

## **CONVENZIONE STRATEGIA MARINA 2021**

Accordo di collaborazione scientifica tra ISPRA e OGS nell'ambito dello studio sulle tematiche della Strategia Marina ai fini del conseguimento degli obiettivi prioritari della direttiva 2008/56/CE, come recepita dal D.Lgs. 190/2010

(CUP F85B18006490001, Atto OGS n. 30 ADW del 21/07/2021)

### **Parte 1**

### **Descrittore 5 - Eutrofizzazione**

## **Rapporto tecnico scientifico conclusivo**

Data: 31 dicembre 2023

Ultima revisione: 14 febbraio 2024

**Referenti tecnico-scientifici per OGS:** Marina Lipizer, Vinko Bandelj

**Gruppo di lavoro:** Vinko Bandelj, Marina Lipizer, Alberto Ghedin, Fabrizio Gianni, Damiano Baldan, Maria Eugenia Molina Jack, Marko Jokic, Gianluca Coidessa, Simone Spada, Carolina Amadio, Stefano Querin, Gianpiero Cossarini

**Citazione:** Bandelj et al., 2023. Convenzione Strategia marina 2021, Parte 1, Descrittore 5 – Eutrofizzazione, Rapporto tecnico scientifico conclusivo. OGS

## 1. SCOPO DEL LAVORO

Il presente rapporto contiene la descrizione delle attività svolta nell'ambito della Convenzione tra ISPRA e OGS stipulata in data 24/05/2021 e relative al "Descrittore 5 – Eutrofizzazione" nel periodo tra gennaio e ottobre 2023, e di quelle previste dall'Atto aggiuntivo della Convenzione stipulata fra ISPRA e OGS in data 24/05/2021, relative al "Descrittore 5 - Eutrofizzazione" e svolte nel periodo tra novembre e dicembre 2023.

## 2. PROGRAMMA DI LAVORO

Nella Convenzione tra ISPRA e OGS stipulata in data 24/05/2021 in riferimento al "Descrittore 5 – Eutrofizzazione" era previsto il seguente programma operativo di dettaglio:

**ATTIVITÀ A:** partecipazione di OGS al Gruppo di Lavoro del Descrittore 5 in ambito SNPA, coordinato da ISPRA, per il raggiungimento degli obiettivi oggetto di convenzione;

**ATTIVITÀ B:** OGS, sulla base dell'expertise tecnico-scientifico, dei dati e delle informazioni che detiene, in particolare in relazione ai dati a propria disposizione e ai dati disponibili presso il Sistema Informativo Centralizzato della Strategia Marina gestito da ISPRA, e agli strati informativi provenienti da Copernicus fornirà la sua collaborazione per:

**ATTIVITÀ B.1** supportare le attività di elaborazione dei dati di monitoraggio acquisiti dalle ARPA per le 3 sottoregioni marine per le annualità 2018, 2019, 2020, 2021, e 2022 con riferimento ai criteri primari per il D5 previsti dalla Decisione UE 2017/848. Tali dati saranno resi disponibili da ISPRA, preliminarmente alle attività di elaborazione, nel formato SeaDataNet mediante la piattaforma EMODNet Chemistry, fatto salvo il mancato finanziamento della proposta progettuale EMODNet Chemistry V nell'ambito della call EASME/2020/OP/0006. In quest'ultimo caso, l'OGS provvederà alla trasformazione dei suddetti dati di monitoraggio nel formato SeaDataNet.

**ATTIVITÀ B.2:** Valutare lo stato trofico delle aree marino-costiere prospicienti la foce dei più importanti fiumi Nord Adriatici (Po, Adige, Isonzo, Piave) anche in funzione della simulazione con modelli numerici di ultima generazione degli effetti dell'immissione dei nutrienti apportati dai fiumi.

**ATTIVITÀ C:** i risultati delle Attività A e B verranno restituiti a ISPRA tramite un report annuale tecnico scientifico e matrici dei dati secondo schemi e dettagli tecnici condivisi tra le parti. OGS contribuirà infine alla redazione della bozza del report comunitario da sottoporre all'Autorità Competente della Strategia Marina (MiTE).

Nell'Atto aggiuntivo della Convenzione stipulata fra ISPRA e OGS in data 24/05/2021 in riferimento al "Descrittore 5 – Eutrofizzazione" era invece previsto il seguente programma operativo di dettaglio:

**ATTIVITÀ A:** partecipazione di OGS al Gruppo di Lavoro del Descrittore 5 in ambito SNPA, coordinato da ISPRA, per il raggiungimento degli obiettivi oggetto di convenzione;

**ATTIVITÀ B:** OGS, sulla base dell'expertise tecnico scientifico, dei dati e delle informazioni che detiene, in particolare in relazione ai dati a propria disposizione e ai dati disponibili presso il Sistema Informativo Centralizzato della Strategia Marina gestito da ISPRA, e agli strati informativi provenienti da Copernicus fornirà la sua collaborazione per:

**ATTIVITÀ B.1:** Completamento della trasmissione dati standardizzati come prevista dalla Convenzione in essere e controllo di qualità ed elaborazione dei dati relativamente agli anni

2021 e 2022;

ATTIVITÀ B.2: Analisi a supporto della valutazione di GES per la Strategia Marina dei mari Italiani, includendo i dati di cui al punto precedente, e integrazione con strati informativi provenienti da Copernicus;

ATTIVITÀ B.3: Valutazione dello stato trofico delle aree marino costiere prospicienti la foce dei più importanti fiumi Nord Adriatici (Po, Adige, Isonzo, Piave), in base ai dati di monitoraggio nelle relative aree forniti da ISPRA.

## 3. QUALITY CHECK DEL DATASET

### 3.1 ATTIVITÀ A

L'attività prevede la partecipazione di OGS al Gruppo di Lavoro del Descrittore 5 in ambito SNPA, coordinato da ISPRA, per il raggiungimento degli obiettivi oggetto di convenzione.

Nel corso del periodo gennaio - ottobre 2023 tra il gruppo di lavoro OGS e quello ISPRA, sono intercorsi frequenti scambi di email ed incontri bilaterali in modalità online che hanno garantito lo scambio di informazioni e il mutuo aggiornamento sullo stato dei lavori in corso.

Nel mese di febbraio 2023 si sono svolti due incontri (3 e 8 febbraio 2023) del gruppo di lavoro ISPRA incaricato della gestione dei dati da inviare al sistema IMAP – UNEP/MAP-MEDPOL OGS e del gruppo di lavoro OGS incaricato del controllo di qualità dei dati relativi all'eutrofizzazione. Il primo incontro ha avuto l'obiettivo di condividere i risultati del processo di validazione e di esaminare particolari anomalie nel dataset. Il secondo incontro è stato organizzato in preparazione della partecipazione di ISPRA al tavolo Mediterraneo CORMON, nell'ambito di IMAP – UNEP/MAP-MEDPOL ed è stato dedicato all'illustrazione della metodologia di valutazione dello stato di eutrofizzazione sviluppato nell'ambito del progetto europeo MEDREGION, finanziato da DG ENV.

### 3.2 ATTIVITÀ B:

OGS, sulla base dell'expertise tecnico-scientifico, dei dati e delle informazioni che detiene, in particolare in relazione ai dati a propria disposizione e ai dati disponibili presso il Sistema Informativo Centralizzato della Strategia Marina gestito da ISPRA, e agli strati informativi provenienti da Copernicus ha fornito collaborazione per:

**Attività B.1:** supportare le attività di preparazione dataset da parte ISPRA, validare ed elaborare i dati di monitoraggio acquisiti dalle ARPA per le 3 sotto-regioni marine per l'anno 2020 con riferimento ai criteri primari per il descrittore D5 previsti dalla Decisione UE 2017/848.

Nel corso del 2023 ISPRA ha inviato alcuni dati (in particolare di temperatura e salinità) relativi agli anni 2018-2020 ad integrazione dei datasets inviati negli anni precedenti. Questo ha comportato un processo di aggregazione dei diversi datasets e la revisione del controllo di qualità già condotto sui datasets parziali.

Con riferimento al cronoprogramma indicato nella convenzione, risultano ricevuti da OGS i dati fino al 31.12.2020 e risultano mancanti i dati relativi agli anni 2021 e 2022.

### 2.1. Descrizione della procedura di controllo di qualità (QC) effettuata sul dataset 2018 -2020:

La procedura adottata, già descritta nel rapporto intermedio d.d. 31.12.2022, è stata ulteriormente aggiornata e segue le più recenti linee guida sviluppate nell'ambito di EMODnet Chemistry (Lipizer et al., 2023). Rispetto alle relazioni precedenti, sono stati introdotti gli ulteriori controlli, evidenziati in grassetto.

- ❖ Utilizzo del software open source Ocean Data View (ODV)
- ❖ Importazione dei files in ODV e creazione della collezione dei mari italiani



- ❖ Controllo della correttezza delle coordinate delle stazioni
- ❖ Verifica della coerenza dell'unità di misura con le variabili
- ❖ Controllo visuale preliminare sui dati rappresentati come serie temporali e come profili per evidenziare anomalie evidenti
- ❖ Esportazione del dataset complessivo in formato ODV Spreadsheet file
- ❖ Controllo sulla variabile profondità crescente
- ❖ Controllo sui casi di valori uguali per diverse variabili (es. caso di profondità uguale alla concentrazione di silicato)
- ❖ Verifica dei casi di profondità errata
- ❖ Controllo dei valori 0 (con QF = 1) ed assegnazione QF 6
- ❖ Dove le celle risultano vuote (= nessun dato) assegnazione QF 9 – caso non trovato nel dataset 2020
- ❖ Per valori negativi, assegnazione QF=4 – caso non trovato nel dataset 2020
- ❖ Analisi di grafici a dispersione di serie temporali e di grafici proprietà-proprietà (es. azoto totale vs nitrati; fosforo totale vs fosfato; nutrienti/salinità; ...) e di profili verticali
- ❖ Ispezione di outliers confrontando serie temporali e profili verticali di più parametri per valutare il verificarsi di possibili condizioni ambientali peculiari (es. forte stratificazione, temperature/salinità estreme, ...)
- ❖ **Confronto tra azoto totale e somma azoto inorganico (NH<sub>4</sub>+NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>) e fosforo totale e fosfato**
- ❖ **Calcolo della saturazione di ossigeno (%) e controllo dei valori lungo la colonna (Fig. 1)**
- ❖ **Calcolo ed analisi del rapporto N/P**
- ❖ Confronto con intervalli e climatologia esistenti e con bibliografia utile per individuare anomalie (Lipizer et al., 2023; Falco et al., 2016; Durante et al., 2019; Simoncelli et al., 2020). Per valori estremamente oltre i “broad range”, la QC flag è stata posta pari a 4 (bad data); se gli estremi (outliers) sono prossimi ai “broad range” è stata assegnata la QF= 3 (probably bad data);
- ❖ Nei casi di profili CTD, sono stati presi in considerazione: i profili climatologici relativi al Mar Mediterraneo (ad es. MEDAR Climatology), la revisione della letteratura, le climatologie prodotte nell’ambito del progetto SeaDataCloud (Simoncelli et al., 2020) e i dati recenti dei profili ARGO (<https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/float>) per valutare la qualità dei dati da CTD (es. Fig. 2). Ai profili lontano da costa con salinità inferiore a 37 su tutta la colonna sono stati assegnati QF=3 (probabilmente non buono).

Produzione del dataset validato per il periodo 2018 – 2020.

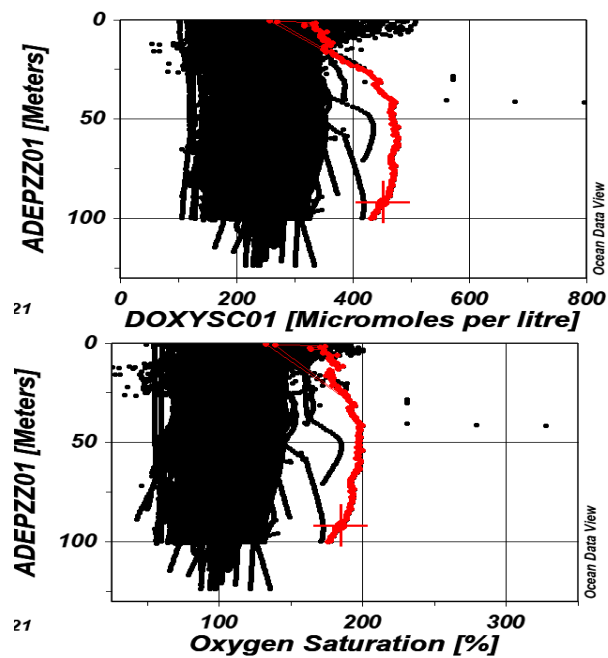
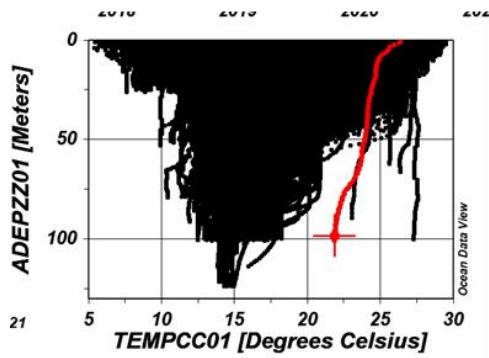


Figura 1: Confronto tra profili di ossigeno disciolto (in alto) e di percentuale di saturazione di ossigeno (in basso): in rosso, esempi di profili considerati fuori da broad ranges per i valori di elevata supersaturazione.

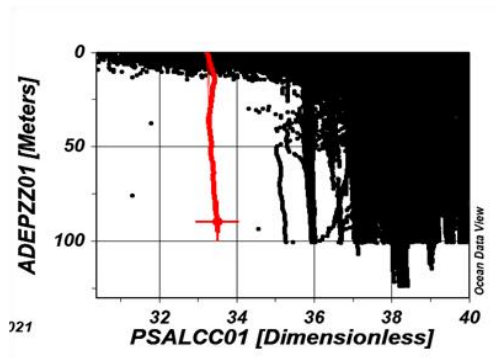
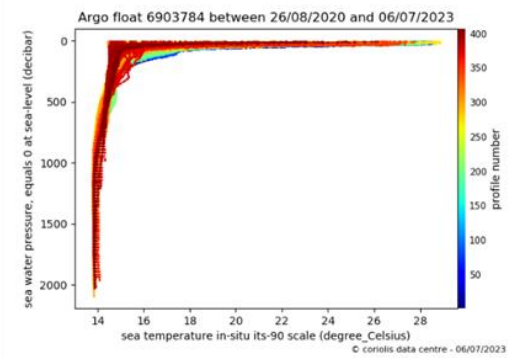


**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale



Overlaid profiles TEMP



Overlaid profiles PSAL

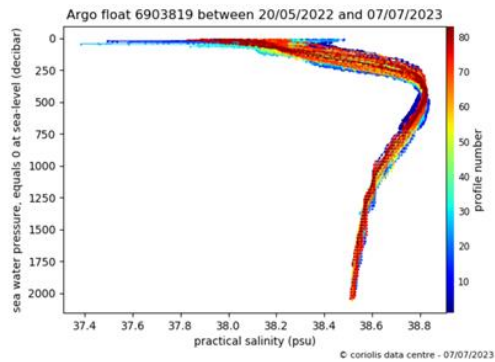


Figura 2: Confronto tra profili CTD (a sinistra) e profili acquisiti nella stessa area dai profilatori ARGO (a destra) di temperatura (pannelli in alto) e salinità (pannelli in basso). In rosso esempi di profili che si discostano evidentemente dai "broad ranges" e dai profili acquisiti dagli ARGO.

## 2 ANALISI ESPLORATIVA

Sui dati disponibili, e cioè dal gennaio 2018 al dicembre 2020, è stata eseguita una serie di analisi esplorative. Tutte le analisi sono state fatte sul dataset che ha passato il quality check, eliminando i dati con quality flag pari a 3 o 4 (dati considerati non buoni) e tutti i campioni in cui non fossero presenti tutte le variabili di interesse. Applicando tale criterio conservativo si è garantito che le analisi venissero fatte sui dati di massima qualità possibile.

### 3.1 Distribuzione spazio-temporale dei dati

Innanzitutto, sono presentate nelle Tabelle 1-5 alcune informazioni sulla densità nel tempo e nello spazio dei dati disponibili. In totale la rete di monitoraggio consiste di 54 transetti, ognuno con 3 stazioni, la prima a 3 miglia dalla costa, la seconda a 6 miglia dalla costa, la terza a 12 miglia dalla costa (limite acque territoriali). La distanza tra un transetto e l'altro, ovvero la densità lineare lungo le coste italiane, è molto variabile e non appare omogenea (vedi Fig. 3). In effetti, alcuni tratti di costa e aree di mare prospicienti non sembrano adeguatamente monitorati. Oltre al caso del Veneto (già richiamato in Giani et al., 2021), dove ci sono solo due transetti molto ravvicinati, mentre tutta la costa tra la laguna di Venezia e il confine con il FVG risulta completamente non campionata, anche in Puglia, Calabria e Campania i transetti sono molto lontani tra di loro. In Sardegna ed in particolare in Sicilia (costa nordorientale, costa sud) ci sono ampi tratti di costa non monitorati. Altri tratti di costa senza transetti si trovano nel Lazio centrale (tra il Circeo e la costa a nord della foce del Tevere) e nella Riviera di Ponente della Liguria. In Basilicata la costa ionica è monitorata con un unico transetto, mentre la costa tirrenica non ha stazioni di monitoraggio. La copertura spaziale dei transetti non sembra essere adeguata ai fini della valutazione del buon stato ecologico secondo la MSFD (2008/56/EC), dovendo valutare appunto tutte le acque territoriali nazionali. Inoltre, sembra che la scelta sul posizionamento dei singoli transetti, e sulla distanza tra un transetto e l'altro, sia stata fatta in maniera non coordinata tra le diverse regioni. Per esempio, mentre in Veneto i soli due transetti presenti ignorano completamente tutta la costa nordorientale, dove ci sono gli sbocchi di diversi fiumi (Tagliamento, Lemene, Livenza, Piave, Sile), in altre regioni (p.es., Toscana, Lazio, Campania) sembrano essere state favorite posizioni di campionamento prossime ad apporti di acque fluviali dalla terraferma. È evidente che i criteri per il posizionamento della rete di monitoraggio dovrebbero essere comuni a tutta la costa dell'Italia, modulandoli adeguatamente in base alle caratteristiche locali.

Dal punto di vista temporale (Tabella 2) i dati disponibili in questi tre anni sono stati presi in modo discontinuo e più in generale i campionamenti non sono completi né a scala regionale, né a scala di sottoregione marina. Alcuni mesi sono fortemente sottocampionati: in aprile 2020 non c'è nessun dato per nessuna regione, in altri solo un numero ridotto di regioni ha effettuato campionamenti e questi sono in parte incompleti (p.es., giugno e ottobre 2018, agosto 2019, agosto e ottobre 2020). In nessun mese nell'arco dei tre anni sono presenti dati per tutte le regioni: in gennaio 2020 si è raggiunto il massimo sforzo sinottico con 14 regioni su 15 che hanno prodotto dei dati, ma solo 6 regioni hanno fornito un campionamento completo dei propri transetti in questo mese. Il maggior numero di campionamenti completi per regione si è avuto a maggio e settembre 2018, con 10 regioni che hanno fornito dati sinottici. Allo stesso modo, nessuna delle regioni ha fornito dati per tutti i mesi del triennio 2018-2020 a disposizione. Ovviamente, il giudizio su questo aspetto dipende dalla frequenza di campionamento con cui le singole regioni hanno deciso di campionare. Dalla Tabella 2 si notano alcune regioni per le quali il campionamento era su scala bimensile (FVG, Veneto, Molise, Campania), ed altre per le quali era su scala mensile (Emilia-Romagna, Marche). Per le altre

regioni a causa dei tanti dati mancanti e dei campionamenti mensili incompleti, è difficile inferire su quali fossero le frequenze di campionamento pianificate. In modo simile a quanto già affermato per la risoluzione spaziale di raccolta dei dati, lo stesso vale per la frequenza temporale di campionamento: per avere dati confrontabili, i dati dovrebbero essere forniti sinotticamente da tutte le regioni, con la stessa frequenza, e tale frequenza dovrebbe essere la più alta possibile. Se sussistono dei criteri per cui per alcune regioni è consigliato un campionamento a frequenza più elevata (p.es., per meglio stimare l'effetto di apporti fluviali), tali criteri andrebbero applicati lungo tutte le coste italiane, non solo in Adriatico, soprattutto poiché, come già detto, alcuni transetti sembrano essere posizionati in vicinanza di apporti fluviali. Si ricorda anche che in Giani et al., 2021, è stato suggerito di applicare un campionamento adattativo nelle aree soggette a dinamismo più elevato in modo da poter correttamente ricostruire i segnali nel tempo.

