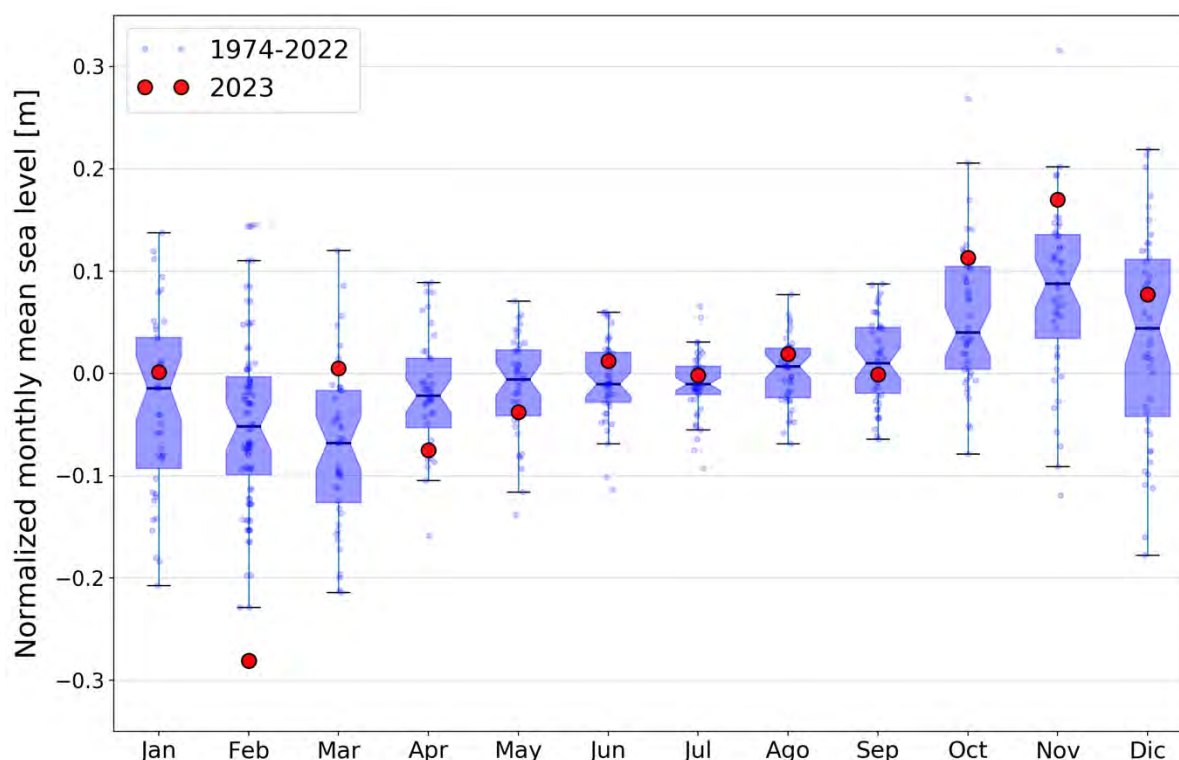


Figure 3 | Boxplot of the normalized monthly mean sea levels for the period 1974-2022 (blue dots) and year 2023 (red dots). The box extends from the first to the third quartiles and the central line marks the median value.

A new buoy for wave monitoring and wave-forecast validation

Francesco Barbariol, Alvise Benetazzo, Mauro Bastianini (CNR-ISMAR); Alvise Papa (CPSM, Venice Municipality)

