

ALTERAZIONE DEI PROCESSI BIOGEOCHIMICI

Fattori climatici

Incremento dei livelli di $p\text{CO}_2$ di origine antropogenica (CANT) nell'atmosfera, variazioni della temperatura atmosferica.

Altri fattori

Incremento della temperatura dell'acqua di mare, diminuzione dell'ossigeno disciolto, variazione della concentrazione degli ioni idrogeno (H^+) disciolti nell'acqua di mare, variazione della salinità.

Caratterizzazione impatto

Nel sistema aria-acqua, l'incremento di CANT in atmosfera e la sua solubilizzazione in acqua impatta direttamente il livello di pressione parziale della CO_2 ($p\text{CO}_2$) modificando la composizione chimica dell'acqua di mare.



Il cambiamento climatico globale impatta l'ambiente marino determinando l'aumento della concentrazione degli ioni idrogeno che, a sua volta, provoca una riduzione del pH marino. L'aumento delle temperature superficiali dell'acqua di mare amplifica il processo. L'incremento degli H^+ provoca la variazione degli stati di saturazione dei carbonati (Ω) marini causando un effetto negativo sull'habitat dei coralli profondi (*Cold-Water Corals*, CWC). L'alterazione dei processi biogeochimici, assieme all'aumento della temperatura, diminuisce, a sua volta, la capacità degli oceani di assorbire CO_2 antropogenico.

$$\Omega = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{\text{sp}}}$$



Relazione causa-effetto

L'incremento della CO_2 disciolta nell'acqua di mare causa una minore disponibilità degli ioni carbonato (CO_3^{2-}), utilizzati da molteplici organismi marini per formare il carbonato di calcio (CaCO_3) di cui è composto il loro scheletro o conchiglia, portando ad una variazione della struttura della biosfera marina.



Esperimento in laboratorio: una conchiglia di Pteropode in acque con acidità crescente si dissolve in 45 giorni. Fonte: Courtesy of David Littschawger/National Geographic Society.

Scenario futuro



La pressione parziale della CO_2 nell'atmosfera è cresciuta del 40% (da 267 a 384 ppm) dall'inizio della rivoluzione industriale ad oggi. L'oceano in questo periodo ha assorbito circa 525 miliardi di tonnellate di CANT si stima negli ultimi 30 anni con un trend di $0.06 \pm 0.09 \text{ PgC yr}^{-2}$ (per anno). Si calcola che, dal 1980, gli oceani abbiano assorbito circa il 20-30% della CO_2 antropogenica prodotta che ha causato il processo di acidificazione marina (OA).

A partire dalla rivoluzione industriale si è verificato un aumento del 30% dell'OA con una diminuzione del pH medio globale dell'acqua marina superficiale di $-0.0016 \pm 0.0006 \text{ yr}^{-1}$ (per anno) dal 1985 al 2020. La scala del pH è logaritmica: una minima diminuzione del pH corrisponde ad un grande aumento dell'acidità. Si prevede che l'OA raddoppierà o triplicherà entro il 2100 mettendo a repentaglio la capacità degli ecosistemi marini di adattarsi all'alterazione della biochimica degli oceani impattando la biodiversità ed i servizi ecosistemici.



Numeri e messaggi chiave

Il pH è uno dei parametri utilizzati per monitorare l'acidificazione marina e stimarne il trend.

I dati elaborati per la MSFD (*Marine Strategy Framework Directive*) non sono tali da stabilire una risposta certa, confermano però che le acque del Mediterraneo orientale sembrano meno colpite dal fenomeno rispetto a quelle del Mediterraneo occidentale. Le osservazioni di pH collezionate dalla stazione di monitoraggio in continuo ISPRA "Sergio Silenzi" nell'Area Marina Protetta di Capo Carbonara (CA), attrezzata con sonde che garantiscono un'estrema accuratezza e precisione, mostrano valori più bassi di pH di quelli del bacino di riferimento.