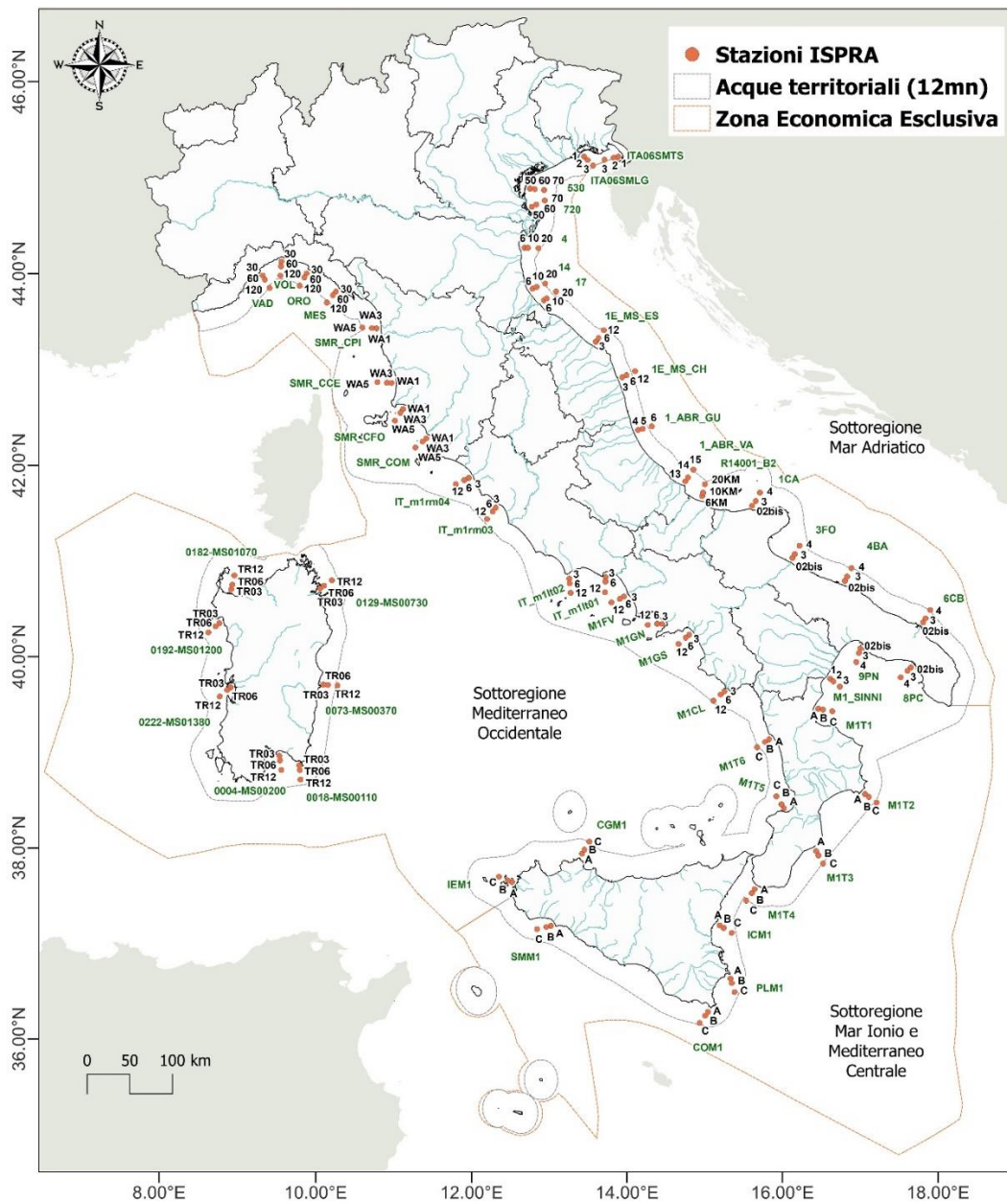


Figura 3: Area di studio considerata. Sono indicati i confini delle regioni italiane, i confini delle acque territoriali, i confini della zona economica esclusiva, i confini delle sottoregioni marine, la posizione dei fiumi principali, la posizione ed il nome dei transetti e delle stazioni di campionamento all'interno dei transetti.

In aggiunta alle considerazioni sulla frequenza di campionamento, molte regioni non sono state in grado di fornire un campionamento completo per la maggior parte dei mesi in questione. Considerando una frequenza di campionamento bimensile, il Molise ha fornito dati completi per 16 mesi (sui 18 potenziali nel periodo di tre anni esaminato) e il FVG per 15 mesi. Con una frequenza di campionamento mensile, l'Emilia-Romagna ha fornito dati completi per 34 mesi e le Marche per 32 mesi. La Calabria non è mai riuscita a garantire un campionamento completo della propria rete di monitoraggio, mentre Lazio e Sardegna lo hanno fatto in un solo mese su 36, e la Basilicata, con un unico transetto e tre stazioni, è riuscita a farlo due volte su 36. E' inoltre evidente che la Basilicata e la Calabria per gran parte del 2018 e del 2019 non hanno prodotto alcun dato, e solo da maggio 2020

sembra che le due regioni abbiano iniziato a fare i campionamenti. Al contrario, la Calabria dall'aprile 2020 non ha più fornito un dato di monitoraggio.

Considerando complessivamente i 12 mesi di un anno (Tabella 3) i mesi più campionati sono risultati essere gennaio, luglio, settembre e novembre, con circa due terzi o più di campionamenti per regione su quelli possibili. I campionamenti completi per regione invece sono significativamente di meno, con un massimo di 21 per settembre e 18 per luglio.

Considerando la suddivisione per sottoregioni marine (Tabelle 4 e 5) si nota che la sola sottoregione dell'Adriatico ha un numero consistente di campionamenti eseguiti per mese, arrivando a 12 mesi nei quali almeno 3/4 o più dei possibili campioni sono stati acquisiti. Nella sottoregione Ionio e nella sottoregione Mediterraneo Occidentale, ciò si è verificato una sola volta per sottoregione. Il numero dei mesi senza campionamenti o con un campionamento uguale od inferiore ad 1/4 dei campioni possibili è invece sensibilmente più alto in queste due sottoregioni (ben 17 mesi sottocampionati di cui 10 senza alcun dato per lo Ionio; 11 mesi sottocampionati di cui 2 senza nessun dato per il Mediterraneo Occidentale) che non nella sottoregione dell'Adriatico (solo 3 mesi significativamente sottocampionati di cui 1 senza dati). È evidente che avendo il 47% dei mesi sottocampionati per la sottoregione Ionio, ciò preclude fortemente la possibilità di arrivare a delle conclusioni robuste per quanto riguarda le finalità della MSFD (2008/56/EC).

Più in generale si evidenzia di nuovo che la lacunosità dei dati, la copertura spaziale non omogenea e non sufficiente, la frequenza temporale di campionamento non omogenea e discontinua, indeboliscono qualsiasi conclusione si vorrà ottenere dall'analisi di tali dati. Sebbene la valutazione dello stato ecologico possa essere fatta su dati aggregati tramite medie o altro metodo di aggregazione, l'operazione di aggregazione non può in nessun modo supplire alle mancanze e problematicità dei dati originali, e può solo mascherarle. Una copertura spaziale ed una frequenza temporale di campionamento sufficienti ed uniformi, oltre all'intercalibrazione dei metodi di determinazione delle varie variabili tra i diversi operatori responsabili dell'acquisizione dei dati, sono requisiti fondamentali per una valutazione robusta e confidente dello stato ecologico delle acque marine secondo le richieste della MSFD (2008/56/EC).

Tabella 1: Prospetto con il numero di transetti e di stazioni campionate totali e suddivisi per regioni.

	N trans	N staz						
<b>TOT</b>	54	162						
<b>Reg</b>	<b>N trans</b>	<b>N staz</b>	<b>Reg</b>	<b>N trans</b>	<b>N staz</b>	<b>Reg</b>	<b>N trans</b>	<b>N staz</b>
<b>FVG</b>	2	6	<b>MOL</b>	1	3	<b>CAM</b>	4	12
<b>VEN</b>	2	6	<b>PUG</b>	6	18	<b>LAZ</b>	4	12
<b>EMR</b>	3	9	<b>BAS</b>	1	3	<b>TOS</b>	4	12
<b>MAR</b>	2	6	<b>CAL</b>	6	18	<b>LIG</b>	4	12
<b>ABR</b>	2	6	<b>SIC</b>	6	18	<b>SAR</b>	7	21







Tabella 3: Numero di mesi per regione almeno parzialmente campionati e numero di mesi con un campionamento completo per regione. Il massimo numero di campionamenti per ogni mese è 45, cioè 15 regioni per 3 anni.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
<b>Campionamenti per regione</b>	37	23	27	19	31	21	37	10	35	15	30	19
<b>Campionamenti completi per regione</b>	14	5	13	7	20	6	18	5	21	6	13	7

Tabella 4: Numero di campioni per mese per sottoregione marina. Per ogni sottoregione marina i colori evidenziano le celle in funzione del numero dei campioni rispetto al numero massimo possibile. In verde mesi in cui ci sono più 3/4 o più stazioni campionate per sottoregione marina; in rosso mesi in cui ci sono meno di 1/4 o meno stazioni campionate per sottoregione marina; in giallo mesi in cui le stazioni campionate sono tra 1/4 e 3/4 delle stazioni totali possibili (Vedi anche Tabella 5 con le percentuali complessive per sottoregione marina).

	2018												2019												2020											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>ADR</b>	43	13	44	15	48	9	40	21	45	18	27	24	29	21	35	30	36	29	36	13	40	9	25	17	42	16	20		19	36	42	15	44	16	27	21
<b>ION</b>	3	21	18	6	18		15	3	18		18			18		28	12	6	18		9	9	3	11	13	6			17	12	17		24		18	3
<b>OCC</b>	39	23	30	33	48	15	52	9	58	3	44	21	18	42	30	42	43	28	67	3	31	40	20	15	44	30	15		12	29	32		29	6	34	6

Tabella 5: Prospetto del numero di transetti e di stazioni per sottoregione marina. È indicato anche il numero di regioni i cui transetti cadono in ognuna delle sottoregioni marine. I totali riferiti ai singoli anni ed al triennio indicano il numero di campioni disponibili per ogni sottoregione marina. Sono indicate anche le percentuali di mesi del triennio 2018-2020 con un numero rilevante di stazioni per regione campionate (corrispondenti alle celle verdi di Tabella 4), assenza di campioni per mese o un numero di campioni per mese molto basso (corrispondenti alle celle rosse in Tabella 4), e i mesi per i quali per ogni sottoregione marina il numero dei campioni oscilla tra 1/4 e 3/4 dei campioni totali possibili per sottoregione marina.

	N transetti	N stazioni	N regioni	TOT 2018	TOT 2019	TOT 2020	TOT 2018-2020	Mesi con più di 3/4 di stazioni campionate per regione	Mesi con 3/4 – 1/4 di stazioni campionate per regione	Mesi con meno di 1/4 di stazioni campionate per regione
<b>ADR</b>	16	48	7	347	320	298	965	33% con più di 36 stazioni	58% tra 12 e 36 stazioni	8% con meno di 12 stazioni
<b>ION</b>	11	33	4	120	114	110	344	3% con più di 25 stazioni	50% tra 8 e 25 stazioni	47% con meno di 8 stazioni
<b>OCC</b>	27	81	7	375	379	237	991	3% con più di 61 stazioni	64% tra 20 e 61 stazioni	33% con meno di 20 stazioni

Considerato che nella MSFD (2008/56/EC) come uno degli indicatori per il descrittore D5 è stato identificato l'ossigeno disciolto di fondo e che nel rapporto Giani et al. (2021) per tale indicatore è stata proposta una soglia per il GES, è stato verificato se nel dataset disponibile 2018-2020 ci fossero dati utilizzabili allo scopo (Tabella 6).

Tabella 6: Confronto tra la profondità del fondale (colonna Fondale, in metri), la massima profondità dei profili disponibili nei dati (colonna Max profilo), e la profondità delle celle dei modelli CMS corrispondenti (colonna CMS). STR MAR = sottoregione marina; DFP = differenza in metri tra profondità del fondale e massima profondità dei profili in ogni stazione; DFC = differenza in metri tra profondità del fondale e profondità delle celle dei modelli CMS corrispondenti. ADR = sottoregione marina Adriatico; ION = sottoregione marina Ionio; MED OCC = sottoregione marina Mediterraneo occidentale; ABR = Abruzzo; BAS = Basilicata; CAL = Calabria; CAM = Campania; EMR = Emilia-Romagna; FVG = Friuli-Venezia-Giulia; LAZ = Lazio; LIG = Liguria; MAR = Marche; MOL = Molise; PUG = Puglia; SAR = Sardegna; SIC = Sicilia; VEN = Veneto; TOS = Toscana

STR MAR	Regione	Stazione	LONG	LAT	Fondale	Max profilo	CMS	DFP	DFC
ADR	FVG	ITA06SMTS1	13.70	45.65	22	21.0	19.5	1.0	2.5
ADR	FVG	ITA06SMTS2	13.63	45.64	25	21.0	23.9	4.0	1.1
ADR	FVG	ITA06SMTS3	13.49	45.62	23	22.0	21.0	1.0	2.0
ADR	FVG	ITA06SMLG1	13.18	45.64	15	15.0	11.9	0.0	3.1
ADR	FVG	ITA06SMLG2	13.23	45.61	12	12.0	13.0	0.0	-1.0
ADR	FVG	ITA06SMLG3	13.32	45.55	20	21.0	19.3	-1.0	0.7
ADR	VEN	50530	12.38	45.29	17	16.0	17.5	1.0	-0.5
ADR	VEN	60530	12.45	45.29	18	18.0	20.9	0.0	-2.9
ADR	VEN	70530	12.59	45.28	24	24.0	24.9	0.0	-0.9
ADR	VEN	50720	12.42	45.10	20	14.0	19.4	6.0	0.6
ADR	VEN	60720	12.48	45.12	24	24.0	26.4	0.0	-2.4
ADR	VEN	70720	12.61	45.17	26	25.0	26.2	1.0	-0.2
ADR	EMR	604	12.32	44.66	12	12.7	11.8	-0.7	0.2
ADR	EMR	1004	12.38	44.66	15	16.6	15.4	-1.6	-0.4
ADR	EMR	2004	12.53	44.66	27	26.4	27.8	0.6	-0.8
ADR	EMR	614	12.46	44.23	10	25.0	9.0	-15.0	1.0
ADR	EMR	1014	12.52	44.25	12	13.3	16.0	-1.3	-4.0
ADR	EMR	2014	12.65	44.29	22	22.5	23.6	-0.5	-1.6
ADR	EMR	617	12.64	44.11	11	25.5	10.7	-14.5	0.3
ADR	EMR	1017	12.68	44.13	14	15.0	14.5	-1.0	-0.5
ADR	EMR	2017	12.81	44.21	25	25.6	31.5	-0.6	-6.5
ADR	MAR	1E_MS_ES_3	13.41	43.69	16	15.0	13.8	1.0	2.2
ADR	MAR	1E_MS_ES_6	13.45	43.73	21	21.0	20.5	0.0	0.5
ADR	MAR	1E_MS_ES_12	13.53	43.81	53	52.0	51.8	1.0	1.2
ADR	MAR	1E_MS_CH_3	13.80	43.32	13	14.0	12.4	-1.0	0.6
ADR	MAR	1E_MS_CH_6	13.87	43.34	18	20.0	19.8	-2.0	-1.8
ADR	MAR	1E_MS_CH_12	13.99	43.38	50	50.0	51.7	0.0	-1.7
ADR	ABR	1_ABR_GU04	14.04	42.76	15	15.0	14.5	0.0	0.5
ADR	ABR	1_ABR_GU05	14.11	42.77	26	25.5	31.8	0.5	-5.8
ADR	ABR	1_ABR_GU06	14.24	42.80	79	58.5	80.2	20.5	-1.2
ADR	ABR	1_ABR_VA13	14.72	42.22	26	25.5	26.3	0.5	-0.3
ADR	ABR	1_ABR_VA14	14.76	42.26	58	58.0	58.4	0.0	-0.4



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

ADR	ABR	1_ABR_VA15	14.84	42.34	91	65.0	99.1	26.0	-8.1
ADR	MOL	R14001_B2_6KM	14.96	42.06	20	22.0	19.9	-2.0	0.1
ADR	MOL	R14001_B2_10KM	14.98	42.10	35	36.0	31.8	-1.0	3.2
ADR	MOL	R14001_B2_20KM	15.00	42.19	76	76.0	75.3	0.0	0.7
ADR	PUG	1CA02bis	15.67	41.96	17	16.5	19.2	0.5	-2.2
ADR	PUG	1CA03	15.72	42.01	25	28.5	35.8	-3.5	-10.8
ADR	PUG	1CA04	15.78	42.10	88	77.5	89.7	10.5	-1.7
ADR	PUG	3FO02bis	16.23	41.40	19	18.5	17.7	0.5	1.3
ADR	PUG	3FO03	16.27	41.45	24	23.5	21.9	0.5	2.1
ADR	PUG	3FO04	16.34	41.53	39	35.5	35.8	3.5	3.2
ADR	PUG	4BA02bis	16.96	41.15	70	66.5	61.7	3.5	8.3
ADR	PUG	4BA03	17.00	41.20	118	98.5	108.0	19.5	10.0
ADR	PUG	4BA04	17.06	41.28	135	98.5	131.8	36.5	3.2
ADR	PUG	6CB02bis	18.04	40.69	87	75.5	76.6	11.5	10.4
ADR	PUG	6CB03	18.07	40.73	114	70.5	110.3	43.5	3.7
ADR	PUG	6CB04	18.14	40.82	127	77.5	129.6	49.5	-2.6
ION	PUG	8PC02bis	17.85	40.22	32	30.5	30.0	1.5	2.0
ION	PUG	8PC03	17.80	40.18	50	48.5	49.5	1.5	0.5
ION	PUG	8PC04	17.70	40.11	210	79.5	212.2	130.5	-2.2
ION	PUG	9PN02bis	17.16	40.43	45	45.5	131.8	-0.5	-86.8
ION	PUG	9PN03	17.14	40.38	470	85.5	221.6	384.5	248.4
ION	PUG	9PN04	17.10	40.29	1100	79.5	1037.3	1020.5	62.7
ION	BAS	M1_SINNI_1	16.73	40.12	19	0.5	54.8	18.5	-35.8
ION	BAS	M1_SINNI_2	16.77	40.09	75	0.6	153.2	74.4	-78.2
ION	BAS	M1_SINNI_3	16.86	40.03	670	0.5	725.2	669.5	-55.2
ION	CAL	M1T1A	16.56	39.80	160	25.0	83.6	135.0	76.4
ION	CAL	M1T1B	16.62	39.79	320	25.0	309.3	295.0	10.7
ION	CAL	M1T1C	16.75	39.77	462	25.0	412.7	437.0	49.3
ION	CAL	M1T2A	17.17	38.89	320	25.0	248.1	295.0	71.9
ION	CAL	M1T2B	17.22	38.86	630	25.0	653.2	605.0	-23.2
ION	CAL	M1T2C	17.33	38.80	1500	25.0	1654.4	1475.0	-154.4
ION	CAL	M1T3A	16.50	38.30	450	25.0	400.0	425.0	50.0
ION	CAL	M1T3B	16.53	38.25	1100	25.0	798.9	1075.0	301.1
ION	CAL	M1T3C	16.59	38.16	1500	25.0	1531.7	1475.0	-31.7
ION	CAL	M1T4A	15.67	37.90	1200	25.0	1235.3	1175.0	-35.3
ION	CAL	M1T4B	15.63	37.86	1380	25.0	1529.8	1355.0	-149.8
ION	CAL	M1T4C	15.55	37.78	1460	25.0	1556.9	1435.0	-96.9
MED OCC	CAL	M1T5A	16.07	38.76	140	25.0	243.5	115.0	-103.5
MED OCC	CAL	M1T5B	16.04	38.80	400	25.0	384.4	375.0	15.6
MED OCC	CAL	M1T5C	15.97	38.88	440	25.0	474.3	415.0	-34.3
MED OCC	CAL	M1T6A	15.88	39.49	138	25.0	241.1	113.0	-103.1
MED OCC	CAL	M1T6B	15.82	39.46	480	25.0	421.7	455.0	58.3
MED OCC	CAL	M1T6C	15.72	39.40	670	25.0	668.4	645.0	1.6