In October 2023, the meteo-marine observing system at "Acqua Alta" tower was equipped with an additional instrument for measuring waves on the sea surface: a "SPOTTER" wave buoy (Sofar Ocean, USA). The buoy belongs to the new generation of wave buoys, which are becoming increasingly popular globally, combining the convenience and economy of small size (like that of a basketball) with an albeit good accuracy of measurements. Two other buoys are operational along the Venetian coastline: at *Cavallino* and *Malamocco*. The opportunity to employ this instrument also at the tower (the buoy is anchored a few tens of meters away) arose from the need to ensure continuity of monitoring during extraordinary maintenance of the instrument normally used for measuring waves on the platform (an acoustic wavemeter placed on the seabed nearby). In Fig. 4 (left panel) the time series of significant wave height measured from the buoy from October 2 to December 31, 2023, shows the sequence of storm events that has affected the Gulf of Venice since October, with values at the peak frequently approaching 3 meters. Events of such an intensity, especially when associated with high tides, have been capable of causing coastal flooding and beach erosion. Therefore, predicting them in advance allows appropriate protection and mitigation measures to be put in place. In this context, the data collected by the buoy in real time are used for the *in-itinere* verification of the sea state forecasts of the *PELMO* system, developed by CNR-ISMAR in collaboration with the Tide Forecasting and Warning Center of the Municipality of Venice, which distributes the forecasts daily through its web portal. In Fig. 4 (right panel), the significant wave height from buoy measurement (in blue) is superimposed on the *PELMO* system's forecasts at the tower (scaled in red), to assess the reliability of the numerical model.

Link:<https://www.comune.venezia.it/content/previsioni-onda-alto-adriatico-0>,
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.1002786/full>

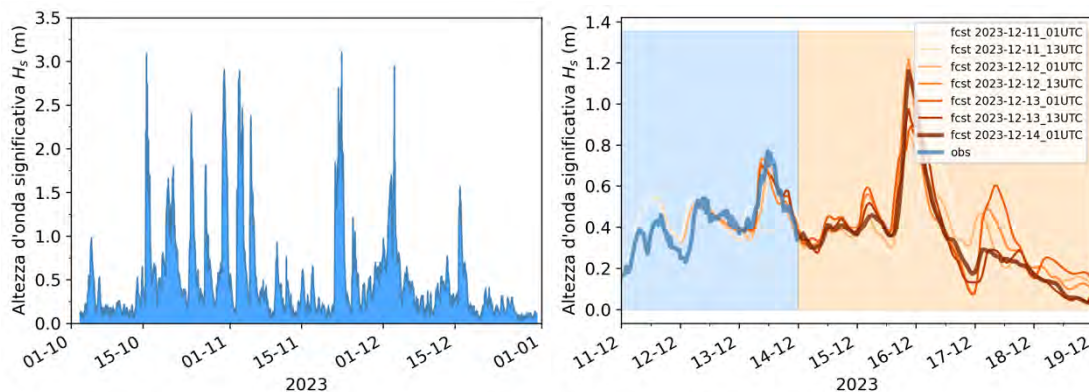


Figure 4 | Significant wave height measured by the SPOTTER buoy at "Acqua Alta" from October 2 to December 31, 2023 (left panel) and an example of comparison between the buoy measurement and the PELMO system forecasts for evaluating the goodness of predictions (right panel). In the right panel, the different forecasts (fcst) made from 01UTC and 13UTC of each day and represented with a red color scale (light, the oldest; dark, the most recent), are compared with the most recent available measurements in the blue background part of the figure, while they are shown for the next 5 days in the orange background part.

Testing a wave buoy of the Italian Network

Filippo Bergamasco, Mara Pistellato (University of Venice “Ca’ Foscari”); Alvise Benetazzo, Francesco Barbariol, Luigi Cavaleri (CNR-ISMAR); Marco Picone, Arianna Orasi, Maurizio Ferla (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA); Alex Stevanin (SIAP+MICROS)

Wind-generated surface gravity waves have been measured by various systems for more than six decades. These include surface-piercing instruments, acoustic profilers, pressure sensors from single units to arrays, stereo systems, radars, and wave buoys. The buoys come in various shapes, sizes, hull and sub-structures, and mooring configurations. Testing buoy performance in bulk wave parameters requires comparison with benchmark instruments and analysis of buoy response to the incoming wave field. With this goal in mind, we exploited an existing stereo-camera system at the “Acqua Alta” platform to do an experiment to track a wave buoy of the Italian Network while measuring the surrounding 3D sea surface elevation field. The research team designed an accurate tracking pipeline based on a two-step process. First, the buoy is detected and identified in the left-right sequences using the fast Kernelized Correlation Filters. Then, to obtain an accurate object localisation, some predefined salient key points on the buoy structure are identified, matched between left and right views, and triangulated. The described process allows us to describe the buoy motion not only in terms of vertical elevation (heave) but also on the 2D horizontal plane (i.e., surge and sway). Such unique information enables to perform several comparisons among data from internal buoy sensors (accelerometers), the 3D tracking, and the underlying space-time wave field.