I dati Copernicus confermano i risultati della MSFD.

Descrizione

Le elaborazioni effettuate evidenziano il trend di variazione dell'indicatore (pH_{TOT}) globale annuo, i valori medi annuali e i valori orari per il Mediterraneo.

Scopo

Valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi biogeochimici. L'indicatore ha lo scopo di evidenziare i bacini mediterranei maggiormente interessati dalle variazioni di pH superficiale sia in ambito costiero sia in mare aperto.

Frequenza rilevazione dati

Frequenza mensile (MSFD) e oraria (*in situ*), annuale (Copernicus).

Unità di misura

Il pH viene calcolato come logaritmo di un rapporto, pertanto non ha unità di misura, è un numero adimensionale e varia da 0 a 14. Il pH marino varia da 7.5 a 8.5.

Periodicità di aggiornamento

Annuale

Copertura temporale

Le variazioni sono state calcolate su un arco temporale di 7 anni.

2006-2012 (Valutazione Iniziale, MSFD), 2014-2015 (Stazione di Monitoraggio *in situ*)

Dati Copernicus (CMEMS Copernicus (CMEMS--<https://marine.copernicus.eu/>) 2022-2024 Mediterranean Sea Biogeochemistry Analysis and Forecast System prodotti mediante il modello MedBFM4. estrapolato su griglia a $1/24^\circ$, risoluzione spaziale di ca. 4 km,

Copertura spaziale

Nazionale e regionale

Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Marine Strategy Framework Directive (Direttiva Europea sulla Strategia Marina) 2008/56/CE. Descrittore 7 *Permanent alteration of hydrographical conditions does not adversely affect marine ecosystems*.

Metodologia di elaborazione

I valori del pH superficiale ($z < 25$ m) (MSFD) sono stati analizzati per ciascuno degli 8 sottobacini per identificare la distribuzione statistica e assegnare le distribuzioni di frequenza appropriate. Ogni distribuzione del campione è stata analizzata e definita da una funzione di probabilità di densità (Metodo di Johnson).

La stazione di monitoraggio continuo *in situ* ($z = 33$ m) ha registrato per 171 giorni (dicembre 2014 –maggio 2015). I dati biogeochimici sono stati analizzati con il metodo di decomposizione delle serie storiche.

Criteri di selezione

Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Rappresentativo di condizioni ambientali, Pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

Misurabilità

- Documentato e di qualità nota (accessibilità)
- Aggiornato secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

Disponibile su un rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

Copertura temporale > 10 anni

Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Correlato a modelli economici, Previsioni e sistemi di informazione

- Attendibile e affidabile Per metodi di misura e raccolta dati

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio





Fonte e accessibilità

I dati MSFD e delle sonde sono di proprietà ISPRA e sono stati pubblicati in parte.

I dati Copernicus (CMEMS - <https://marine.copernicus.eu/>). Prodotto di riferimento: MEDSEA_MULTIYEAR_BGC_006_008

Qualità dell'informazione

I dati sono stati registrati mediante sonde a media ed alta prestazione (estrema accuratezza e precisione delle misure). La metodologia di elaborazione è consolidata.

Limitazioni e possibili azioni

I dati considerati si riferiscono ai 6 anni analizzati (2006-2012) a copertura nazionale e agli anni 2014-2015 a copertura regionale. Questi dati forniscono delle serie storiche per i bacini mediterranei e le zone costiere e definiscono un trend.

La serie storica è stata ampliata mediante l'utilizzo dei dati Copernicus.