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

ION	SIC	ICM1A	15.20	37.52	585	95.0	713.5	490.0	-128.5
ION	SIC	ICM1B	15.25	37.49	1285	88.0	1182.5	1197.0	102.5
ION	SIC	ICM1C	15.36	37.44	1900	87.0	2015.3	1813.0	-115.3
ION	SIC	PLM1A	15.34	36.96	126	78.0	255.0	48.0	-129.0
ION	SIC	PLM1B	15.36	36.91	433	83.0	634.9	350.0	-201.9
ION	SIC	PLM1C	15.39	36.81	2350	84.0	1994.6	2266.0	355.4
ION	SIC	COM1A	15.04	36.60	36	35.0	38.9	1.0	-2.9
ION	SIC	COM1B	15.01	36.56	52	51.0	54.4	1.0	-2.4
ION	SIC	COM1C	14.93	36.49	95	73.0	101.1	22.0	-6.1
ION	SIC	SMM1A	12.95	37.50	34	34.0	44.3	0.0	-10.3
ION	SIC	SMM1B	12.89	37.48	55	53.0	65.4	2.0	-10.4
ION	SIC	SMM1C	12.77	37.46	95	73.0	76.9	22.0	18.1
MED OCC	SIC	IEM1A	12.42	37.95	19	18.0	16.0	1.0	3.0
MED OCC	SIC	IEM1B	12.36	37.97	41	40.0	42.2	1.0	-1.2
MED OCC	SIC	IEM1C	12.24	38.00	84	66.0	76.6	18.0	7.4
MED OCC	SIC	CGM1A	13.35	38.27	142	78.0	267.2	64.0	-125.2
MED OCC	SIC	CGM1B	13.38	38.31	600	82.0	725.9	518.0	-125.9
MED OCC	SIC	CGM1C	13.44	38.40	1400	88.0	1418.7	1312.0	-18.7
MED OCC	CAM	M1CL3	15.27	40.00	85	25.0	148.7	60.0	-63.7
MED OCC	CAM	M1CL6	15.22	39.96	260	25.0	218.6	235.0	41.4
MED OCC	CAM	M1CL12	15.12	39.90	700	25.0	740.1	675.0	-40.1
MED OCC	CAM	M1GS3	14.78	40.60	50	25.0	44.4	25.0	5.6
MED OCC	CAM	M1GS6	14.73	40.57	145	25.0	143.9	120.0	1.1
MED OCC	CAM	M1GS12	14.64	40.50	450	25.0	461.5	425.0	-11.5
MED OCC	CAM	M1GN3	14.41	40.71	80	25.0	50.0	55.0	30.0
MED OCC	CAM	M1GN6	14.34	40.71	130	25.0	131.8	105.0	-1.8
MED OCC	CAM	M1GN12	14.21	40.70	230	25.0	211.8	205.0	18.2
MED OCC	CAM	M1FV3	13.87	41.00	20	20.0	32.4	0.0	-12.4
MED OCC	CAM	M1FV6	13.81	40.97	70	25.0	89.4	45.0	-19.4
MED OCC	CAM	M1FV12	13.70	40.93	290	25.0	298.4	265.0	-8.4
MED OCC	LAZ	IT_m1lt01_3	13.61	41.20	44	35.0	55.1	9.0	-11.1
MED OCC	LAZ	IT_m1lt01_6	13.61	41.15	86	50.0	86.4	36.0	-0.4
MED OCC	LAZ	IT_m1lt01_12	13.60	41.04	125	50.0	176.8	75.0	-51.8
MED OCC	LAZ	IT_m1lt02_3	13.10	41.17	65	50.0	62.1	15.0	2.9
MED OCC	LAZ	IT_m1lt02_6	13.11	41.13	100	50.0	80.3	50.0	19.7
MED OCC	LAZ	IT_m1lt02_12	13.12	41.03	150	50.0	137.2	100.0	12.8
MED OCC	LAZ	IT_m1rm03_3	12.04	41.90	24	25.0	34.6	-1.0	-10.6
MED OCC	LAZ	IT_m1rm03_6	12.00	41.86	88	30.0	92.1	58.0	-4.1
MED OCC	LAZ	IT_m1rm03_12	11.92	41.78	273	56.0	425.1	217.0	-152.1
MED OCC	LAZ	IT_m1vt04_3	11.64	42.21	48	47.0	101.4	1.0	-53.4
MED OCC	LAZ	IT_m1vt04_6	11.58	42.18	84	45.0	78.3	39.0	5.7
MED OCC	LAZ	IT_m1vt04_12	11.46	42.14	128	30.0	131.8	98.0	-3.8
MED OCC	TOS	SMR_COM_WA1	11.01	42.61	58	38.5	63.1	19.5	-5.1



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

MED OCC	TOS	SMR_COM_WA3	10.96	42.57	90	75.5	98.9	14.5	-8.9
MED OCC	TOS	SMR_COM_WA5	10.86	42.50	124	69.5	127.5	54.5	-3.5
MED OCC	TOS	SMR_CFO_WA1	10.65	42.90	27	28.5	29.1	-1.5	-2.1
MED OCC	TOS	SMR_CFO_WA3	10.62	42.86	43	44.5	42.5	-1.5	0.5
MED OCC	TOS	SMR_CFO_WA5	10.55	42.78	83	68.5	89.5	14.5	-6.5
MED OCC	TOS	SMR_CCE_WA1	10.47	43.17	42	38.5	43.2	3.5	-1.2
MED OCC	TOS	SMR_CCE_WA3	10.40	43.17	74	59.5	63.0	14.5	11.0
MED OCC	TOS	SMR_CCE_WA5	10.26	43.17	114	80.5	119.0	33.5	-5.0
MED OCC	TOS	SMR_CPI_WA1	10.21	43.74	15	15.5	17.0	-0.5	-2.0
MED OCC	TOS	SMR_CPI_WA3	10.14	43.74	20	21.5	29.2	-1.5	-9.2
MED OCC	TOS	SMR_CPI_WA5	10.00	43.74	50	64.5	86.8	-14.5	-36.8
MED OCC	LIG	MES030	9.58	44.10	140	25.0	182.2	115.0	-42.2
MED OCC	LIG	MES060	9.54	44.06	485	25.0	448.5	460.0	36.5
MED OCC	LIG	MES120	9.46	43.98	457	25.0	481.1	432.0	-24.1
MED OCC	LIG	ORO030	9.13	44.27	347	25.0	379.9	322.0	-32.9
MED OCC	LIG	ORO060	9.10	44.23	909	25.0	840.7	884.0	68.3
MED OCC	LIG	ORO120	9.05	44.14	1283	25.0	1287.5	1258.0	-4.5
MED OCC	LIG	VOL030	8.75	44.38	96	25.0	68.0	71.0	28.0
MED OCC	LIG	VOL060	8.75	44.33	275	25.0	354.0	250.0	-79.0
MED OCC	LIG	VOL120	8.75	44.23	1334	25.0	970.1	1309.0	363.9
MED OCC	LIG	VAD030	8.49	44.21	360	25.0	466.3	335.0	-106.3
MED OCC	LIG	VAD060	8.53	44.17	920	25.0	889.7	895.0	30.3
MED OCC	LIG	VAD120	8.61	44.09	1427	25.0	1349.0	1402.0	78.0
MED OCC	SAR	0004-MS00200_TR03	9.21	39.17	24	12.5	17.8	11.5	6.2
MED OCC	SAR	0004-MS00200_TR06	9.22	39.12	55	0.5	56.1	54.5	-1.1
MED OCC	SAR	0004-MS00200_TR12	9.25	39.02	400	43.5	389.3	356.5	10.7
MED OCC	SAR	0018-MS00110_TR03	9.49	39.08	52	0.5	58.9	51.5	-6.9
MED OCC	SAR	0018-MS00110_TR06	9.50	39.03	600	0.5	649.4	599.5	-49.4
MED OCC	SAR	0018-MS00110_TR12	9.52	38.93	1000	0.5	964.4	999.5	35.6
MED OCC	SAR	0073-MS00370_TR03	9.75	39.95	480	81.5	319.5	398.5	160.5
MED OCC	SAR	0073-MS00370_TR06	9.82	39.95	850	0.5	688.8	849.5	161.2
MED OCC	SAR	0073-MS00370_TR12	9.94	39.95	1250	38.5	1407.1	1211.5	-157.1
MED OCC	SAR	0129-MS00730_TR03	9.63	40.96	43	29.5	25.1	13.5	17.9
MED OCC	SAR	0129-MS00730_TR06	9.68	40.99	70	64.5	43.0	5.5	27.0
MED OCC	SAR	0129-MS00730_TR12	9.78	41.06	87	82.5	120.5	4.5	-33.5
MED OCC	SAR	0182-MS01070_TR03	8.39	40.89	33	25.5	31.8	7.5	1.2
MED OCC	SAR	0182-MS01070_TR06	8.40	40.94	45	39.5	41.6	5.5	3.4
MED OCC	SAR	0182-MS01070_TR12	8.42	41.04	74	62.5	61.3	11.5	12.7
MED OCC	SAR	0192-MS01200_TR03	8.26	40.52	53	43.5	53.1	9.5	-0.1
MED OCC	SAR	0192-MS01200_TR06	8.22	40.49	98	94.5	94.1	3.5	3.9
MED OCC	SAR	0192-MS01200_TR12	8.12	40.42	118	67.5	105.9	50.5	12.1
MED OCC	SAR	0222-MS01380_TR03	8.48	39.86	19	8.5	8.0	10.5	11.0
MED OCC	SAR	0222-MS01380_TR06	8.44	39.83	26	13.5	8.6	12.5	17.4

MED OCC	SAR	0222-MS01380_TR12	8.35	39.75	49	24.5	52.5	24.5	-3.5
---------	-----	-------------------	------	-------	----	------	------	------	------

Si nota che per la sottoregione marina Adriatico, caratterizzata da profondità contenute soprattutto nel Nord Adriatico e nelle aree più vicine alla costa, la massima profondità raggiunta dalle sonde CTD non si discosta molto dall'indicazione della profondità del fondale nella maggior parte delle stazioni. La media dei valori assoluti della differenza tra queste due profondità è di 6 metri. Solo nelle stazioni della Puglia meridionale in alcuni casi la differenza tra la quota raggiunta dalla sonda e la profondità del fondale arriva a qualche decina di metri (max 49.5 metri). Sebbene in aree eutrofiche la probabilità di anossie al fondo aumenta, soprattutto in condizioni di stabilità verticale della colonna d'acque, per l'Adriatico le differenze tra profondità del fondale e massima quota del dato di ossigeno non sembrano tali da precludere l'utilizzo di questi dati per la valutazione del GES. Bisogna anche tenere conto che ci possono essere errori nel dato di profondità del fondale riportato e che in certi casi si osservano bruschi cambiamenti nella profondità del fondale (p.es., in corrispondenza delle scarpate continentali) che influiscono sulla rappresentatività del dato misurato.

Per le altre due sottoregioni marine invece si osservano scostamenti importanti tra la profondità del fondale e la massima profondità dei profili con misure di concentrazione di ossigeno disciolto. La media delle differenze assolute per lo Ionio ammonta a ben 567 metri (con un picco di quasi 2300 metri di differenza in Sicilia), mentre per il Mediterraneo Occidentale ammonta a 241 metri (con un massimo di oltre 1400 metri di differenza in Liguria). Anche in diverse stazioni vicine alla costa in queste due sottoregioni marine si osserva uno scostamento notevole tra profondità del fondale ed ultimo dato di ossigeno disciolto disponibile (p.es., 0073-MS00370\_TRO3 della Sardegna con una differenza che sfiora i 400 metri). Sebbene lo Ionio e il Mediterraneo Occidentale siano in generale caratterizzate da condizioni oligotrofiche, soprattutto nelle stazioni di campionamento più lontane dalla costa, è indubbio che dati presi a profondità così diverse non possono essere rappresentativi dei valori di ossigeno disciolto sul fondale. La stessa altezza della colonna d'acqua ostacola la diffusione dell'ossigeno dagli strati superficiali a contatto con l'atmosfera verso gli strati profondi. Anche senza considerare processi biotici sul fondo che consumano ossigeno, la grande altezza della colonna di acqua ostacola la diffusione dell'ossigeno che viene scambiato con l'atmosfera in superficie verso gli strati più profondi. In aree di elevata profondità della colonna d'acqua, in assenza di dati di concentrazione di ossigeno prossimi al fondo, come talvolta nel caso delle sottoregioni Ionio e Mediterraneo Occidentale non risulta possibile valutare l'indicatore "ossigeno di fondo" ; nella sottoregione Adriatico i dati di concentrazione di ossigeno disciolto disponibili nel dataset 2018-2020 invece possono essere utilizzati come indicatori dell'ossigeno di fondo p.

Considerato l'interesse di integrare i dati del monitoraggio con i prodotti del Copernicus Marine Service (CMS), in Tabella 6 è stato fatto anche un confronto tra la profondità del fondale riportata nei dati e la profondità dell'ultimo livello verticale della cella corrispondente nel modello fisico e biogeochimico del Mediterraneo del CMS. In questo caso si osserva una corrispondenza abbastanza elevata tra modello e profondità del fondale riportata nel dataset disponibile, con media delle differenze assolute di 2.5 m per l'Adriatico, 82 m per lo Ionio, e 36 per il Mediterraneo Occidentale. Bisogna tenere in considerazione che le celle dei modelli CMS hanno un lato di circa 4-5 km e quindi la profondità indicata corrisponde ad una media su tale area. Come già ricordato sopra, la reale morfologia del fondale può essere molto più complessa e con cambiamenti repentini di profondità. Il dato modellistico potrebbe quindi essere più adeguato per quanto riguarda le finalità del presente lavoro, ma va ricordato che il modello biogeochimico del Mediterraneo fornito da CMS allo stato attuale non contiene uno specifico modulo bentonico: quindi, il modello non simula esplicitamente i

processi biotici che avvengono all'interfaccia tra colonna d'acqua e fondale e che possono fortemente condizionare il livello di ossigeno alle profondità più elevate della colonna d'acqua delle diverse zone. L'integrazione in futuro di un modulo bentonico nei modelli CMS potrebbe risolvere tale problema, ma una corretta calibrazione del modello beneficerebbe di dati misurati in situ sui fondali.

### 3.2 Principali statistiche descrittive

Sono state successivamente calcolate le principali statistiche relative ai dati 2018-2020 in superficie, sia considerando tutti i dati (Tabella 7), sia suddivise per regione (Tabella 8).

Tabella 7: Principali statistiche delle variabili considerate nel dataset 2018-2020 in superficie. Chla = clorofilla a; DIN = azoto inorganico disciolto come somma di ammonio, nitrato e nitrito; TP = fosforo totale; DO fondo = ossigeno disciolto di fondo; SAL = salinità; IQR = range interquartile

	Unità di misura	Min	1°quartile	Mediana	Media	3°quartile	Max	IQR
<b>Chla</b>	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.01	0.14	0.40	1.44	1.01	71.46	1.31
<b>DIN</b>	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.06	1.43	3.10	5.37	5.96	106.25	6.80
<b>TP</b>	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.00	0.16	0.36	0.49	0.51	12.60	0.52
<b>DO fondo</b>	$\mu\text{mol L}^{-1}$	109.38	226.56	246.10	247.59	266.88	480.31	60.47
<b>SAL</b>	/	14.24	37.08	37.88	37.08	38.27	39.94	1.79

Come si può vedere, tutti i parametri mostrano grande variabilità, in particolare la concentrazione di clorofilla e i due nutrienti, con valori massimi che sono persino di due ordini di grandezza più grandi della mediana e del range interquartile. Suddividendo i dati per regione alcuni parametri mostrano un andamento prevedibile ed in linea con la letteratura scientifica (Grilli et al., 2020; Lipizer et al., 2014; Zoppini et al., 2019). In particolare, per la salinità i valori più bassi e con i range interquartile più elevati si osservano per le regioni dell'Adriatico, in particolare per quelle direttamente influenzate dagli apporti del Po. Il valore mediano più alto di salinità si osserva invece in Calabria.

La mediana più alta della concentrazione di ossigeno al fondo è nel FVG, forse dovuto a fenomeni di bora con forte rimescolamento verticale delle acque. Risalta il contrasto con il confinante Veneto, dove invece si osserva la mediana più bassa. Anche per chiarire questo gradiente sarebbero necessarie ulteriori osservazioni nel tratto di costa tra il confine con il FVG e il primo transetto del Veneto. Ad ogni modo, l'interpretazione delle statistiche sull'ossigeno di fondo non può prescindere dal fatto che le profondità a cui si situa l'ultima misura di ossigeno nelle varie stazioni di campionamento, spesso non rappresenta le acque di fondo.

Invece, la mediana più alta della concentrazione di clorofilla è stata osservata in Emilia-Romagna, sintomo dell'elevata trofia sviluppata a seguito degli apporti molto variabili nel tempo del Po. Sorprende invece in valore mediano molto elevato per la Basilicata, indice forse di effetti locali che agiscono sulle tre stazioni dell'unico transetto campionato in questa regione. La mediana più bassa della concentrazione di clorofilla si rileva in Sardegna, ad indicare il carattere a trofia basso delle acque di questa regione.

Per il DIN la concentrazione mediana più elevata è quella della Campania che mostra anche valori minimi molto elevati rispetto a tutte le altre regioni, sebbene il massimo assoluto e il range interquartile più elevato siano stati osservati in Emilia-Romagna. Per quest'ultima regione tali valori di DIN sono da ascrivere all'effetto delle acque fluviali del Po, per la Campania invece resta il dubbio



se si tratti di valori dovuti a effetti di scarichi di acque reflue urbane non regolamentati, o non si tratti piuttosto di un bias di campionamento. Valori mediani molto bassi di concentrazione di DIN si osservano invece in Liguria ed in Sardegna. Il range interquartile più basso è invece uguale a 0 ed è stato osservato in Basilicata. Il dato è ovviamente sospetto, ma potrebbe essere dovuto anche alla scarsità di campioni raccolti in questa regione nelle tre stazioni dell'unico transetto campionato per le finalità della Strategia marina.

Allo stesso modo, anche per il TP si osserva un IQR = 0 per la Basilicata e per la Toscana. Di nuovo, per la Basilicata, si può supporre una non grande variabilità dovuta al campionamento di un solo transetto, sebbene il valore mediano sia il più basso tra tutte le regioni e in quanto tale, e considerando anche il valore mediano del DIN piuttosto elevato nello stesso transetto, potrebbe indicare un bias di campionamento. Per la Toscana sembra che il grosso dei valori registrati sia sotto il limite di quantificazione per il TP ( $0.40 \mu\text{mol L}^{-1}$ , vedi Tabella 3 in Lipizer et al., 2021). Sorprende anche il valore mediano più alto della concentrazione di TP che è stato osservato in Abruzzo, mentre i valori in assoluto più alti sono quelli osservati in Puglia e nelle Marche. Vista la complessità della dinamica del TP è difficile capire se tali valori riflettano situazioni reali di sovraccarico di TP in corso nelle varie aree campionate, o rivelino una problematicità della misura di questo parametro. Si ricorda che anche in Giani et al. (2021) sono stati rilevati dei valori anomali di TP in Abruzzo.