Link: <https://www.mareografico.it>; <https://sites.google.com/unive.it/wass/home>

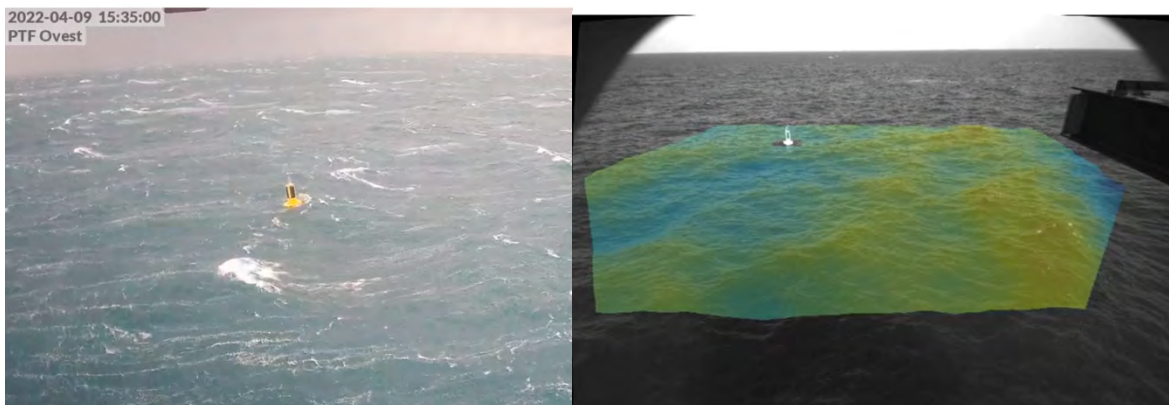


Figure 5 | (left) A snapshot of the wave buoy from the Italian Network RON in stormy conditions, and (right) the buoy with the surrounding 3-D wave field (color-coded and superimposed to the image) measured with stereo cameras.

Measurement of high-frequency internal waves

Silvio Davison, Alvisè Benetazzo, Mauro Bastianini (CNR-ISMAR)

During May, a series of vertical oscillations within the water column, also called internal gravity waves, were measured at the “Acqua Alta” platform for the first time, at a depth between 5-10 meters. Similarly to wind-generated surface waves at the air-sea interface, internal waves propagate horizontally along a density interface (pycnocline), typically resulting from variations in temperature and/or salinity. Depending on the generating mechanism of internal waves (e.g. river plumes, wind stress, tides, strong bathymetry gradients), their spatial and temporal dimensions vary considerably, from a few meters to a few kilometres. This internal wave event at “Acqua Alta”, which was characterized by wave amplitudes of about 2 m and wave periods between 5-10 minutes, was captured using an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ultrasonic probe placed on the sea bottom (depth around 17 meters) and deployed in December 2022 to measure air-sea interaction processes. Indeed, from measurements of the backscatter intensity of the vertically-emitted signal of the ADCP, as a function of depth, it is possible to identify the train of waves present on 8th May 2023 (Fig. 6, left panel) at the interface between two layers of different density (blue color scale) in a shear flow with relative speed of 0.4 m/s and opposite directions (Fig. 6, right panel). The undergoing study of processes connected with the formation of internal waves is relevant given their role in the turbulent mixing and in the vertical transport of nutrients, heat and gases, with important consequences for coastal ecosystems and the climate.