Riferimenti bibliografici

1. IPCC, 2019. Changing Ocean, Marine Ecosystems and Dependent Communities. In *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, NY, USA: 447–587.
2. Touratier, F., Goyet, C., 2011. Impact of the Eastern Mediterranean Transient on the distribution of anthropogenic CO₂ and first estimate of acidification for the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research* 158, 1–15.
3. Cossarini, G., Feudale, L., Teruzzi, A., Bolzon, G., Coidessa, G., Solidoro C., Amadio, C., Lazzari, P., Brosich, A., Di Biagio, V., and Salon, S., 2021. High-resolution reanalysis of the Mediterranean Sea biogeochemistry (1999-2019). *Frontiers in Marine Science*. *Front. Mar. Sci.* 8:741486.doi: 10.3389/fmars.2021.741486

Tab. 1. Indici di posizione (media e quartili) e variabilità (deviazione standard e Deviazione Assoluta dalla Mediana) calcolati sul pH in corrispondenza dei vari anni di rilevazione (2006-2012) (MSFD).

Anni	n	Media	Mediana Secondo Q	DS	M.A.D
2006	3377	8.208	8.21	0.1495	0.8599
2007	769	8.173	8.115	0.1825	0.0252
2008	708	8.221	8.172	0.2129	0.1038
2009	831	8.245	8.19	0.2124	0.1631
2010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2011	86056	8.331	8.3	0.2057	0.1426
2012	12242	8.466	8.5	0.2081	0.1426

Tab. 2. Indici di posizione e variabilità calcolati sul pH per ciascun sottobacino.

Stazione	n	Media	Mediana 2nd Q	DS	M.A.D.
Mar Ligure	9520	8.271	8.3	0.1266	0.1426
Mediterraneo Occidentale	20041	8.215	8.2	0.1637	0.1483
Mar Tirreno	11580	8.335	8.3	0.1547	0.1483
Mediterraneo centrale	9980	8.285	8.3	0.103	0.1483
Mar Ionio	20363	8.344	8.4	0.2058	0.1483
Mar Adriatico meridionale	10632	8.428	8.4	0.225	0.1483
Mar Adriatico centrale	782	8.3	8.23	0.2699	0.2224
Mar Adriatico settentrionale	20798	8.477	8.5	0.2452	0.1483

Commento al trend



I valori medi del pH nei mari italiani (MSFD) risultano aumentati nel corso del periodo considerato (2006-2012) passando da $8,21 \pm 0,15$ a $8,46 \pm 0,21$ (Tab. 1).

Gli indici di posizione e variabilità (Tab. 2) mostrano come sia a maggiore rischio acidificazione il Mediterraneo Occidentale (pH 8.2), confermando l'ipotesi di Touratier e Goyet (2011).

Referente:

Marta Manca Zeichen – ISPRA
marta.mancazeichen@isprambiente.it

Maria Grazia Finoia – ISPRA
mariagrazia.finoia@isprambiente.it



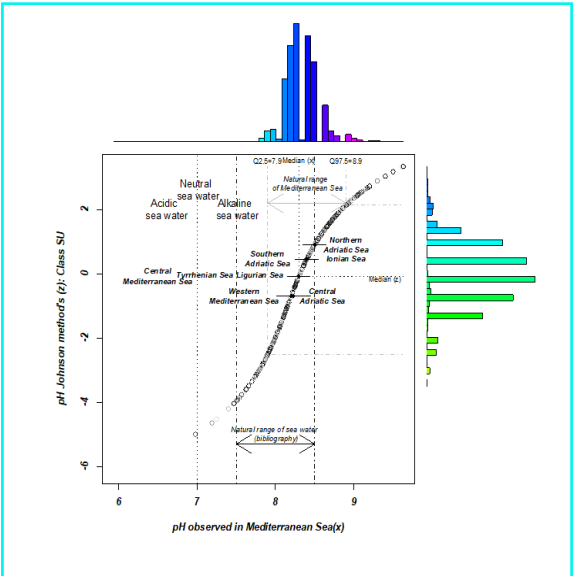


Fig.2 Carta di controllo dei livelli di pH_{total} calcolati per ciascun sottobacino del Mediterraneo (MSFD). I valori osservati di pH_{total} sono sull'asse x, i valori calcolati con il metodo di Johnson sull'asse y. Gli istogrammi dei valori di pH sono all'esterno del diagramma.