Tabella 8: Principali statistiche delle variabili considerate nel dataset 2018-2020 in superficie e suddivise per regione. In giallo i valori mediani e di IQR più elevati per ogni parametro, in verde i valori mediani ed IQR più bassi per ogni parametro. ABR = Abruzzo; BAS = Basilicata; CAL = Calabria; CAM = Campania; EMR = Emilia-Romagna; FVG = Friuli-Venezia giulia; LAZ = Lazio; LIG = Liguria; MAR = Marche; MOL = Molise; PUG = Puglia; SAR = Sardegna; SIC = Sicilia; VEN = Veneto; TOS = Toscana; Chla = clorofilla a; DIN = azoto inorganico disciolto come somma di ammonio, nitrato e nitrito; TP = fosforo totale; DO fondo = ossigeno disciolto di fondo; SAL = salinità; IQR = range interquartile

Regione		Unità di misura	Min	1°quartile	Mediana	Media	3°quartile	Max	IQR
FVG	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.20	0.47	0.86	0.96	1.38	3.32	1.35
VEN	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.15	0.71	1.51	2.31	3.18	12.97	3.71
EMR	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.10	1.87	3.55	6.47	7.06	71.46	7.79
MAR	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.10	0.40	0.70	1.22	1.30	14.00	1.35
ABR	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.01	0.18	0.35	0.71	0.75	11.14	0.86
MOL	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.02	0.28	0.43	0.75	0.61	14.04	0.50
PUG	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.01	0.12	0.29	0.41	0.55	5.66	0.65
BAS	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.70	1.69	2.10	2.15	2.54	4.44	1.28
CAL	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.04	0.08	0.15	0.21	0.28	1.11	0.30
SIC	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.01	0.09	0.26	0.50	0.71	4.92	0.93
CAM	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.01	0.11	0.21	0.32	0.38	3.14	0.41
LAZ	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.02	0.09	0.20	0.31	0.41	2.47	0.48
TOS	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.02	0.10	0.26	0.43	0.60	8.25	0.75
LIG	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.01	0.13	0.22	0.28	0.36	1.22	0.35
SAR	Chla	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.05	0.05	0.05	0.30	0.37	3.58	0.49
FVG	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.75	3.78	5.31	9.10	8.73	66.03	7.44





# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

VEN	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.73	2.10	4.70	8.73	10.73	84.06	12.95
EMR	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.06	1.00	4.21	9.99	10.45	106.25	14.17
MAR	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	1.07	2.86	4.16	5.77	7.12	35.91	6.40
ABR	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.22	1.82	3.44	4.77	6.55	31.77	7.08
MOL	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	1.88	3.29	3.83	3.86	4.48	7.62	1.79
PUG	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.32	1.24	2.21	2.82	3.52	61.68	3.42
BAS	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.13	3.21	3.21	3.03	3.21	3.71	0.00
CAL	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	1.00	1.53	2.32	2.91	3.52	10.80	2.98
SIC	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.32	1.52	2.37	4.24	4.51	79.76	4.49
CAM	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	5.67	9.14	10.23	11.05	12.40	36.90	4.89
LAZ	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.93	1.36	1.93	2.93	2.36	27.29	1.50
TOS	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	3.10	3.10	3.10	3.80	3.28	76.70	0.26
LIG	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.71	0.72	0.72	1.17	1.26	5.54	0.81
SAR	DIN	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.95	0.95	0.95	1.58	1.60	8.95	0.98
FVG	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.01	0.10	0.14	0.50	0.23	5.75	0.20
VEN	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.06	0.23	0.35	0.46	0.48	2.95	0.38
EMR	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.01	0.16	0.23	0.32	0.37	6.25	0.32
MAR	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.16	0.40	0.61	0.82	0.81	10.62	0.61
ABR	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.16	0.50	0.66	0.88	0.90	4.17	0.60
MOL	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.07	0.15	0.21	0.49	0.71	2.58	0.83
PUG	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.08	0.16	0.23	0.62	0.47	12.60	0.47
BAS	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
CAL	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.10	0.10	0.10	0.31	0.51	0.96	0.62
SIC	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.10	0.27	0.35	0.38	0.45	1.50	0.27
CAM	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.28	0.46	0.56	0.75	0.79	2.69	0.50
LAZ	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.13	0.16	0.32	0.42	0.36	4.39	0.29
TOS	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.80	0.00
LIG	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.05	0.05	0.16	0.23	0.16	6.71	0.17
SAR	TP	$\mu\text{mol L}^{-1}$	0.10	0.10	0.30	0.39	0.50	2.90	0.60
FVG	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	141.72	231.14	262.81	256.49	279.22	335.09	72.12
VEN	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	130.31	207.19	229.22	238.50	274.84	352.81	101.48
EMR	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	109.38	210.00	250.63	252.53	290.63	480.31	120.95
MAR	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	184.38	231.25	262.50	260.12	281.25	412.50	75.00
ABR	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	179.69	221.88	239.06	239.70	252.19	346.88	45.47
MOL	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	191.56	239.53	247.66	249.50	266.10	299.06	39.85
PUG	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	177.81	235.00	250.31	250.50	266.57	325.63	47.35
BAS	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	187.81	227.50	235.00	242.57	257.50	297.19	45.00

CAL	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	145.31	204.34	234.54	233.18	254.57	326.25	75.34
SIC	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	173.75	230.31	244.53	245.46	257.42	330.31	40.67
CAM	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	202.81	241.09	250.00	252.18	262.97	295.94	32.81
TOS	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	124.69	215.35	243.75	244.86	272.91	336.36	86.34
LAZ	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	178.13	229.70	249.70	251.61	272.82	359.01	64.69
LIG	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	201.25	232.19	254.06	251.42	267.19	296.56	52.50
SAR	DO fondo	$\mu\text{mol L}^{-1}$	195.63	217.27	238.10	233.59	247.11	270.00	44.76
FVG	SAL	/	26.53	36.40	37.33	36.62	37.95	38.46	2.32
VEN	SAL	/	19.52	33.87	36.19	35.10	37.79	39.87	5.87
EMR	SAL	/	14.24	32.13	35.48	33.94	37.16	38.73	7.55
MAR	SAL	/	21.90	35.40	36.90	36.24	38.00	39.00	3.90
ABR	SAL	/	28.12	36.67	38.10	37.36	38.58	38.91	2.87
MOL	SAL	/	32.30	37.54	38.35	38.03	38.91	39.66	2.05
PUG	SAL	/	34.23	37.92	38.51	38.28	38.78	39.38	1.28
BAS	SAL	/	36.35	37.09	37.32	37.24	37.65	37.86	0.85
CAL	SAL	/	36.45	38.32	38.63	38.56	38.86	39.21	0.81
SIC	SAL	/	33.59	37.68	38.02	37.98	38.34	38.84	0.99
CAM	SAL	/	32.90	37.61	37.82	37.71	37.92	38.30	0.46
LAZ	SAL	/	32.26	37.77	37.91	37.71	38.03	38.27	0.39
TOS	SAL	/	31.26	37.81	37.96	37.74	38.08	38.36	0.41
LIG	SAL	/	35.85	37.14	37.87	37.65	38.00	38.29	1.29
SAR	SAL	/	33.05	37.98	38.37	38.33	38.91	39.94	1.40

Sul dataset suddiviso per regioni è stata effettuata anche un'analisi della varianza non parametrica con il test di Kruskal-Wallis, e una post-hoc comparison con il test di Dunn (Tabella 9). Il test di Kruskal-Wallis dimostra che tutti i parametri sono significativamente diversi se considerati per regione, indicando non solo l'eterogeneità delle coste italiane, ma anche eventuali bias e differenze nella capacità analitica tra le ARPA delle diverse regioni. Tra le variabili la concentrazione di ossigeno disciolto al fondo è quella con meno differenze significative tra le regioni, mentre le altre variabili, legate alla presenza di fiumi e al diverso stato trofico, mostrano un'incidenza di differenze non significative tra le regioni molto simile.

Tabella 9: Risultati del test di Kruskal-Wallis (prima riga) e dei test di Dunn (righe successive) applicati ai dati 2018-2020 superficiali suddivisi per regioni. In rosso sono evidenziati i valori significativi, cioè con un  $p < 5.00E-02$ . Minore è il valore del test, più significativo si considera il test. ABR = Abruzzo; BAS = Basilicata; CAL = Calabria; CAM = Campania; EMR = Emilia-Romagna; FVG = Friuli-Venezia giulia; LAZ = Lazio; LIG = Liguria; MAR = Marche; MOL = Molise; PUG = Puglia; SAR = Sardegna; SIC = Sicilia; VEN = Veneto; TOS = Toscana; Chla = clorofilla a; DIN = azoto inorganico disciolto come somma di ammonio, nitrato e nitrito; TP = fosforo totale; DO = ossigeno disciolto di fondo; SAL = salinità.

	Chla	DIN	TP	DO fondo	SAL
Kruskal-Wallis	0	0	1.39E-267	5.06E-25	0
ABR - BAS	4.48E-04	1	1.80E-21	1	0.12
ABR - CAL	5.97E-08	3.40E-02	1.55E-35	1	5.63E-15
ABR - CAM	5.37E-05	7.43E-37	1	3.69E-03	3.09E-02
ABR - EMR	1.68E-58	1	1.12E-65	0.07	1.20E-45



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

ABR - FVG	4.02E-07	9.27E-05	2.78E-59	4.68E-04	2.40E-08
ABR - LAZ	1.35E-04	6.49E-06	1.76E-24	1	1
ABR - LIG	1.85E-04	8.69E-44	1.97E-100	1.28E-02	0.06
ABR - MAR	1.30E-06	1.58E-02	0.08	1.66E-05	3.04E-12
ABR - MOL	1	1	2.00E-24	0.91	3.33E-02
ABR - PUG	0.12	9.01E-08	2.82E-51	1.31E-02	1.96E-11
ABR - SAR	7.87E-17	2.02E-28	1.03E-36	1	1.79E-10
ABR - SIC	0.05	4.04E-02	2.70E-31	1	1
ABR - TOS	1.40E-02	1	4.04E-15	3.44E-02	1
ABR - VEN	2.50E-15	0.45	2.67E-16	1	4.42E-12
BAS - CAL	3.55E-10	1	3.95E-04	1	8.34E-09
BAS - CAM	4.62E-08	2.65E-04	1.34E-20	1	1
BAS - EMR	1	1	5.73E-05	1	1
BAS - FVG	1	1	1.61E-02	1	1
BAS - LAZ	2.78E-08	1	2.68E-07	1	0.73
BAS - LIG	6.93E-08	3.66E-04	0.25	1	1
BAS - MAR	0.36	1	8.08E-18	1	1
BAS - MOL	3.91E-03	1	1.83E-05	1	5.05E-04
BAS - PUG	2.10E-06	1	3.57E-06	1	4.28E-06
BAS - SAR	3.93E-12	1.69E-02	9.15E-07	1	2.77E-06
BAS - SIC	1.31E-06	1	4.89E-09	1	1.46E-02
BAS - TOS	5.62E-07	1	1.44E-11	1	0.16
BAS - VEN	1	1	2.78E-08	1	1
CAL - CAM	0.66	2.64E-47	5.04E-37	1.76E-03	3.33E-31
CAL - EMR	3.39E-92	2.31E-03	1	2.76E-02	2.92E-101
CAL - FVG	2.33E-26	3.01E-12	1	2.25E-04	5.68E-40
CAL - LAZ	1	1	0.13	1	4.15E-19
CAL - LIG	0.50	2.46E-15	2.50E-04	5.16E-03	6.65E-30
CAL - MAR	1.86E-28	5.20E-10	2.63E-28	1.72E-05	2.39E-52
CAL - MOL	9.85E-08	4.73E-04	1	0.29	2.71E-03
CAL - PUG	4.20E-04	1	1	6.05E-03	2.41E-02
CAL - SAR	1	5.76E-08	0.56	1	0.18
CAL - SIC	9.43E-04	1	6.30E-05	0.69	1.27E-14
CAL - TOS	2.02E-02	2.10E-03	4.01E-10	1.30E-02	3.05E-19
CAL - VEN	3.59E-37	2.64E-06	7.72E-03	1	4.08E-44
CAM - EMR	6.18E-150	3.68E-63	1.52E-83	1	2.21E-36
CAM - FVG	1.05E-26	1.20E-10	1.49E-65	1	1.29E-02
CAM - LAZ	1	2.47E-72	2.16E-25	1	1
CAM - LIG	1	2.72E-210	1.22E-121	1	1
CAM - MAR	2.72E-33	1.45E-27	0.67	1	1.35E-04
CAM - MOL	8.28E-05	5.78E-16	1.69E-24	1	6.81E-09
CAM - PUG	0.42	3.55E-125	3.42E-63	1	1.11E-37
CAM - SAR	1.71E-04	3.46E-167	1.87E-41	4.64E-11	8.64E-31



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

CAM - SIC	0.88	1.36E-96	3.73E-37	0.27	3.65E-09
CAM - TOS	1	1.72E-46	1.07E-15	1	2.24E-02
CAM - VEN	6.10E-39	7.61E-15	6.18E-16	0.06	1.03E-05
EMR - FVG	2.07E-15	9.81E-07	1.82E-02	1	6.91E-08
EMR - LAZ	1.08E-96	3.70E-09	2.21E-02	1	3.00E-30
EMR - LIG	8.34E-138	7.44E-76	4.56E-13	1	1.21E-34
EMR - MAR	2.65E-36	1.66E-04	1.98E-65	0.21	1.32E-13
EMR - MOL	1.56E-29	1	1	1	2.87E-49
EMR - PUG	1.64E-158	1.71E-16	0.82	1	1.34E-199
EMR - SAR	4.21E-199	6.13E-49	0.09	5.00E-10	1.66E-143
EMR - SIC	1.92E-169	2.93E-05	4.19E-12	1	9.94E-114
EMR - TOS	5.28E-132	1	1.67E-21	1	1.54E-62
EMR - VEN	5.39E-03	0.17	5.73E-04	0.66	3.95E-02
FVG - LAZ	3.52E-22	1.83E-20	7.69E-07	0.27	2.84E-04
FVG - LIG	4.52E-25	3.76E-76	0.82	1	1.17E-02
FVG - MAR	1	1	5.25E-53	1	1
FVG - MOL	2.90E-03	0.85	1.96E-02	1	6.44E-16
FVG - PUG	1.23E-20	4.13E-28	1.48E-05	1	2.65E-44
FVG - SAR	1.04E-46	3.86E-56	1.78E-06	1.42E-10	4.27E-39
FVG - SIC	4.82E-22	3.25E-17	1.14E-15	0.03	7.50E-18
FVG - TOS	2.60E-21	5.64E-05	1.13E-23	1	3.22E-09
FVG - VEN	0.15	1	1.68E-08	7.51E-03	1
LAZ - LIG	1	7.68E-13	4.76E-17	1	1
LAZ - MAR	1.77E-24	3.08E-19	2.16E-17	0.07	3.16E-06
LAZ - MOL	1.00E-04	7.80E-08	1	1	2.41E-04
LAZ - PUG	0.35	1	1	1	3.24E-16
LAZ - SAR	0.06	1.56E-05	1	4.83E-02	7.95E-15
LAZ - SIC	0.65	0.08	1	1	3.72E-02
LAZ - TOS	1	1.40E-08	5.84E-03	1	1
LAZ - VEN	4.48E-33	2.18E-11	1	1	2.12E-07
LIG - MAR	1.55E-30	1.04E-94	6.76E-103	1	1.47E-04
LIG - MOL	2.04E-04	1.21E-37	1.44E-07	1	1.89E-08
LIG - PUG	0.92	1.22E-26	6.30E-20	1	1.25E-34
LIG - SAR	1.30E-04	0.16	4.39E-19	2.25E-09	9.27E-29
LIG - SIC	1	4.66E-45	1.90E-41	0.82	3.29E-08
LIG - TOS	1	2.61E-62	1.34E-51	1	0.05
LIG - VEN	4.64E-37	2.46E-49	2.22E-18	0.14	1.00E-05
MAR - MOL	2.47E-02	1	9.65E-18	1	1.98E-20
MAR - PUG	1.51E-26	3.53E-32	2.16E-47	1	9.63E-77
MAR - SAR	2.48E-60	7.66E-67	8.54E-30	1.13E-16	1.59E-60
MAR - SIC	6.21E-29	1.76E-17	1.38E-24	8.74E-04	1.18E-31
MAR - TOS	8.13E-26	1.19E-02	3.01E-08	1	4.98E-15
MAR - VEN	3.24E-04	1	3.96E-10	9.94E-04	1

MOL - PUG	0.05	3.33E-09	1	1	1
MOL - SAR	8.63E-14	4.06E-26	1	5.87E-03	1
MOL - SIC	2.24E-02	3.99E-04	0.27	1	0.51
MOL - TOS	7.24E-03	1	9.02E-05	1	3.08E-03
MOL - VEN	6.15E-09	1	1	1	7.79E-20
PUG - SAR	1.05E-12	2.10E-12	1	1.01E-11	1
PUG - SIC	1	9.55E-03	7.19E-05	1.00	3.74E-13
PUG - TOS	1	2.92E-13	1.36E-12	1	1.28E-18
PUG - VEN	1.28E-32	3.24E-14	0.19	0.19	3.76E-47
SAR - SIC	4.36E-12	2.12E-25	0.19	2.27E-05	1.30E-10
SAR - TOS	7.55E-08	7.91E-41	1.07E-06	6.35E-09	1.10E-15
SAR - VEN	6.71E-60	4.98E-35	1	1	9.39E-43
SIC - TOS	1	1.72E-04	2.42E-02	1	0.54
SIC - VEN	3.13E-34	2.33E-07	1	1	4.22E-22
TOS - VEN	5.34E-33	0.69	1	0.31	3.28E-13

Alcuni pattern nei risultati della post-hoc comparison sono facilmente individuabili (Tabella 9, Tabella 10). Le regioni dell'Adriatico sono in generale molto diverse dalle regioni del Mediterraneo occidentale e simili alle altre regioni dell'Adriatico. In particolare, il FVG mostra il massimo numero di altre regioni con cui ha valori significativamente diversi per tutte le variabili. Nonostante questo, le regioni dell'Adriatico tendono ad avere anche variabili significativamente diverse tra di loro, indicando la grande eterogeneità e dinamicità dell'Adriatico rispetto agli altri bacini italiani. Sorprende anche che l'Abruzzo e il FVG siano significativamente diversi in tutti i parametri considerati. Per quanto riguarda la Puglia, regione i cui transetti cadono in parte nella sottoregione dell'Adriatico, in parte in quella dello Ionio, è significativamente diversa da FVG, e simile al Lazio. Probabilmente, suddividendo i campioni della Puglia per sottoregione di appartenenza, anche le relazioni con le due sottoregioni sarebbero più chiare.

Dato che la sottoregione Ionio è costituita da transetti di quattro regioni, ma solo della Basilicata tutti i campioni ricadono in questa sottoregione marina, è difficile dare dei giudizi sulla somiglianza o meno dello Ionio con le altre sottoregioni. In particolare, in Basilicata un solo transetto viene monitorato per la strategia marina, risultando in una significativa somiglianza dei valori misurati con quelli delle regioni dell'Adriatico centro-settentrionale (FVG, Veneto, Emilia-Romagna, ma anche Marche). Evidentemente il transetto della Basilicata è posizionato in acque interessate da apporti fluviali che le rendono simili a quelle dell'Adriatico. Possibili bias di campionamento possono essere anche ipotizzati e comunque i dati di questo unico transetto sono pochi e quindi scarsamente rappresentativi.

Come i transetti della Puglia ricadono in parte in Adriatico ed in parte nello Ionio, i transetti della Calabria e della Sicilia ricadono in parte nello Ionio ed in parte nel Mediterraneo occidentale. Entrambe le regioni mostrano più affinità per altre regioni del Mediterraneo occidentale (la Calabria con Lazio e Sardegna; la Sicilia con il Lazio). I campioni della Calabria risultano significativamente diversi da quelli del Veneto, ma anche da quelli della Toscana. Anche per queste due regioni quindi una suddivisione tra sottoregioni potrebbe chiarire le differenze ovvero somiglianze con le altre sottoregioni. Da notare che né i campioni di Puglia, né quelli di Sicilia e Calabria mostrano significative somiglianze con i campioni della Basilicata, sebbene almeno in parte i campioni di tutte

queste regioni ricadano nella stessa sottoregione. La sottoregione Ionio, quindi, sembra non essere rappresentata in maniera soddisfacente, o comunque mostrare delle caratteristiche intermedie tra i due estremi della sottoregione Adriatico da una parte e della sottoregione del Mediterraneo occidentale dall'altra.