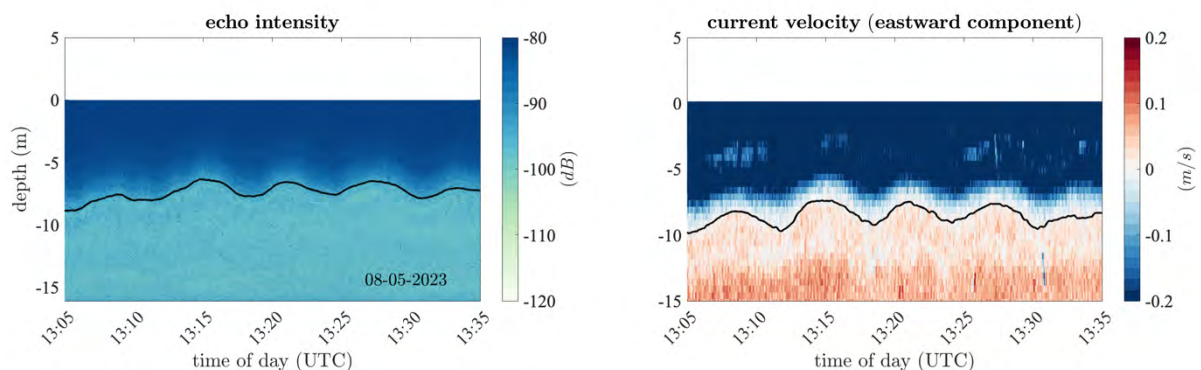


Figure 6 | Backscatter echo intensity (left panel) and eastward horizontal component of the current velocity field (right panel) as a function of depth measured by Nortek *Signature* 1000 ADCP at the “Acqua Alta” platform on 8th May 2023. The black lines indicate a strong density gradient (left panel) and the shear layer interface (right panel), respectively.

Detection of breaking waves from digital images

Adrian Callaghan, Joe Peach (Imperial College, London); Filippo Bergamasco, Mara Pistellato (University of Venice "Ca' Foscari"); Alvis Benetazzo (CNR-ISMAR)

Breaking waves at the ocean surface are profoundly important for driving the exchange of momentum, energy and mass between the ocean and atmosphere. Because sufficiently energetic breaking waves form ocean whitecaps, they can be effectively identified in images of the ocean surface. However, very little is known about the statistical distributions of their energetics and dynamics, in part due to insufficient understanding of the underlying hydrodynamics and lack of suitable image-processing algorithms that can identify individual whitecaps as they evolve in space and time. In a collaboration between Imperial College (London), the University of Venice, and CNR-ISMAR, with funding from the Natural Environment Research Council (NERC) in the UK, it was developed a new image processing routines that allow individual whitecaps to be identified, labelled and tracked between sequential images as they evolve at the ocean surface. A single snapshot shows an individually identified whitecap with associated optical flow vectors that are used to calculate the velocity of the whitecap. Whitecaps are tracked in this manner over timescales. This new capability allows for unprecedented understanding, and statistical descriptions, of oceanic whitecaps.



Figure 7 | Panel A shows the sea surface with whitecaps taken from the "Aqua Alta" platform. Panel B shows a closeup of an individually tracked actively breaking whitecap. The arrows represent the movement of the whitecap computed from optical flow image processing technique.

Monitoring of larval recruitment of the protected species *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia)

Marco Sigovini, Andrea Sabino, Tihana Marčeta, Irene Guarneri, Alessandro Bergamasco (CNR-ISMAR)