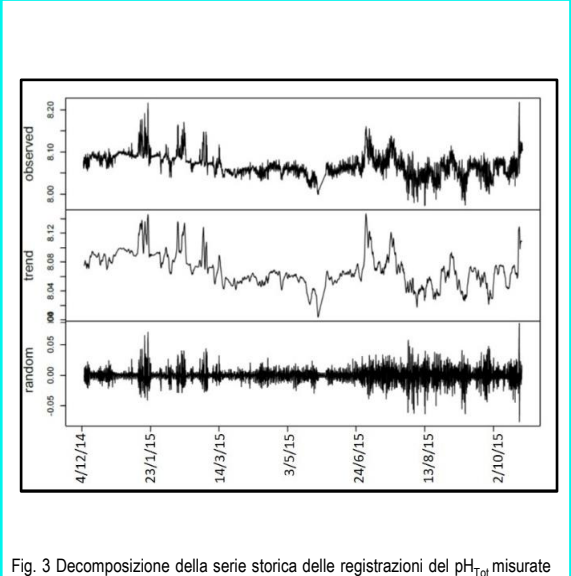


Fig. 3 Decomposizione della serie storica delle registrazioni del pH_{TOT} misurate dalla sonda dal 03.12.2014 al 14.11.2015. Pannello superiore: registrazioni del pH totale osservato; Inferiore: andamento dei valori pH_{TOT}; più in basso: residui.

Commento al trend



La carta di controllo dei livelli di pH calcolate per ciascun sottobacino (Fig. 2) mostra come sia a maggiore rischio di acidificazione il Mediterraneo Occidentale (pH 8.2), confermando l'ipotesi di Touratier e Goyet (2011). Le misure di pH collezionate dalla stazione di monitoraggio in continuo (Fig. 3) posta tra il Mar Tirreno ed il Mediterraneo occidentale tra il 2014 ed il 2015 mostrano un valore medio di 8.07 al di sotto del valore medio di pH calcolato per entrambi i sottobacini. I valori registrati mostrano come il pH sia caratterizzato da ampie fluttuazioni notturnali e da una significativa variabilità stagionale tipica delle zone costiere poiché influenzato dagli habitat marino-costieri e dagli eventi meteorologici. I dati annuali CMEMS (Fig. 4) confermano il trend di maggior rischio di acidificazione del Mar Mediterraneo Occidentale nel 2023 e nel 2024 con valori minimi di 7.97.

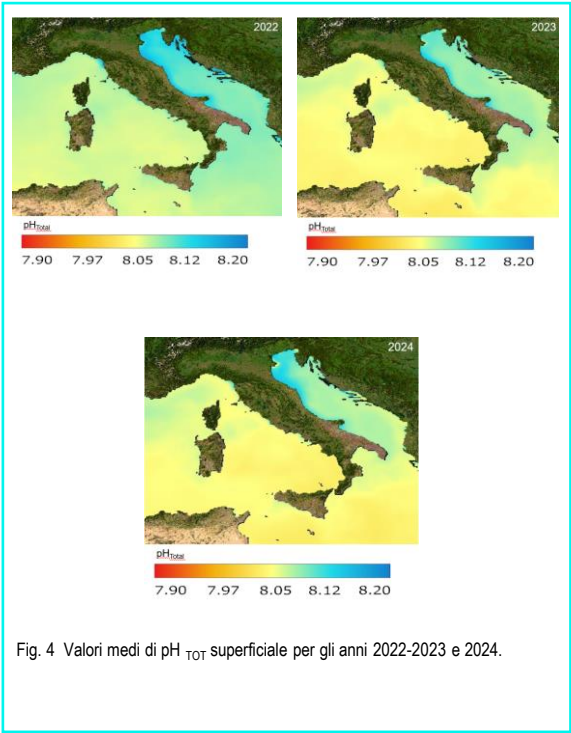


Fig. 4 Valori medi di pH_{TOT} superficiale per gli anni 2022-2023 e 2024.