Come già detto sopra, i campioni delle regioni della sottoregione marina del Mediterraneo occidentale risultano in generale significativamente diversi da quelli della sottoregione Adriatico, ma mostrano comunque anche diverse differenze significative nelle cinque variabili esplorate con le altre regioni della stessa sottoregione. Essendo la sottoregione grande e i campionamenti eseguiti in modo indipendente dalle diverse regioni, tale eterogeneità sembra comunque giustificabile.

Tabella 10: Risultati del test di Dunn applicati ai dati 2018-2020 superficiali suddivisi per regioni. Per ogni regione sono riportate le regioni di maggiore somiglianza (una sola o due variabili significativamente diverse), e le regioni di maggiore diversità (cinque variabili significativamente diverse). Vedi Tabella 3 per gli effettivi valori di p-value per ogni variabile tra coppie di regioni. Le regioni sono raggruppate e colorate per sottoregione della strategia marina cui appartengono. Adriatico = rosso, Ionio = verde, Mediterraneo occidentale = blu. La Puglia, con transetti che cadono in Adriatico ed altri nello Ionio, e la Calabria e la Sicilia, i cui transetti cadono nello Ionio e nel Mediterraneo Occidentale, hanno colorazioni intermedie tra quelle delle sottoregioni in cui cadono. ABR = Abruzzo; BAS = Basilicata; CAL = Calabria; CAM = Campania; EMR = Emilia-Romagna; FVG = Friuli-Venezia giulia; LAZ = Lazio; LIG = Liguria; MAR = Marche; MOL = Molise; PUG = Puglia; SAR = Sardegna; SIC = Sicilia; VEN = Veneto; TOS = Toscana

Regione	1 variabile sign. diversa	2 variabili sign. diverse	5 variabili sign. diverse
FVG	VEN BAS	MAR ABR	ABR PUG CAM
VEN	BAS	FVG MAR ABR MOL	CAL
EMR	BAS	MOL	LAZ
MAR	/	VEN BAS	LAZ LIG
ABR	/	FVG VEN MOL PUG CAL LIG	SAR
MOL	/	VEN EMR ABR PUG SIC SAR	/
PUG	LAZ	ABR MOL CAL LAZ	FVG
BAS	FVG VEN EMR	MAR LAZ TOS LIG	SAR
CAL	SAR	PUG LAZ	VEN TOS
SIC	LAZ	MOL	/
CAM	/	LAZ LIG	FVG
LAZ	SIC	BAS PUG CAL CAM TOS LIG SAR	MAR
TOS	/	ABR BAS SIC LAZ	FVG MAR CAL
LIG	/	ABR BAS CAM LAZ	MAR
SAR	CAL	MOL LAZ	FVG MAR BAS

### 3.3 Analisi multivariate

Sui dati 2018-2020 con quality flag diversa da 3 o 4 sono state applicate anche tecniche di analisi esplorativa multivariata, in particolare la Principal Component Analysis (PCA) che permette di individuare gli assi di maggior variazione dei dati e quindi inferire sui principali gradienti che strutturano l'insieme dei dati analizzati.

La PCA fatta su tutti i dati superficiali (Fig. 4) rivela una forte organizzazione dei dati in base a due gradienti principali. Il primo gradiente è descritto dal primo asse principale che spiega il 50% della varianza totale dei dati superficiali e rappresenta un gradiente di trofia: a sinistra ci sono le acque con trofia bassa, caratterizzate da concentrazioni di DIN, ossigeno e clorofilla bassi e da salinità elevate, a destra acque con livelli di trofia elevati, associate quindi a salinità basse ed elevati valori di DIN, ossigeno e clorofilla. Questo gradiente è da mettere in relazione con gli apporti fluviali dei principali fiumi e caratterizza in particolare le acque dell'Adriatico. Infatti, si osserva una distribuzione lungo il primo asse dell'elisse di dati relativa a Emilia-Romagna, Veneto e in parte FVG. La maggior parte delle altre regioni mostrano delle elissi di dati molto più schiacciate verso l'origine e alcune orientate lungo il secondo asse. Il secondo asse, che spiega il 21% della varianza totale dei dati in superficie, è un asse legato fondamentalmente alle concentrazioni di TP, con valori elevati in alto e bassi in basso. Tra le regioni, in particolare i dati della Puglia, si orientano lungo questo asse, differendo quindi non in salinità, clorofilla o ossigeno disciolto, ma fondamentalmente in contenuto di TP e in minor parte di DIN. Alcune regioni mostrano una disposizione della nuvola di dati anomala rispetto a tutte le altre:

p.es., i dati della Basilicata sono spostati verso valori intermedi di clorofilla e bassi di TP, con tutta la nuvola di dati nella parte inferiore del grafico.

La PCA dei dati della seconda quota di campionamento (Fig. 5) mostra dei gradienti fondamentalmente simili alla PCA superficiale, ma con una minore importanza del gradiente descritto dal primo asse. Per la PCA subsuperficiale infatti, il primo asse spiega solo il 35% della varianza totale osservata a questa quota, mentre il secondo asse spiega una percentuale simile (23%) a quella spiegata dal secondo asse della PCA superficiale. I gradienti ricostruiti sui due assi sono simili alla PCA superficiale, con la differenza che il DIN è maggiormente correlato al TP e in quanto tale ha un peso maggiore nella definizione del secondo asse.

Considerato che i gradienti ricostruibili sono simili tra la quota superficiale e quella subsuperficiale, che comunque sono meglio definiti in superficie in quanto il gradiente della trofia è fondamentalmente legato agli apporti di acque dolci dai fiumi, e che la profondità della seconda quota di campionamento non è definita in maniera univoca ed omogenea tra le diverse regioni, si ritiene di considerare nelle analisi esplorative la sola quota superficiale. Sulle misure di fondo dell'ossigeno disciolto si veda più sotto.





Figura 4: Primi due assi della PCA su tutti i dati superficiali. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni delle regioni. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.



Figura 5: Primi due assi della PCA su tutti i dati della seconda quota di campionamento. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni delle regioni. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

La distribuzione dei dati separati per periodo estivo (aprile-settembre) e periodo invernale (ottobre-marzo) mostra una maggiore prevalenza di condizioni a trofia elevata in inverno, mentre lungo il secondo asse (gradiente di TP) la differenza nella distribuzione dei valori tra i due periodi non è rilevante (Fig. 6). Si notano dati outlier per lo più invernali lungo il primo asse, e dati outlier prevalentemente estivi lungo il secondo. Tuttavia, l'arbitrarietà della definizione di stagione, o di qualsiasi altra suddivisione temporale in base alla sola data di campionamento, non sembra portare informazioni particolarmente importanti allo studio in oggetto.



Figura 6: Primi due assi della PCA su tutti i dati superficiali. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni suddivisi in due stagioni convenzionali: Estate (aprile-settembre) ed Inverno (ottobre-marzo). I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni stagione. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni stagione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

La suddivisione dei dati per Water Type (European Commission, 2018; Giani et al., 2021) rivela una chiara organizzazione lungo il gradiente del primo asse (Fig. 7). Le acque di tipo I sono ovviamente quelle a trofia più elevata, seguite dalle acque di tipo II e dalle acque di tipo III dalla trofia più bassa. In particolare, le acque di tipo III mostrano una distribuzione molto compatta con elevata densità di punti a sinistra dell'origine del biplot, con diversi outlier lungo il secondo asse in alto. Invece, la maggior parte dei valori estremi a destra lungo il primo asse ricadono nella tipologia di acque di tipo I.

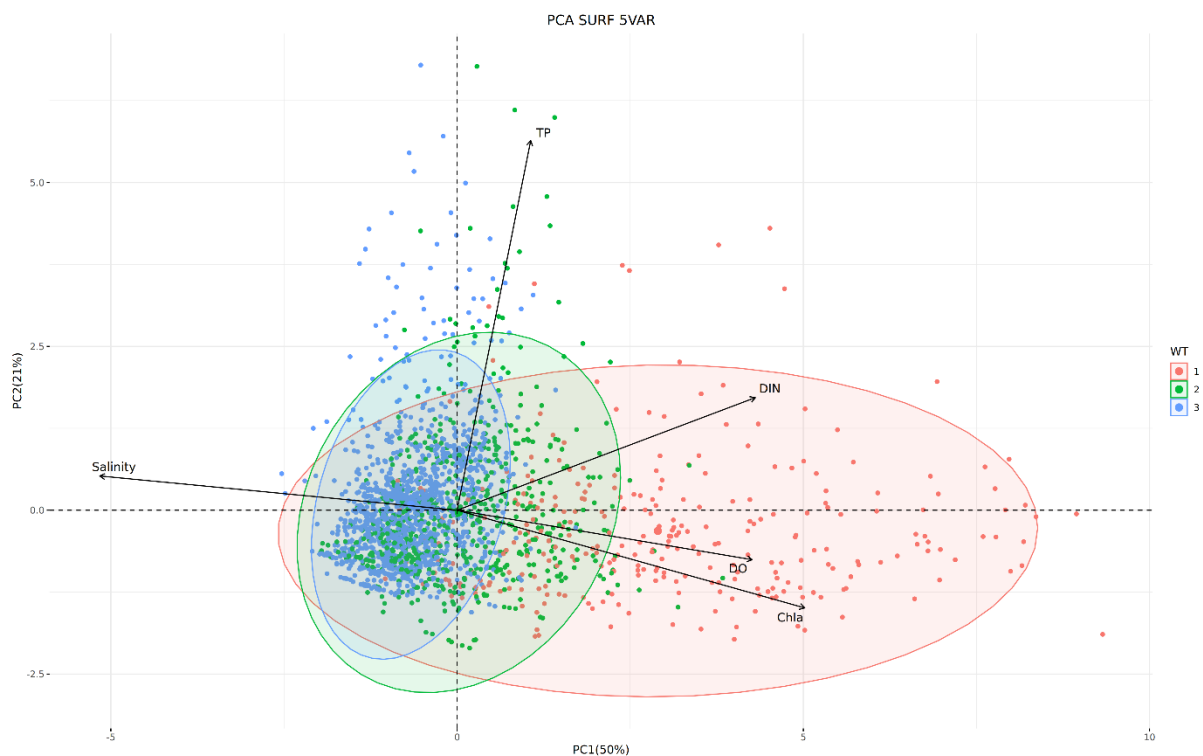


Figura 7: Primi due assi della PCA su tutti i dati superficiali. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni suddivisi per Water Type. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni Water Type. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni WT. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

Per chiarire meglio le dinamiche dei singoli bacini, sono state effettuate analisi PCA dei soli dati superficiali per ognuna delle tre sottoregioni dei mari italiani, cioè Adriatico, Ionio e Mediterraneo occidentale. Considerato che queste analisi sono state fatte su subset di dati, i gradienti ricostruiti per singola sottoregione possono essere anche molto diversi da quelli della PCA su tutti i dati in quanto alcune forzanti e conseguenti dinamiche biogeochimiche non sono presenti in tutti i bacini.



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale



Figura 8: Primi due assi della PCA su tutti i dati superficiali della sottoregione Adriatico. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni suddivisi per regione. Le ellissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

La PCA sui dati dell'Adriatico (Fig. 8) rivela i due maggiori gradienti già osservati nella PCA su tutti i dati, indicando quindi che le dinamiche dell'Adriatico sono preponderanti rispetto alle altre sottoregioni dei mari italiani. In particolare, il primo asse che spiega il 52,3% della varianza totale dei dati superficiali dell'Adriatico rappresenta un gradiente di trofia, con acque ad elevata concentrazione di DIN, clorofilla ed ossigeno disciolto e salinità bassa a destra, ed acque con salinità elevata e bassi contenuti di DIN, clorofilla e ossigeno disciolto a sinistra. Il secondo asse, che spiega il 21% della varianza totale dei dati superficiali dell'Adriatico, è fondamentalmente un asse di elevati valori di TP in alto e bassi valori di TP in basso. Le nuvole dei dati delle singole regioni adriatiche si orientano lungo questi due gradienti in maniera attesa, e cioè in particolare l'Emilia-Romagna, il Veneto e le Marche lungo il primo asse con valori estremi a destra, la Puglia e il Molise lungo il secondo asse con diversi valori estremi in alto. La nuvola del FVG è orientata in maniera intermedia tra i due assi, senza raggiungere i valori estremi né lungo il primo, né lungo il secondo asse. Simile il posizionamento della nuvola dei dati del Molise e dell'Abruzzo, con valori più spostati verso trofie basse rispetto a quelli di Friuli – Venezia Giulia.



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

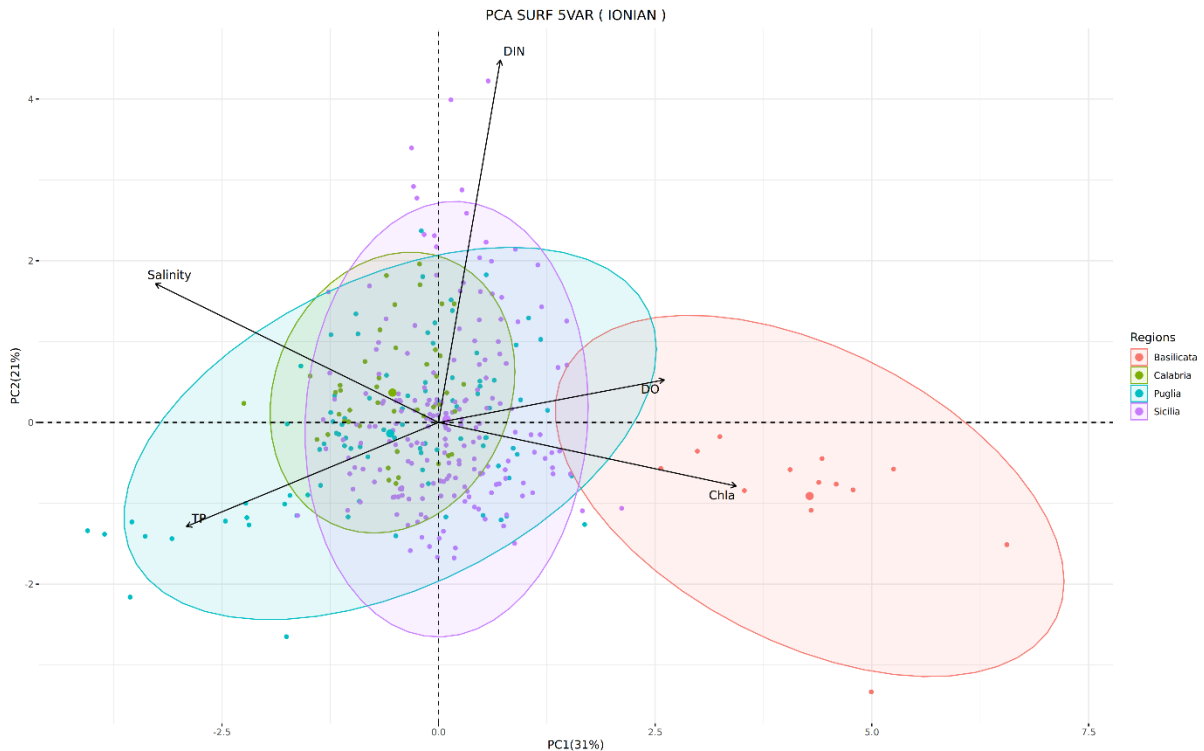


Figura 9: Primi due assi della PCA su tutti i dati superficiali della sottoregione Ionio. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni suddivisi per regione. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

La PCA per la sottoregione Ionio (Fig. 9) non mostra gradienti facilmente interpretabili. Il primo asse spiega il 31% della varianza dei dati superficiali dello Ionio e rappresenta un gradiente da elevati valori di clorofilla e ossigeno disciolto a destra, ad elevati valori di salinità e TP a sinistra. Il secondo asse, che spiega il 21% della varianza dei dati superficiali dello Ionio, è un gradiente principalmente di DIN, con elevati valori in alto. Interessante notare che delle quattro regioni interessate, le nuvole dei dati di Calabria e Sicilia sono largamente sovrapposte, sebbene quella della Calabria più orientata lungo il secondo asse. I dati della Puglia si orientano tra il primo e il terzo quadrante, con diversi dati associati a valori di TP elevati. Invece la nuvola dei dati della Basilicata è completamente separata dai dati delle altre tre regioni, essendo interamente nel secondo quadrante, associata a basse salinità ed elevate concentrazioni di clorofilla. Evidentemente, l'unico transetto di campionamento della Basilicata è posizionato in un'area che intercetta acque a trofia più elevata, mentre i campioni delle altre tre regioni mostrano un centroide vicino all'origine del biplot, sebbene poi la distribuzione delle nuvole dei dati rispettivi siano diverse.



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale



Figura 10: Primi due assi della PCA su tutti i dati superficiali della sottoregione Mediterraneo Occidentale. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni suddivisi per regione. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

Anche i primi due assi della PCA sui dati superficiali del Mediterraneo Occidentale (Fig. 10) spiegano frazioni simili della varianza totale rispetto alla PCA sui dati superficiali dello Ionio, ed inferiori rispetto alla PCA sui dati superficiali dell'Adriatico. Il primo asse (32,8% della varianza totale superficiale spiegata) è un gradiente di acque di salinità elevata e basse concentrazioni di nutrienti, ma anche di clorofilla e ossigeno disciolto a sinistra, ed elevati valori di nutrienti, clorofilla e ossigeno disciolto legati a basse salinità a destra. Come tale quindi si presenta come un classico asse legato al gradiente di trofia. Il secondo asse (23% della varianza totale superficiale spiegata) invece separa i campioni con elevato contenuto di ossigeno disciolto e clorofilla in basso, da campioni con un'elevata concentrazione di nutrienti in alto. Rispetto alla PCA sulle acque dell'Adriatico, quindi, sembra che le dinamiche in gioco siano diverse. In particolare, l'associazione tra elevati valori di DIN e TP potrebbe indicare una provenienza dei due da scarichi di reflui urbani, piuttosto che da acque fluviali, oppure da apporti fluviali, ma con acque fluviali di caratteristica molto diversa da quelli che scaricano in Adriatico. Le nuvole dei dati delle regioni si dispongono quasi in sequenza ordinata lungo la diagonale del primo e del terzo quadrante. Da una parte troviamo i campioni della Sardegna, dall'altra quelli della Campania. I dati del Lazio sono quelli con la maggiore dispersione, mentre quelli della Toscana mostrano una variabilità ridotta sul primo asse, e più marcata sul secondo. I dati della Liguria risaltano poiché non sono indicativi di elevate concentrazioni di nutrienti, con una nuvola di dati quasi interamente compresa nel terzo quadrante.

Le PCA sono state fatte anche considerando l'ossigeno di fondo, ovvero la misura di ossigeno disciolto più profonda disponibile nei profili del dataset 2018-2020. Infatti, l'ossigeno di fondo è uno degli indicatori primari per la valutazione del GES nelle aree marine secondo la MSFD (2008/56/EC). I risultati sono presentati in Figg. 11-16.