The fan mussel *Pinna nobilis* (L. 1758) is an endemic species and the largest bivalve of the Mediterranean, where it is distributed over various habitats, such as seagrass meadows and reefs. It plays a key ecological role by increasing habitat structural complexity and biodiversity and contributing to the overall ecosystem functionality. Due to its ecological value and vulnerability, *Pinna nobilis* is subject to protection by national and international laws, such as the Barcelona convention and the Habitat Directive. In 2016 an epidemic broke out in the western Mediterranean, soon spreading eastwards following main circulation patterns, causing Mass Mortality Events (MMEs) with mortality rates up to 100% and a drastic decline of populations all over the species range. The Northern Adriatic have been one of the last areas to be reached by the epidemics, in 2019. The disease has been associated to the newly described protozoan parasite *Haplosporidium pinnae*, however other possible aetiological agents have been identified. Higher survival rate seems to be associated to coastal transitional ecosystems (CTEs), such as the Venice Lagoon. In addition to be a refugium to relic populations, CTEs may have a role as source of propagules. To investigate the presence of residual spawners, population recruitment and dispersal dynamics of planktonic larvae, several larval collectors following Kersting & Hendriks (2019) protocol for *P. nobilis* have been placed at different locations over the Northern Adriatic, including the Venice Lagoon, at the start of 2023 spawning season. A set of 20 collectors were placed by the scuba team of the State Police of Venice at five different depths (four replicates each) at the Acqua Alta Oceanographic Tower on 19/07/2023, in the framework of INTERREG IT-SI TRECap project. Each collector consists of entangled nylon filament as settlement substratum for larvae, placed inside a plastic mesh bag acting as a protection against predators. The collectors were retrieved on 22/01/2023 and carefully checked for the presence of settled juveniles. Several alive individuals were found. For each specimen, fresh weight and main biometrics were recorded. Other settled bivalves were also sampled to characterize the overall recruitment. A purpose-designed enclosure for the rearing of juveniles have been located at the Acqua Alta Tower, a couple of meters over the seafloor. The analysis of the complete dataset of the collector network will contribute to the understanding of the ecological dynamics of the species and to the evaluation of its conservation status.

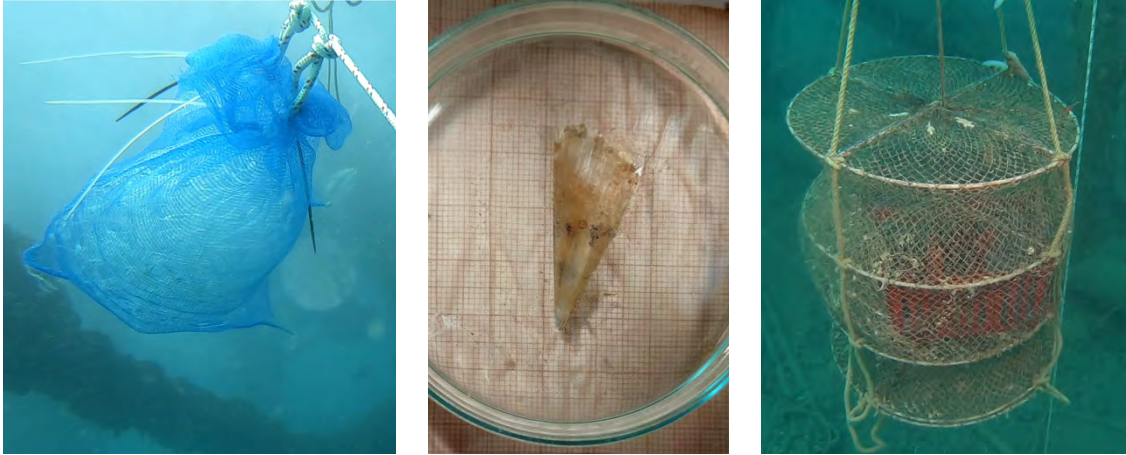


Figure 8 | (left) one of several collectors for *Pinna nobilis* planktonic larvae placed in July 2023 and retrieved in January 2024; (centre) *Pinna nobilis* juvenile (graph paper as size reference); (right) enclosure hosting juveniles from larval collectors.