Figura 11: Primi due assi della PCA su salinità, DIN, TP e clorofilla superficiali, e ossigeno disciolto di fondo. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni delle regioni. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. Le ellissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

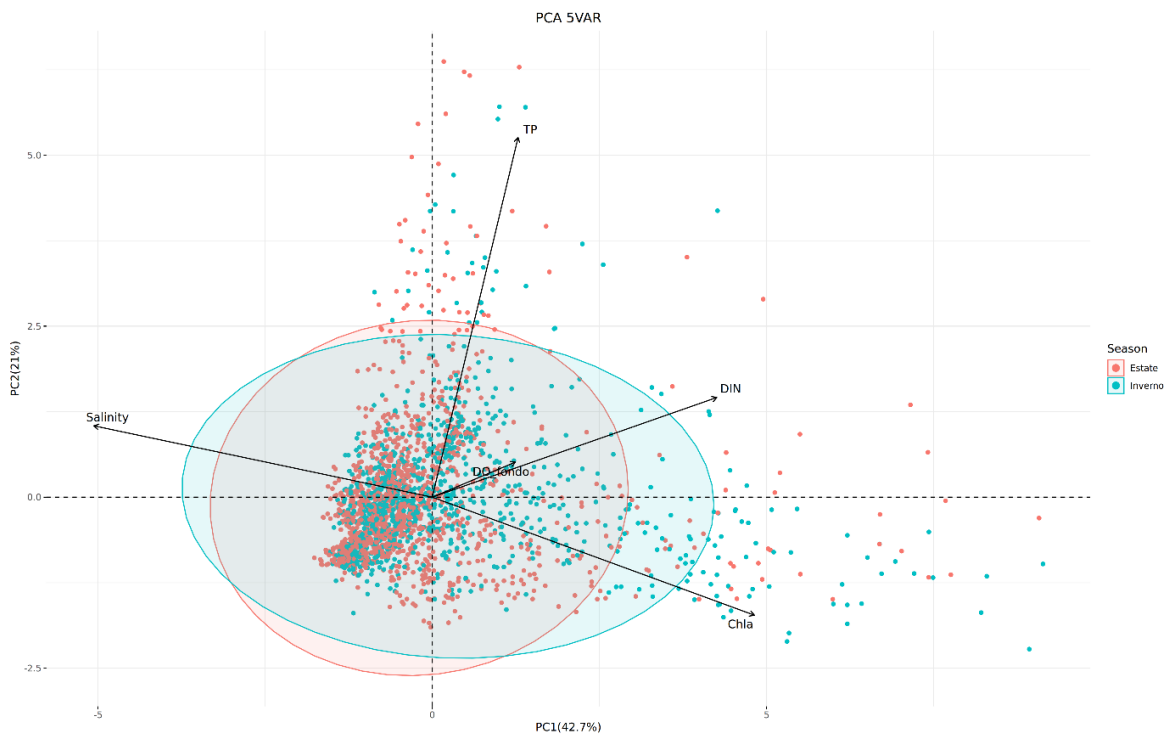


Figura 12: Primi due assi della PCA su salinità, DIN, TP e clorofilla superficiali, e ossigeno disciolto di fondo. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni suddivisi in due stagioni convenzionali: Estate (aprile-settembre) ed Inverno (ottobre-marzo). Le ellissi includono le nuvole dei dati per ogni stagione. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni stagione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

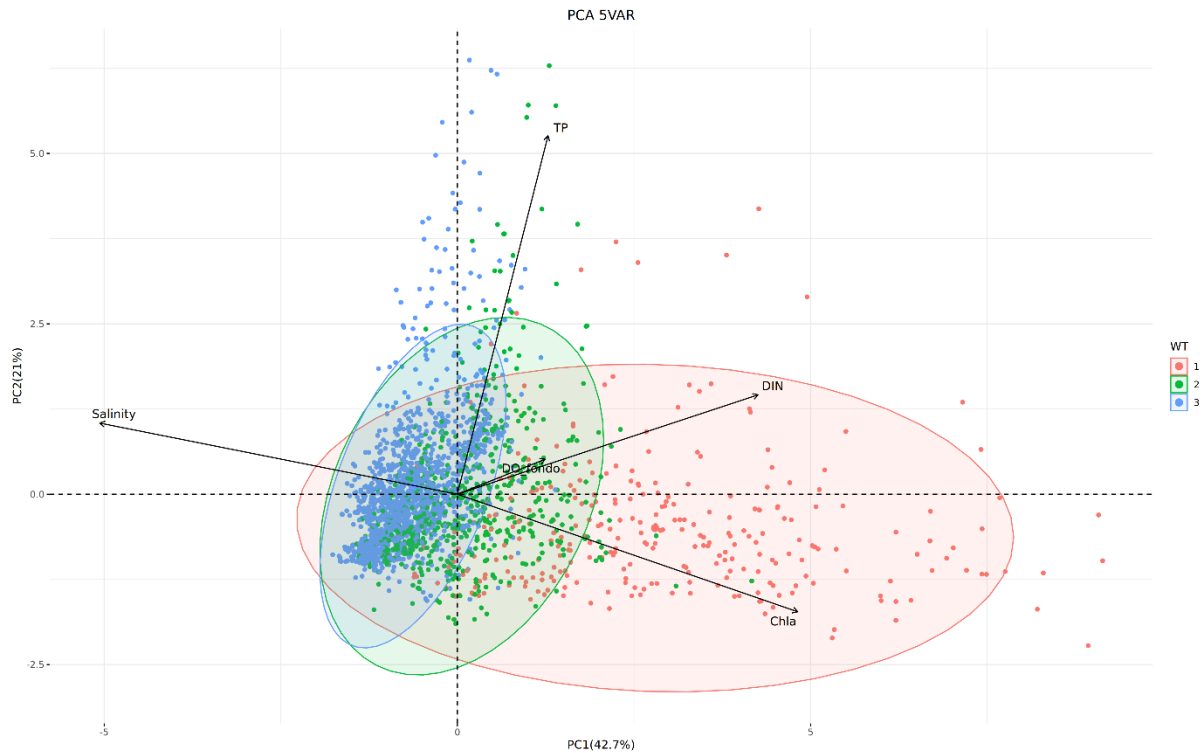


Figura 13: Primi due assi della PCA su salinità, DIN, TP e clorofilla superficiali, e ossigeno disciolto di fondo. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni per ogni Water Type (WT). Le ellissi includono le nuvole dei dati per ogni Water Type. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni WT. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

Per quanto riguarda le PCA su tutti i dati (Fig. 11), la sostituzione dell'ossigeno disciolto di fondo all'ossigeno disciolto in superficie non cambia particolarmente la proiezione dei dati sui primi due assi principali. Diminuisce leggermente la varianza spiegata dal primo asse, passando dal 50% al 43%, e diminuisce l'importanza dell'ossigeno disciolto nel determinarla. Il DO di fondo si situa sulla stessa retta del DIN, mentre il DO di superficie è più allineato alla concentrazione di clorofilla superficiale. Questo potrebbe indicare un disaccoppiamento tra il momento in cui al fondo l'ossigeno viene attivamente consumato, e il momento in cui in superficie arrivano i contributi di nuovi nutrienti dagli apporti fluviali.





Figura 14: Primi due assi della PCA su salinità, DIN, TP e clorofilla superficiali, e ossigeno disciolto di fondo, della sottoregione Adriatico. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni delle regioni. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

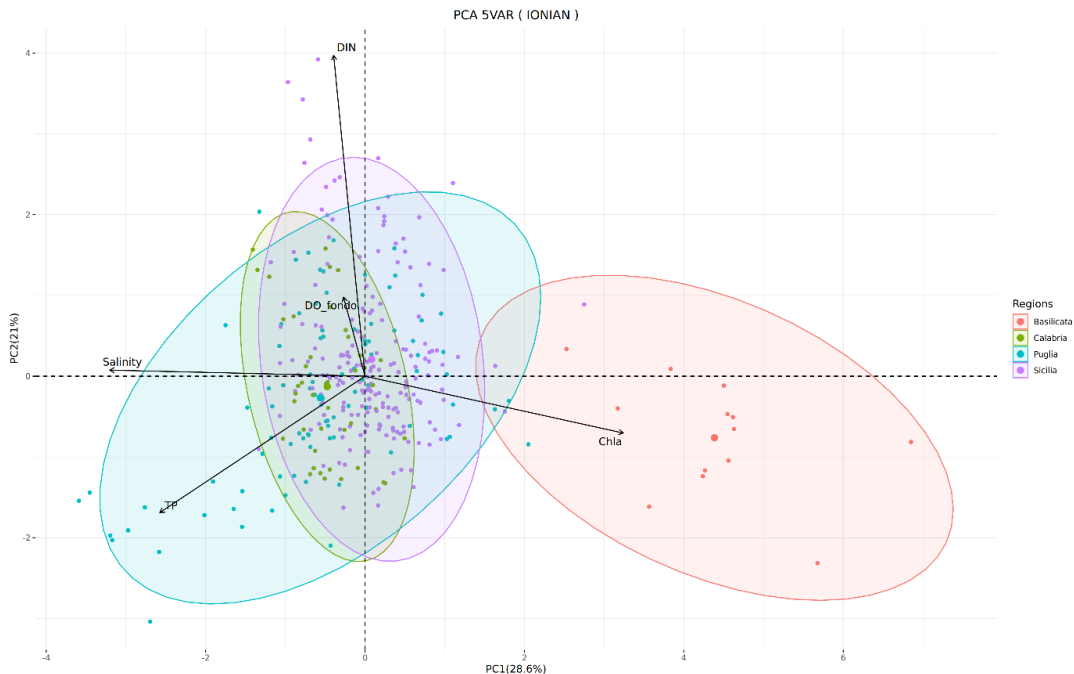


Figura 15: Primi due assi della PCA su salinità, DIN, TP e clorofilla superficiali, e ossigeno disciolto di fondo, della sottoregione Ionio. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni delle regioni. Le elissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

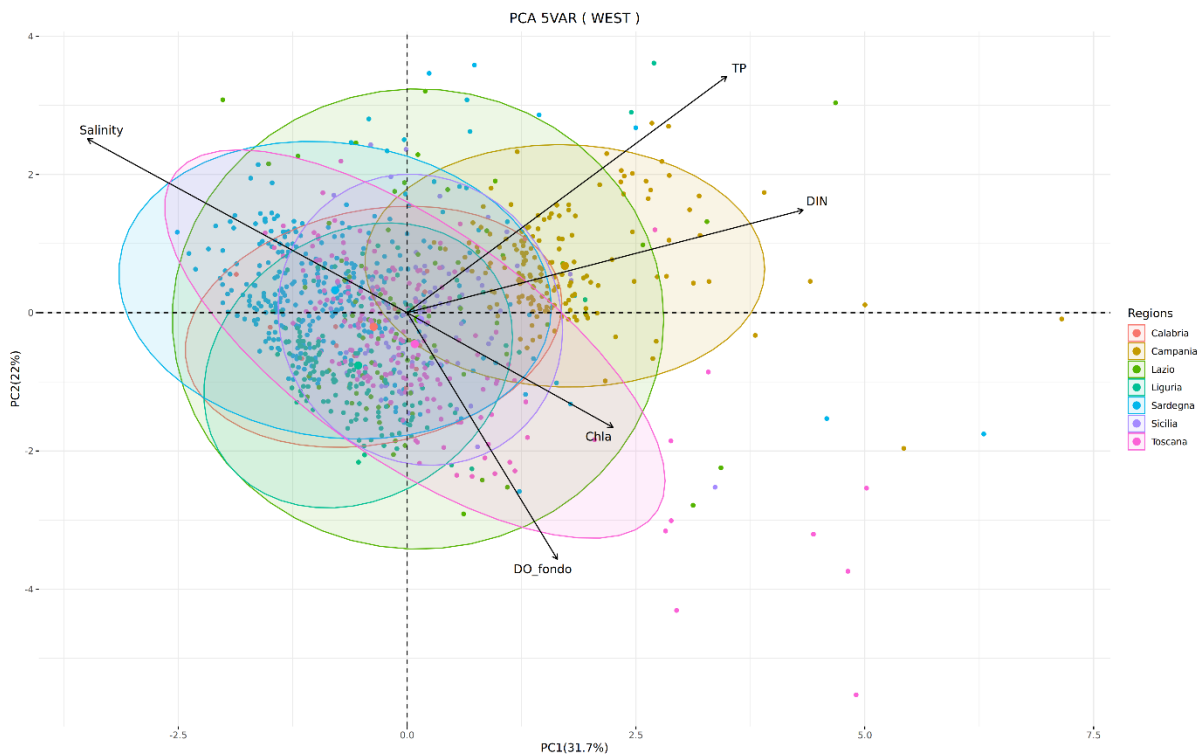


Figura 16: Primi due assi della PCA su salinità, DIN, TP e clorofilla superficiali, e ossigeno disciolto di fondo, della sottoregione Mediterraneo Occidentale. I diversi colori dei punti rappresentano i campioni delle regioni. Le ellissi includono le nuvole dei dati per ogni regione. I punti più grandi indicano i centroidi dei dati di ogni regione. La varianza spiegata dal primo e dal secondo asse è riportata in figura.

Le PCA fatte separatamente per sottoregione marina rivelano di nuovo delle diversità tra i bacini considerati. Infatti, per l'Adriatico (Fig. 14), a fronte di una diminuzione della varianza spiegata sul primo asse, il DO di fondo è allineato con il TP. Nella PCA dello Ionio (Fig. 15), con un leggero aumento della varianza spiegata sul primo asse, il DO di fondo non ha grande potere esplicativo ed è allineato al DIN come nella PCA su tutti i dati. Infine, anche per il Mediterraneo Occidentale (Fig. 16) si osserva un aumento della varianza spiegata sul primo asse, ma in questo caso il DO di fondo e tutta la proiezione sui primi due assi ricordano abbastanza la PCA sulla stessa sottoregione con il DO di superficie. Oltre che ad eventuali differenze nella dinamica del DO di fondo tra bacini diversi, le differenze tra le tre sottoregioni possono essere dovute al fatto che il dato più profondo disponibile non rappresenta necessariamente il dato di fondo: questo, come già ricordato sopra, vale soprattutto per le sottoregioni dello Ionio e del Mediterraneo Occidentale, caratterizzate in generale da profondità maggiori. In Adriatico, causa una profondità di fondale ridotta, invece il dato di ossigeno più profondo corrisponde al dato di fondo. I risultati delle PCA sono quindi difficilmente interpretabili. Inoltre, come già evidenziato sopra, queste diversità nella rappresentatività dei dati di ossigeno disciolto più profondi misurati rendono problematico il loro utilizzo per le finalità del descrittore D5 della MSFD (2008/56/EC).

Complessivamente l'analisi esplorativa ha rivelato che il dataset sottoposto alle procedure di controllo di qualità di cui sopra non mostra grandi problematicità. Resta vero però che considerata l'eterogeneità degli ambienti marini esplorati, e il numero elevato di enti di monitoraggio diversi fornitori dei dati, in molti casi è difficile distinguere un valore "anomalo" da un valore "buono". I limiti di rilevabilità e quantificazione molto diversi tra le diverse ARPA, già richiamati negli altri rapporti della presente Convenzione (vedi Lipizer et al., 2021; Lipizer et al., 2022) come uno dei maggiori

problemi, rappresentano un grande ostacolo nel derivare conclusioni comuni da monitoraggi prodotti da diversi enti. Si richiama inoltre quanto scritto alla fine del rapporto della Convenzione 2020 (Giani et al., 2021) circa la necessità di partecipazione del personale addetto ai monitoraggi a periodici esercizi di intercalibrazione.

In linea con quanto già emerso nel rapporto Giani et al. (2021), anche in questa Convenzione si è scelto di utilizzare i dati solo relativamente alla quota superficiale. La seconda quota di campionamento, infatti, è determinata dal massimo di fluorescenza (picco di fitoplancton) e quindi è eseguita ogni volta ad una quota diversa, rendendo difficoltosa l'interpretazione dei dati. Due soli campionamenti lungo la verticale sono troppo pochi per essere usati per integrare sulla colonna d'acqua le variabili di interesse. Infine, come risultato dalle analisi esplorative, nei dati superficiali tutti i gradienti sono più marcati. Va anche ricordato che nella rianalisi biogeochimica disponibile in Copernicus viene assimilato il dato di concentrazione di clorofilla da satellite che è ovviamente misurato solo in superficie. Essendo allo stato attuale l'unico parametro legato allo stato di trofia che viene assimilato nel modello, e considerata la prospettiva di utilizzo dei prodotti Copernicus nella valutazione dello stato ecologico del mare, la scelta di concentrarsi sui dati della sola quota superficiale appare ulteriormente rafforzata.

Allo stesso modo sembrano permanere diverse criticità sulla copertura spaziale e la frequenza temporale dei monitoraggi, già rilevate in Giani et al. (2021), ed esposte sopra.

## 4 CONSIDERAZIONI SU WATER TYPES

Nel rapporto di Giani et al. (2021) i limiti per la definizione del GES per la sottoregione dell'Adriatico sono stati individuati in base alla suddivisione per tipologia di acqua (Water Type, WT), definita dalla Commissione Europea nel 2013 e modificata nel 2018 (European Commission, 2018), per le finalità della Water Framework Directive (European Commission, 2014). Tale suddivisione prevede che le tipologie di acque siano individuate in base ai valori di salinità e densità (Tabella 11). Nel presente rapporto si è considerato il solo criterio della salinità, preponderante rispetto a quello di densità nei casi di eventuale discordanza tra i due.

Tabella 11: Suddivisione delle tipologie di acqua in base alla salinità e densità (da Giani et al., 2021)

Tipologia di acqua	Salinità	Densità (sigma)
Water Type I – WT1	<34.5	<25
Water Type II - WT2	34.5-37.5	25-27
Water Type III - WT3	>37.5	>27

Considerando i dati 2018-2020 a disposizione, la suddivisione delle stazioni di campionamento in WT secondo la mediana della salinità nel triennio è presentata in Fig. 17. Come si vede, le acque di tipo I sono ristrette all'Adriatico settentrionale nell'area interessata dagli apporti del Po. Le acque di tipo II sono anche presenti prevalentemente in una fascia costiera nell'Adriatico centro-settentrionale, sempre più limitate sottocosta in direzione meridionale. Alcune stazioni con acque di tipo II si trovano anche nelle altre due sottoregioni marine. In particolare, tutte e tre le stazioni dell'unico transetto della Basilicata nello Ionio sono classificate come WTII, così come le stazioni più sottocosta dei due transetti del sud Pontino nel Lazio, la stazione sottocosta del transetto vicino agli apporti dell'Arno e del Serchio, e la prima stazione di uno dei transetti della Liguria. Sono altresì classificate come WTII la seconda stazione a nord della foce del Tevere e la terza stazione del transetto vicino a Trapani in Sicilia. Soprattutto per quest'ultima la classificazione per water type risulta quantomeno strana in assenza di apporti fluviali importanti nella zona.

Da quanto appena detto, procedere per tipologia di acqua può essere utile per la sottoregione Adriatico, dove l'influenza dei fiumi e la conformazione del bacino è tale da rendere opinabile la definizione di un'unica soglia per tutti i tipi di acque. Per le altre due sottoregioni marine, invece, i campioni di WTII non sono sufficienti per poter essere utilizzati per la definizione di soglie specifiche. In questo caso, l'alternativa è usare le stesse soglie dei WT dell'Adriatico, o considerare tutte le acque dello Ionio e del Mediterraneo Occidentale come WT III. Va comunque ricordato che il criterio della suddivisione per tipologia di acque deriva da esercizi di intercalibrazione nell'ambito delle attività per la WFD (2000/60/EC), e non sono un requisito richiesto dalla MSFD (2008/56/EC).

Considerata l'intenzione di esplorare la possibilità di integrare i layer informativi del Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMS) con i dati acquisiti dai monitoraggi per la strategia marina nella valutazione dello stato ecologico, negli stessi punti della rete di monitoraggio abbiamo applicato la suddivisione per water type anche ai dati della rianalisi fisica di CMS (Escudier et al., 2020; Escudier et al., 2021). In Fig. 17 si vede che la mediana dei valori di salinità sugli stessi tre anni predetta dal modello o osservata in situ non si discosta molto. In generale, il modello probabilmente sottostima, o non parametrizza, alcuni apporti fluviali e di conseguenza nel Mediterraneo

Occidentale e nello Ionio solo la stazione sottocosta tra Arno e Serchio risulta classificata come WT II. Per l'Adriatico l'estensione e il posizionamento dei diversi water types è molto simile tra modello CMS e dati monitorati. In particolare, le stazioni interessate dal WT I nel modello sono solo tre, tutte sottocorrente rispetto al delta del Po. Le acque di tipo 2 sono prevalenti nel nord Adriatico, e confinate alla fascia sottocosta scendendo verso il sud.

La concordanza tra dati osservati e dati modellati per la salinità è confermata dalla correlazione tra gli uni e gli altri (Tabella 12). Su tutti i dati tale correlazione supera lo 0.90, con una differenza mediana tra dati modellati e dati osservati molto prossima a zero, ed un range IQR limitato. Come ci si potrebbe aspettare, la differenza mediana tra i valori di salinità osservati e quelli modellati è molto più grande nelle acque di tipo I, dove anche il range è ampio. Per le acque di tipo II e di tipo III sia la differenza mediana, sia l'IQR si restringono ulteriormente. Il coefficiente di correlazione per ogni singolo Water Type oscilla tra 0.71-0.72 dei WT III e I, e 0.86 del WT II. Tutto questo indica nuovamente che il modello è ben in grado di catturare l'andamento generale della salinità, soprattutto in acque di mare aperto, cioè laddove meno si fanno sentire gli effetti degli apporti fluviali costieri. Sottocosta, il modello probabilmente non riesce a modellare valori estremi che di frequente possono essere misurati in situ, e soprattutto in alcuni casi non contiene informazioni dettagliate sugli apporti fluviali che possono avere un effetto locale sui valori della salinità.