Wood durability study

Irene Guarneri, Marco Sigovini, Andrea Sabino, Davide Tagliapietra* (CNR-ISMAR)

*Davide Tagliapietra passed away prematurely on 09/15/2023

Wood degradation occurs through abiotic and biotic factors. In contrast to terrestrial and inland waters environment, where the most active organisms are microorganisms such as fungi and bacteria, marine environments see crustaceans and bivalve molluscs as the main protagonists of degradation. The first group includes isopods of the genus *Limnoria* and amphipods of the genus *Chelura*, capable of producing lignocelluloses digesting enzymes. The second group is mainly represented by the family Teredinidae, equipped with a shell significantly reduced compared to the body, used as a mill drill to dig wood, which they can feed on due to the presence of endosymbiotic bacteria. The unique morphology of teredinids has earned them the common name "shipworms". Characterization and quantification of the attack and biodegradation processes of wooden materials are carried out through experimental activities based on standardized protocols. These investigations consist in the exposure of wood panels (subject to specific treatments or not) to the environment for a period of 5 years. The evaluations provide information on the durability of materials, the effectiveness of innovative and environmentally sustainable treatments, as well as the opportunity to study the biodiversity of xylophages and the presence of non-indigenous species. Since 2021, an experimental evaluation activity has been conducted according to the EN275 standard at the Acqua Alta Platform, as part of the DuraSoft project. Specifically, 36 samples related to 5 different tree species (white fir *Abies alba*, Norway spruce *Picea abies*, Scots pine *Pinus sylvestris*, Monterey pine *Pinus radiata*, and red oak *Quercus rubor*) were installed on a pillar at a depth of 10 meters. Different treatments were applied to these samples (e.g., acetylation, thermal modification, impregnation with specific formulations for treating coniferous wood). Tests are carried out simultaneously in different geographical areas and environments, allowing the assessment of material response under diverse conditions and subjected to the action of different marine xylophage communities. This evaluation is ongoing and will conclude in 2026.

Link: <http://2014-2020.ita-slo.eu/it/durasoft>; <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-021-02461-3>

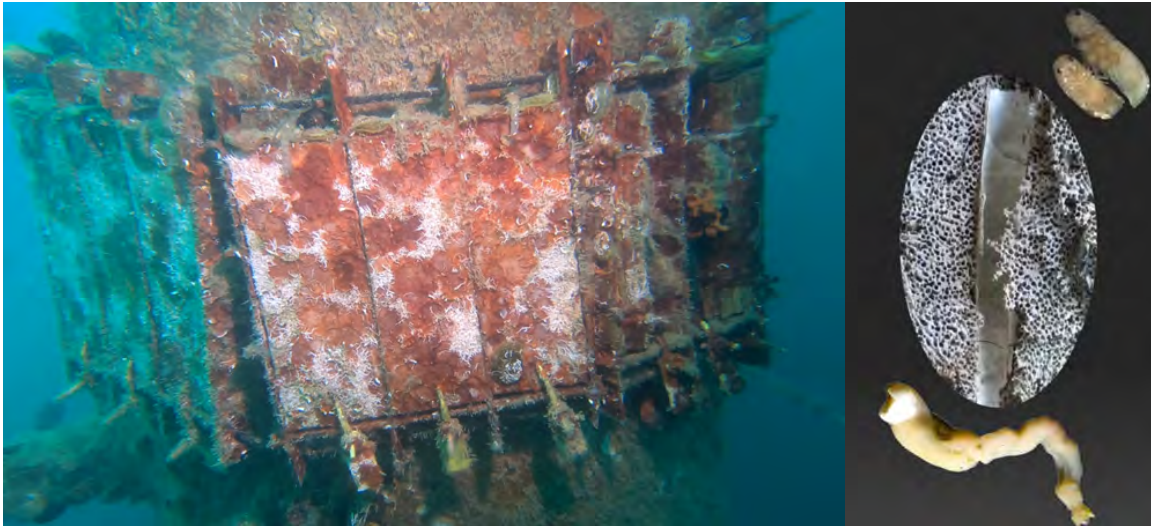


Figure 9 | (Left) Wooden panels with different treatments during the experimentation phase. (Right) A couple of *Limnoria* sp. at the top and *Teredo bartschi* (invasive alien species) at the bottom. In the centre, a detail of the damage caused by the combined action of the two groups of organisms (*Limnoria* has produced fine perforations layering the wood, and the central calcareous tube was produced by a shipworm).