*Tabella 12: Correlazione di Pearson tra valori di salinità misurati e valori della salinità modellati dal modello fisico di CMS nei punti di campionamento della rete di monitoraggio per la strategia marina. È riportata anche la mediana e il range interquartile (IQR) delle differenze tra tali valori. Sono stati considerati sia tutti i dati superficiali del dataset 2018-2020 a disposizione, sia i dati suddivisi per Water Type calcolato sulla mediana della salinità del periodo considerato.*

	TUTTI I DATI	WATER TYPE I	WATER TYPE II	WATER TYPE III
<b>CoeffCorr</b>	0.91	0.72	0.86	0.71
<b>Med Diff</b>	-0.08	2.71	-0.43	-0.03
<b>IQR Diff</b>	0.29	2.59	0.64	0.26

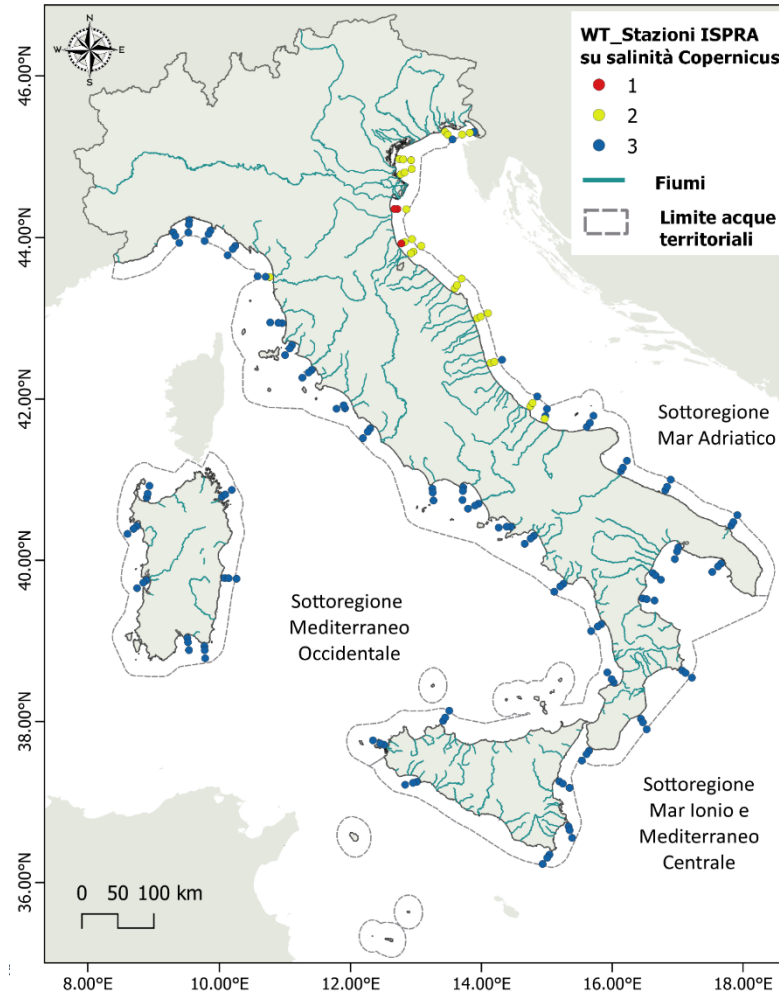
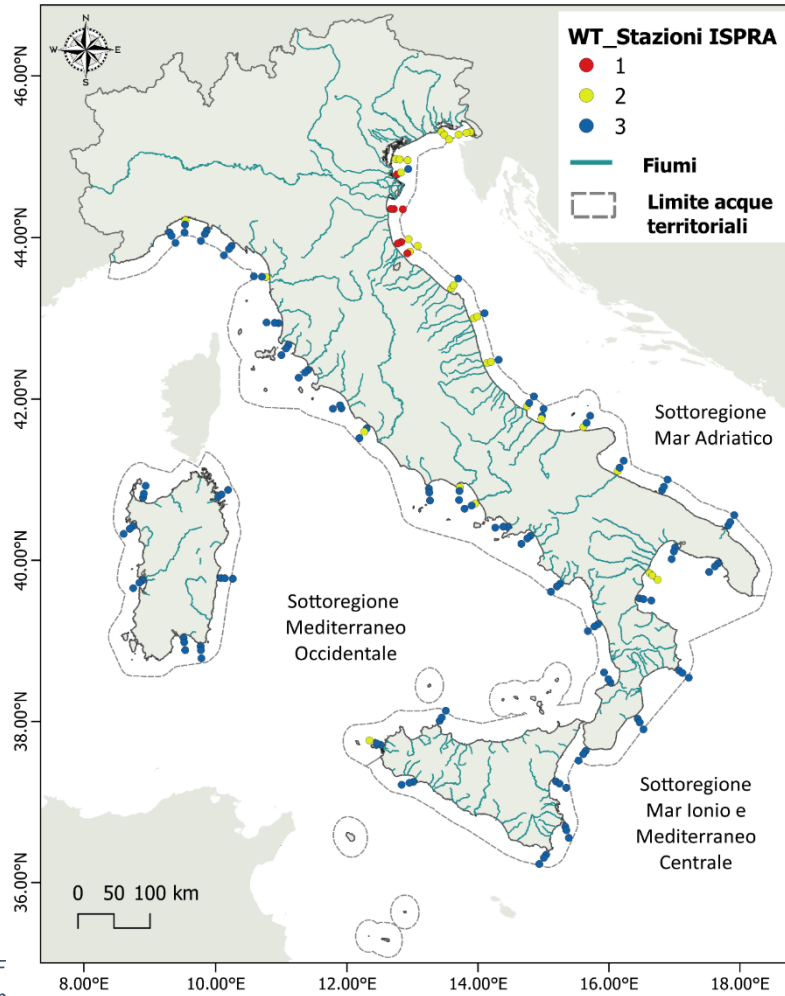
Le differenze tra le mediane di salinità calcolate sui dati osservati, e le mediane di salinità calcolate sui dati modellati (Fig. 17), possono essere dovute ad una non corretta parametrizzazione del modello, in particolare in aree molto vicine alla costa e in zone influenzate da apporti fluviali, soprattutto se con regime idrico torrentizio. Tuttavia, non bisogna dimenticare che i dati osservati presentano una serie di problematiche di cui si è già parlato nei paragrafi precedenti: qualità delle misure e limiti di quantificazione molto diversi tra diverse regioni, assenza di dati in molti mesi del periodo interessato (Tabella 2), campionamenti non completi per ogni transetto, frequenza temporale di campionamento non sufficientemente continua. Al contrario, la mediana ottenuta sui dati da modello è stata calcolata per 36 medie mensili in ogni stazione di ogni transetto. Emblematico il caso della Basilicata, le cui tre stazioni dell'unico transetto secondo i dati osservati sembrano ricadere tutte e tre nel WT II. Tuttavia, le tre stazioni sono state campionate sporadicamente e quasi solo nell'ultimo anno di campionamento, e solo in due mesi sono state campionate tre stazioni contemporaneamente. In totale i dati disponibili per la Basilicata sono 13. Per questo motivo, e per la erratica distribuzione nel tempo con cui sono stati ottenuti, si pone la domanda su quale sia il potenziale di generalizzazione e di estrapolazione ad aree più grandi di questi dati, e se la situazione descritta dal modello non possa essere ritenuta più rappresentativa delle condizioni "climatiche" di questa porzione del mare italiano.

In Fig. 18 è riportata invece l'estensione delle aree caratterizzate dai diversi Water Type per tutta l'area di studio in base alla salinità superficiale del modello fisico CMS.



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale



F  
 Ricerca delle salinità moderate dal modello di nutrienti fisica del CEMIS (destra): rosso = water type I, Giallo = water type II, Blu = water type III. Sono indicati anche i corsi d'acqua principali lungo le coste italiane e il limite delle acque territoriali italiane.



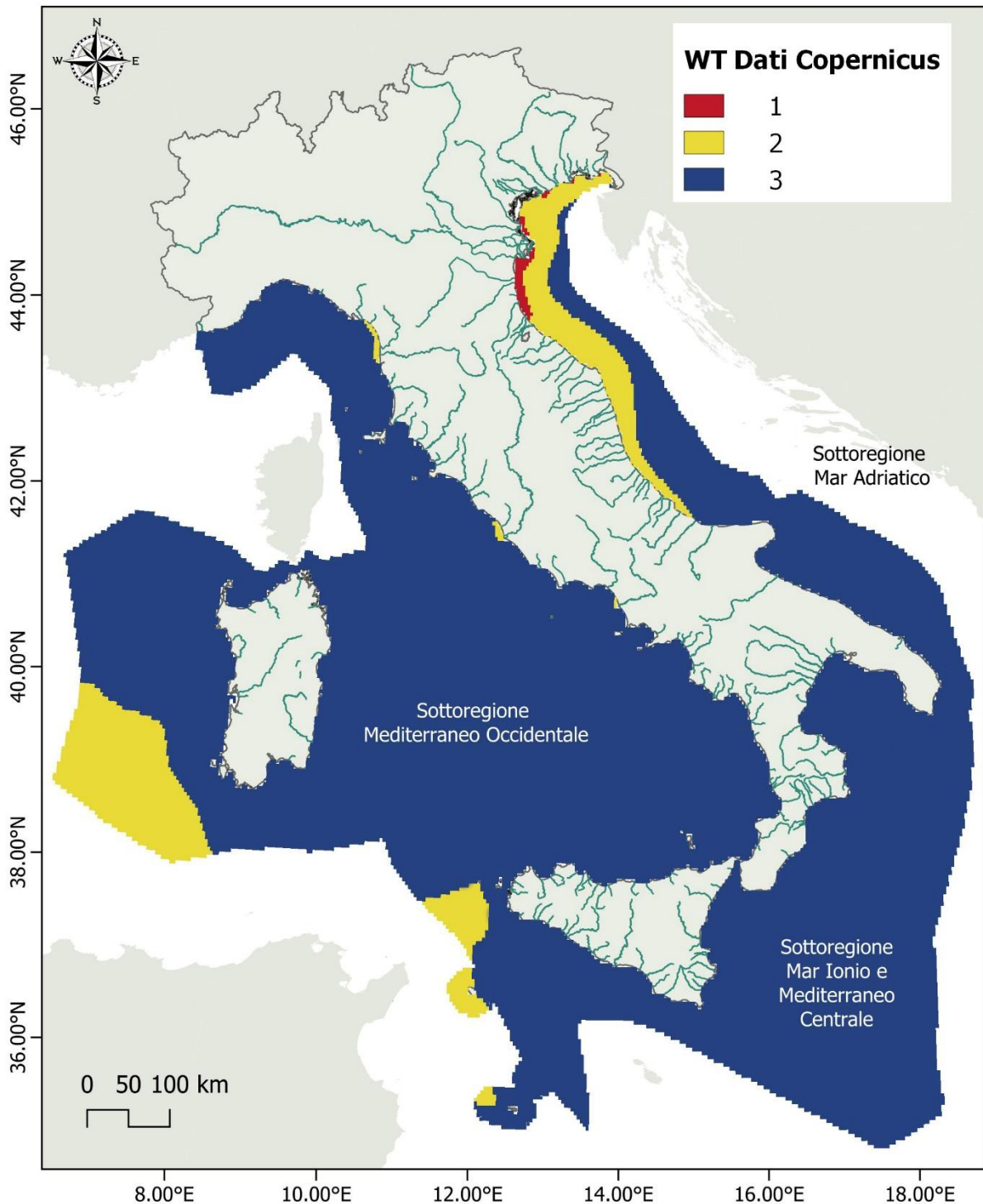


Figura 18: Classificazione in Water Type delle acque marine fino al limite della zona economica esclusiva italiana nel triennio 2018-2020 sulla base delle mediane di salinità modellata dal modello di rianalisi fisica del CMS. Rosso = Water Type I, Giallo = Water Type II, Blu = Water Type III. Sono indicati anche i corsi d'acqua principali lungo le coste italiane.



## 5 INTEGRAZIONE DI DATI OSSERVATI E DATI DA MODELLI CMS PER LE ACQUE TERRITORIALI ITALIANE

### 5.1 Introduzione

L'integrazione di informazioni dal Copernicus Marine Service per le finalità della valutazione del buono stato ecologico è già stata suggerita da Giani et al. (2021), ed è esplicitamente richiesta nel programma operativo di dettaglio della presente Convenzione. Tale integrazione però è limitata dall'estensione spaziale coperta dai dati monitorati, quindi entro le 12 miglia dalla costa, cioè entro le acque territoriali. Estendere la correzione ad aree molto più grandi al di là di tale limite, cioè al di là dello spazio effettivamente monitorato dalle osservazioni, potrebbe portare ad introdurre dei bias non irrilevanti. Quindi le operazioni di bias correction tra dati osservati e dati CMS sono state eseguite solo all'interno del limite delle acque territoriali italiane.

La logica dietro tale proposito sta nel fatto che i monitoraggi in situ possono dare informazioni solo nel punto e nel momento in cui sono stati presi; soffrono di diverse problematiche che ne minano la qualità e l'utilità, e di cui si è ampiamente discusso sia in Giani et al. (2021), sia nei successivi rapporti Lipizer et al. (2021; 2022), e nei precedenti capitoli del presente rapporto; sono relativamente costosi in termini di tempo e di risorse; dipendono criticamente dalle condizioni meteomarine.

CMS invece è un servizio dell'Unione Europea che viene sviluppato e reso disponibile gratuitamente a tutti gli utenti. Offre raccolte di dati in situ, di rilevazioni da satellite, e di prodotti modellistici. Questi ultimi in particolare sono in grado di produrre dati con copertura spaziale e temporale completa per tutta una serie di variabili.

### 5.2 Scelta prodotti CMS da utilizzare

La componente fisica del sistema modellistico Med-MFC (Coppini et al., 2023) si basa su un modello idrodinamico, fornito dal Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO), e su uno schema di assimilazione variazionale (OceanVAR) con cui sono assimilati dati di temperatura e salinità da profili verticali misurati in situ e l'anomalia del livello del mare misurata da satellite (Escudier et al., 2020; Escudier et al., 2021). La simulazione di rianalisi copre 36 anni (dal gennaio 1987 al novembre 2023), con dati orari, giornalieri, mensili, annuali o multiannuali. Il modello è definito su un grigliato con risoluzione orizzontale di circa 4-5 km ( $1/24^\circ$ ), e costituito da livelli verticali di spessore variabile con la profondità, per un numero massimo di 141 livelli. Nella lista delle variabili disponibili attraverso il geoportale Copernicus ci sono la velocità e direzione delle correnti, l'altezza del livello del mare, la temperatura e la salinità dell'acqua.

Il modello MedBFM3 (Cossarini et al., 2021; Teruzzi et al., 2021) è un modello della componente biogeochimica del Mediterraneo ed utilizza gli output del modello fisico come forzanti (campi giornalieri di correnti, temperatura, salinità, vento, radiazione solare, ecc.). Il modello è definito sullo stesso grigliato del modello fisico ( $1/24^\circ$  di risoluzione orizzontale (ca. 4-5 km) per 125 livelli verticali di altezza variabile con la profondità). MedBFM3 è costituito da un modello di trasporto (OGSTM v 4.0) accoppiato ad un modello di flusso biogeochimico BFM v5 ed include uno schema di assimilazione variazionale (3DVAR-BIO v2.1) con cui vengono assimilati settimanalmente i valori di clorofilla superficiale misurati da satellite e disponibili nel database ESA-CCI. La simulazione di rianalisi biogeochimica fornisce dati dal gennaio 1999 al novembre 2023 su scala giornaliera, mensile, annuale o multiennale. Il modello fornisce sia variabili chimiche (nutrienti) e biologiche (clorofilla, concentrazione di fitoplancton, produttività primaria), che variabili legate al ciclo del carbonio (p.es., pH, alcalinità).

Considerato che le variabili di interesse, cioè salinità, concentrazione di clorofilla, concentrazioni di nutrienti e concentrazione di ossigeno disciolto sul fondo, possono essere ottenute dai modelli descritti sopra, e considerato che entrambi assimilano sia informazioni in situ su parametri fisici, che informazioni da remote sensing per parametri biologici, per l'integrazione dei dati osservati per le finalità della strategia marina si è scelto di considerare solo i prodotti modellistici.

### 5.3 Metodo di bias correction e modalità di applicazione alle acque territoriali

I modelli possono presentare dei bias sistematici che possono riflettersi in una non adeguata descrizione dei fenomeni modellati a scala locale, oppure nell'incapacità di modellare eventi rari ed estremi, o in sistematiche sovra- o sottostime nei valori medi di alcune variabili. In particolare, i modelli CMS potrebbero presentare dei bias nelle aree costiere per una non completa descrizione dei processi di scambio terra-mare e sedimento-mare. Ad esempio, l'uso di informazioni climatologiche per gli apporti di acque dolci dal sistema terra genera errori nella ricostruzione della dinamica ed estensione spaziale dei fenomeni legati ai plume di acque dolci (e.g., fertilizzazioni costiere, bloom algali). Inoltre, una descrizione semplificata della morfologia della costa, come conseguenza della risoluzione dei modelli a scala regionale, genera semplificazioni ed errori nella rappresentazione dei regimi delle correnti costiere.

Per questo motivo prima di utilizzare i dati da modelli CMS si è reso necessario applicare dei metodi di bias correction, tipicamente utilizzati in idrologia e climatologia (Piani et al., 2010; Temesl et al., 2011). Nei metodi di bias correction in generale si utilizzano dati osservati per applicare una correzione a dati modellati. Abbiamo scelto di utilizzare il metodo del quantile mapping confrontando la distribuzione dei dati osservati nella rete di monitoraggio con dati dei modelli CMS simulati negli stessi punti (ovvero, nella cella della griglia del modello in cui cadono i punti di osservazioni) e negli stessi mesi del monitoraggio fatto dalle ARPA regionali. L'effetto della correzione applicata è quindi quello di "trasporre" la curva della distribuzione dei dati del modello in base alla distribuzione dei dati osservati. Il metodo di quantile mapping non richiede assunzioni a priori sulle distribuzioni ed è quindi un metodo più robusto di altri, basati ad esempio su statistiche parametriche (media, deviazione standard). Considerato che i dati osservati di solito mostrano una distribuzione con variabilità più grande dei dati modellati, cioè con maggiore incidenza di outlier alti o bassi, il risultato dell'applicazione del quantile mapping è stato in generale quello di "allargare" la distribuzione dei valori dei modelli CMS. Nell'applicazione del quantile mapping dai dati monitorati ai dati modellati CMS sono stati riscontrati diversi problemi che sono esposti di seguito con le relative soluzioni adottate.

Innanzitutto, proprio per le modalità di correzione applicate, i valori outlier nei dati monitorati possono profondamente cambiare la distribuzione dei dati modellati. Dopo alcune prove preliminari, abbiamo deciso di eliminare dai dati monitorati tutti gli outlier e applicare il quantile mapping solo ai dati rimanenti. Gli outlier sono stati definiti come i valori al di fuori dell'intervallo ( $Q1 - 1.5 \cdot IQR$ ,  $Q3 + 1.5 \cdot IQR$ ), dove  $Q1$  e  $Q3$  sono il primo e terzo quartile, mentre  $IQR = Q3 - Q1$  è il range interquartile. Tale operazione è stata fatta separatamente per ogni sottoregione marina ed è risultata in almeno 87% o più di dati disponibili utilizzati per ogni parametro a cui è stata applicata.

In secondo luogo, ci siamo posti il problema se applicare il quantile mapping separatamente su dati dei diversi Water Type nelle tre sottoregioni marine. Tuttavia, come già scritto sopra, il WT I è presente solo nell'Adriatico, mentre i dati da cui calcolare il bias correction per acque di tipo II nello Ionio e nel Mediterraneo Occidentale sono molto pochi data l'area molto piccola interessata dal WT II in queste due sottoregioni. Si è deciso quindi di procedere con un bias correction unico per

sottoregione marina, mentre, per la sola sottoregione dell'Adriatico, il bias correction è stato applicato anche separatamente per ogni WT, ed infine con una correzione unica per WT I e WT II e un'altra per il solo WT III.

Uno dei problemi è che tra le variabili attualmente rilasciate dal modello biogeochimico CMS non c'è il DIN (azoto inorganico disciolto), né il TP (fosforo totale). In Giani et al. (2021) questi due parametri erano stati selezionati come indicatori del descrittore D5 e le soglie tra stato ecologico buono e moderato definite anche in funzione di essi. Per quanto riguarda il primo parametro, CMS fornisce separatamente l'azoto come ione ammonio e come ione nitrato. Nei dati disponibili monitorati per la strategia marina tra il 2018 e il 2020, ci sono misure separate per ione ammonio, ione nitrato e ione nitrito e il DIN è calcolato come somma di questi tre parametri. Per confrontare i dati sono state quindi sommate le concentrazioni dello ione ammonio e dello ione nitrato modellati, e le concentrazioni dello ione ammonio e dello ione nitrato dai dati osservati. Va detto che nei dati monitorati il coefficiente di correlazione di Pearson tra DIN e somma di ammonio e nitrato ammonta allo 0.998, cioè è approssimabile a 1. Inoltre, in media il nitrito rappresenta il 12% del DIN nell'area di studio considerata quindi l'approssimazione applicata non influisce fortemente sulle considerazioni che si possono fare. Il bias correction è stato applicato separatamente allo ione nitrato e allo ione ammonio e successivamente i valori corretti sono stati sommati per ottenere una stima dell'azoto inorganico disciolto totale.

Per quanto riguarda invece il TP, preferito da Giani et al. (2021) rispetto alla concentrazione del fosfato come ione ortofosfato in quanto quest'ultimo troppo affetto da valori molto bassi e spesso sotto il limite di quantificazione, si è proceduto a cercare delle relazioni tra ione ortofosfato e fosforo totale nei dati del monitoraggio 2018-2020. Sono state calcolate tre regressioni lineari con il metodo dell'Ordinary Least Square, una per ogni sottoregione marina (Tabella 13). Nella regressione sono stati utilizzati solo i valori sopra il limite di rilevanza e quantificazione.

Tabella 13: Risultati della regressione lineare di fosforo totale (TP) sui valori di ione ortofosfato (PO<sub>4</sub>) nei dati disponibili superficiali 2018-2020.

REGRESSIONE DI TP SU PO <sub>4</sub> IN DATI MONITORATI						
	R <sup>2</sup>	adjR <sup>2</sup>	Intercetta (Dev. std.)	p-value	Coefficiente (Dev. std.)	p-value
<b>ADRIATICO</b>	0.63	0.62	0.263 (0.033)	0.000	1.303 (0.056)	0.000
<b>IONIO</b>	0.48	0.48	0.296 (0.042)	0.000	1.134 (0.107)	0.000
<b>MED OCC</b>	0.52	0.52	0.087 (0.044)	0.047	1.596 (0.114)	0.000

I risultati in Tabella 13 dimostrano che le relazioni in tutti e tre i bacini hanno una capacità predittiva abbastanza alta ed elevata significatività (tranne l'intercetta della relazione per il Mediterraneo Occidentale che è in effetti prossima allo 0). I valori di R<sup>2</sup> dicono che le regressioni sono in grado di predire rispettivamente il 63% della variabilità dei dati osservati in Adriatico, il 48% della variabilità dei dati osservati in Ionio, e il 52% della variabilità dei dati osservati nel Mediterraneo Occidentale. Osservando anche i plot dei residui (Fig. Appendice 1-3) si osserva che le regressioni sia per l'Adriatico, sia per lo Ionio mostrano aree in cui non riescono a predire i valori di TP osservati. Ciò significa che soprattutto in queste due sottoregioni, probabilmente in aree più interessate dall'apporto dei fiumi, le due variabili hanno una dinamica diversa e non sincrona: cioè, valori elevati di TP possono essere misurati anche con bassi valori di PO<sub>4</sub>, e viceversa. Questo può essere dovuto all'apporto dai fiumi di sostanza organica di origine terrigena, oppure allo sfasamento nel tempo tra l'arrivo di nutrienti freschi (PO<sub>4</sub>) e il suo inglobamento in strutture organiche (TP). L'equazione per il Mediterraneo Occidentale, sebbene con un R<sup>2</sup> inferiore a quello dell'Adriatico, sembra invece

catturare abbastanza bene la relazione tra TP e PO<sub>4</sub> in questa sottoregione. Queste equazioni sono state poi utilizzate per trasformare i dati di PO<sub>4</sub> del modello CMS in TP, ma nel valutare i risultati o trarne delle conclusioni bisogna tener conto delle performance delle equazioni esposte sopra.

Uno degli indicatori primari per il D5 della MSFD (2008/56/EC) è l'ossigeno disciolto al fondo. I modelli CMS attualmente disponibili non hanno un modulo bentonico, cioè non simulano esplicitamente i processi biotici che avvengono sui fondali marini, come ad esempio la rimineralizzazione della sostanza organica, che possono portare a modificare il contenuto di ossigeno disciolto negli strati più profondi della colonna d'acqua. I valori modellati hanno un bias sistematico a causa del quale i valori di ossigeno disciolto sul fondale sono probabilmente sovrastimati. Quindi anche i dati di ossigeno dal fondo dei modelli CMS devono essere soggetti alla procedura del bias correction. Come già scritto sopra, nel dataset disponibile 2018-2020 in molti casi, soprattutto per le sottoregioni Ionio e Mediterraneo Occidentale, la massima profondità delle misure di ossigeno disciolto disponibili è molto inferiore alla profondità del fondale. Applicare una bias correction all'ossigeno disciolto di fondo del modello in base a dati monitorati non rappresentativi delle condizioni al fondale non sarebbe corretto. Quindi, il bias correction è stato ristretto alla sola sottoregione Adriatico e sono stati considerati solo dati misurati a profondità vicine alla profondità del fondale riportata. In questo modo sono stati considerati 551 valori di ossigeno sul fondale (16 per il WT I, 208 per il WT II, 327 per il WT III).

Gli istogrammi con la distribuzione dei dati osservati, la distribuzione dei dati da modelli CMS, e la distribuzione delle mappe con i dati dei modelli CMS non corretti e i dati corretti per sottoregione marina sono in Figg. 19-21, mentre le mappe con la correzione applicata separatamente ai WT in Adriatico, e con la correzione unica per WT I e WT II e un'altra per WT III sempre solo per l'Adriatico sono in Figg. Appendice 4-6. Come si può vedere, correggere separatamente per Water Type rischia di produrre discontinuità tra le aree interessate da WT diversi (Figg. Appendice 7-14). Il metodo del quantile mapping confronta la distribuzione dei dati osservati con la distribuzione dei valori da correggere, rimappando la distribuzione di questi sulla distribuzione dei dati osservati. In questo modo, i dati da correggere saranno opportunamente corretti sia nei valori alti, sia nei valori bassi. Introdurre delle correzioni separate da applicare a piccole sottoaree riduce i dati su cui calcolare la correzione, ma non necessariamente riduce il range. Di fatto, acque fortemente influenzate dall'apporto dei fiumi (p.es., WT I) mostrano in generale dei range molto elevati nei valori di concentrazione dei nutrienti. Tuttavia, occasionalmente, anche le acque più lontane dai fiumi possono mostrare valori estremamente alti, oltre che estremamente bassi. Le stesse acque WT I in periodi di secca o prolungata siccità possono a loro volta mostrare valori di nutrienti estremamente bassi. Quindi una correzione applicata per sottoaree può produrre una diversa correzione in aree contigue che risulta in discontinuità spaziali. Se invece tutti i dati sono considerati contemporaneamente per il bias correction e questa viene applicata ad una regione più ampia, i valori elevati del modello saranno rimappati sui valori alti osservati, e i valori bassi del modello saranno rimappati sui valori bassi osservati. La scelta di applicare il bias correction separatamente su ognuna delle tre sottoregioni è dettata invece solo da considerazioni sui piani di campionamento, cioè sulle diversità nel posizionamento, numero e frequenza temporale dei campionamenti tra le tre sottoregioni. Considerate che tali differenze sono in verità su scala regionale, il bias correction andrebbe applicato per regione. Abbiamo scartato questa possibilità per il numero esiguo di dati osservati per alcune regioni, e perché di nuovo potrebbero insorgere discontinuità nei valori ricostruiti tra una regione e l'altra, compromettendo la valutazione d'insieme dello stato delle acque italiane. Nel proseguo saranno commentate le sole mappe con bias correction applicato per

sottoregione marina ed eventuali differenze riscontrate rispetto alle mappe dei parametri modellati dai modelli CMS senza correzione applicata.

Dagli istogrammi in Figg. 19-21 si vede che in tutti i casi la distribuzione dei dati CMS è più compatta, mentre tipicamente i dati osservati, sebbene meno numerosi, hanno una distribuzione più larga con diversi estremi alti e/o bassi. Queste differenze erano attese, considerata la diversa origine dei dati. In generale per tutte e tre le sottoregioni marine i dati di clorofilla e salinità superficiali mostrano curve di distribuzione abbastanza simili tra i dati modellati e i dati osservati. In particolare, per l'Adriatico e il Mediterraneo Occidentale i picchi e la forma generale delle distribuzioni di questi due parametri sono molto simili, con i dati osservati che mostrano più valori estremi (bassi per salinità, alti per clorofilla) soprattutto per l'Adriatico. Nel Mediterraneo Occidentale alcuni valori osservati mostrano salinità in superficie significativamente più alti di quelli predetti dal modello. Per la sottoregione Ionio il range modellato e quello osservato sono abbastanza in accordo, ma sia la posizione dei picchi, sia la forma della curva di distribuzione della clorofilla e salinità superficiali sono diversi. È probabile che il posizionamento di alcune stazioni di monitoraggio in questa sottoregione (p.es., l'unico transetto della Basilicata) e l'assenza di dati per diverse aree per gran parte del periodo preso in considerazione, possono aver causato una distribuzione molto rada dei dati osservati e di conseguenza le discrepanze tra dati osservati e dati modellati.

Il confronto delle distribuzioni dei nutrienti per l'Adriatico rivela anche una sostanziale concordanza tra dati osservati e dati modellati, sebbene soprattutto per il  $\text{PO}_4$  e il  $\text{NH}_4$  i dati osservati contengono molti valori alti. Il bias correction in questo caso ha avuto l'effetto di "allungare" la distribuzione dei dati modellati verso l'estremo dei valori elevati. Per lo Ionio si osserva invece una distribuzione dei valori dei nutrienti osservati molto spostata verso valori elevati rispetto alla curva della distribuzione dei dati modellati. Questo potrebbe essere un effetto della non rappresentatività dei dati osservati nello Ionio per le ragioni già esposte sopra. Infine, nel Mediterraneo Occidentale sono soprattutto le misure di concentrazione di  $\text{NH}_4$  ad avere una coda molto lunga verso valori elevati. Per lo ione nitrato e lo ione fosfato le distribuzioni tra dati osservati e dati modellati sono molto simili. Per il  $\text{NO}_3$  il picco dei valori osservati è inferiore al picco dei dati modellati, ad indicare che forse il modello sistematicamente sovrastima questo parametro nella sottoregione del Mediterraneo Occidentale.

Infine, il confronto per l'ossigeno disciolto sul fondo è stato fatto solo per l'Adriatico. Si nota che la distribuzione dei dati modellati è molto compatta e centrata intorno ai  $250 \mu\text{mol L}^{-1}$ , mentre i dati misurati mostrano una distribuzione più larga, con un plateau tra i 210 e i  $270 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Il risultato del bias correction in questo caso è di allargare la distribuzione dei dati, ma abbassando anche il picco a valori un po' più bassi. Il risultato della correzione porta probabilmente a sottostimare la concentrazione di ossigeno disciolto sul fondale.

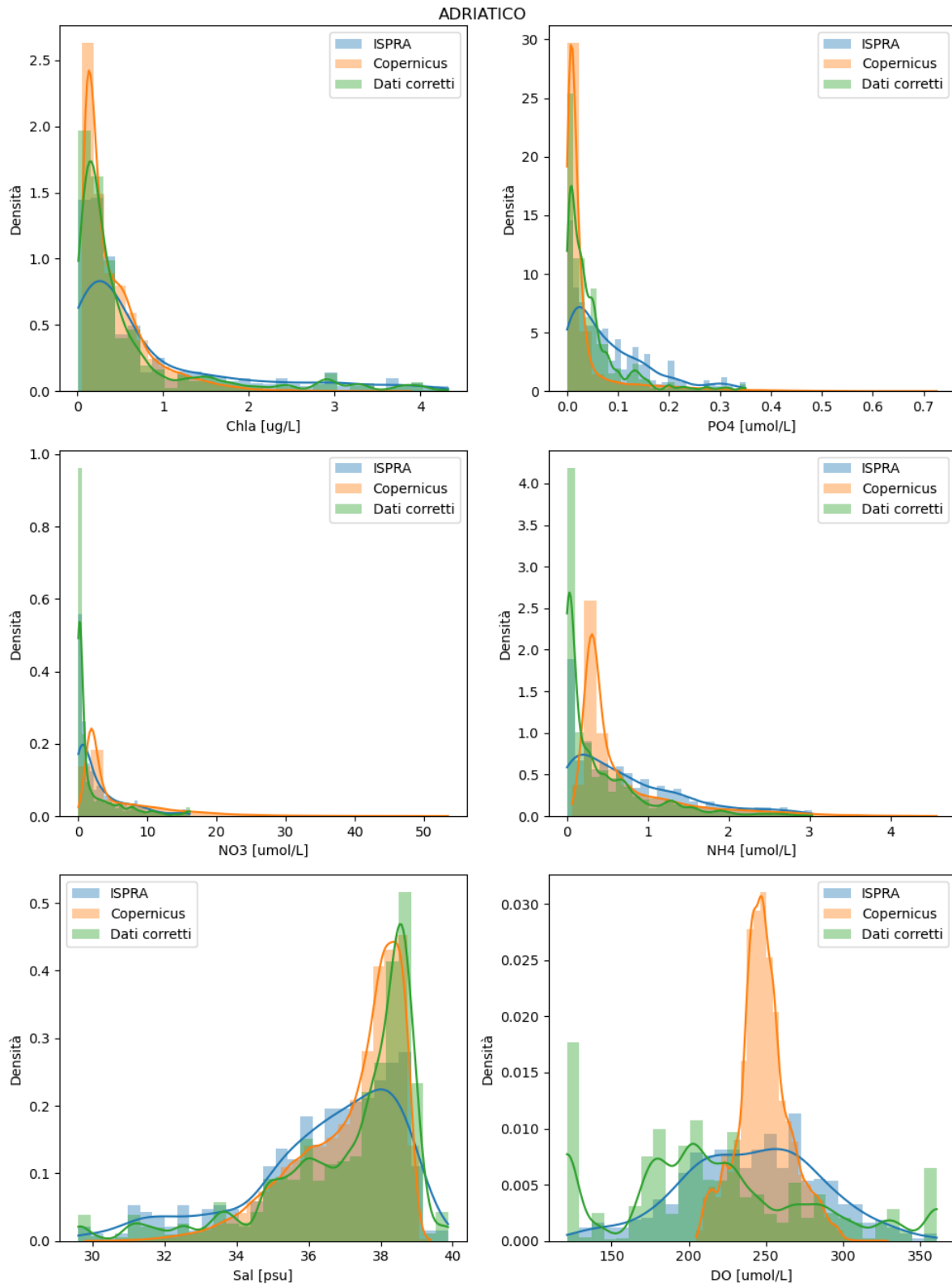


Figura 19: Rappresentazione degli istogrammi dei dati monitorati (blu = ISPRA), dei dati dei modelli CMS (arancione = Copernicus), e dei dati dopo l'applicazione del metodo di bias correction quantile mapping (verde = Dati corretti) per la sottoregione marina Adriatico. Le curve sono i profili di densità stimati per ogni distribuzione.

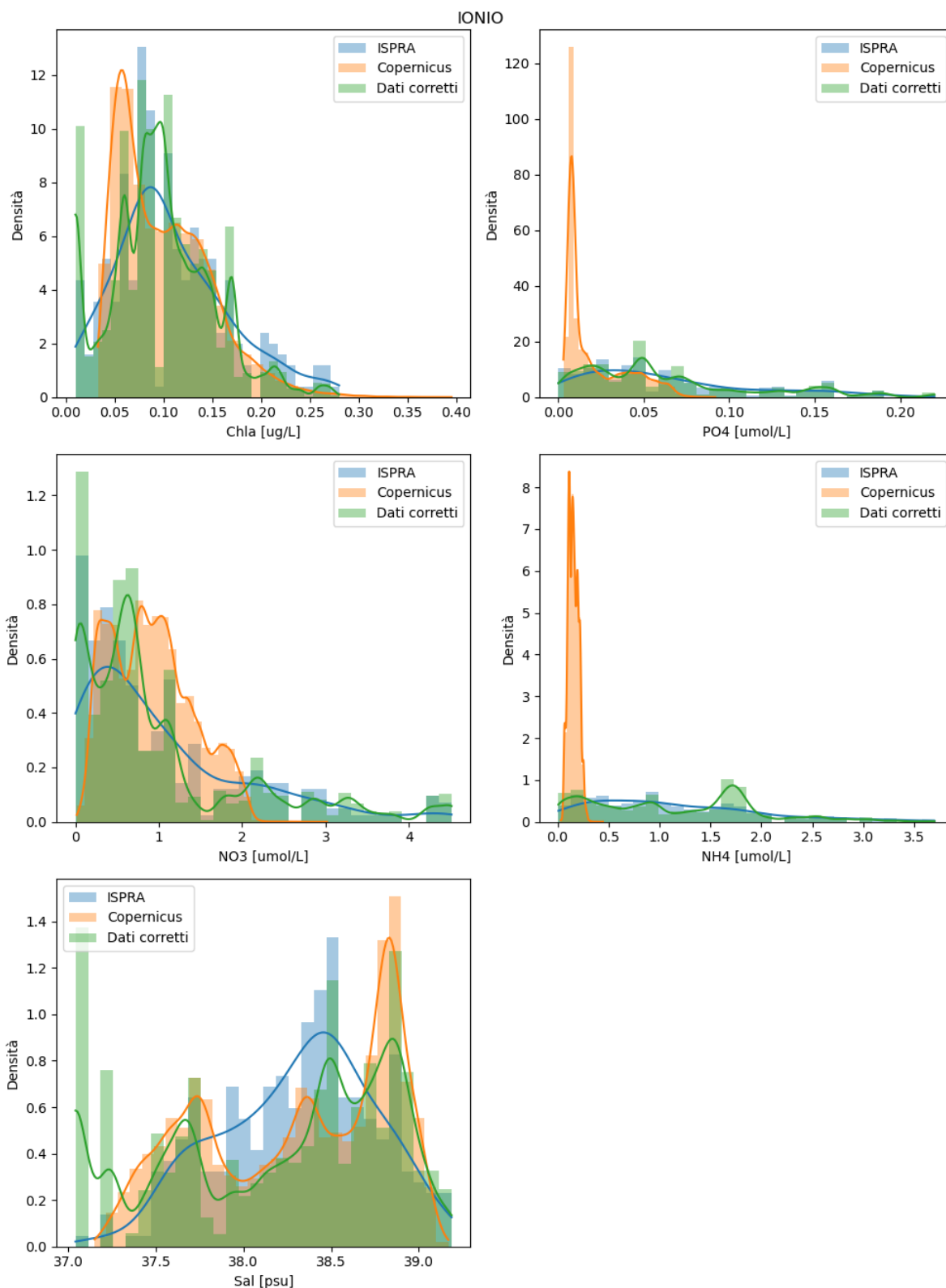


Figura 20: Rappresentazione degli istogrammi dei dati monitorati (blu = ISPRA), dei dati dei modelli CMS (arancione = Copernicus) corrispondenti ai dati monitorati, e dei dati dopo l'applicazione del metodo di bias correction quantile mapping (verde = Dati corretti) per la sottoregione marina Ionio. Le curve sono i profili di densità stimati per ogni distribuzione. Per l'ossigeno disciolto di fondo per la sottoregione Ionio non è stato applicato alcun bias correction.



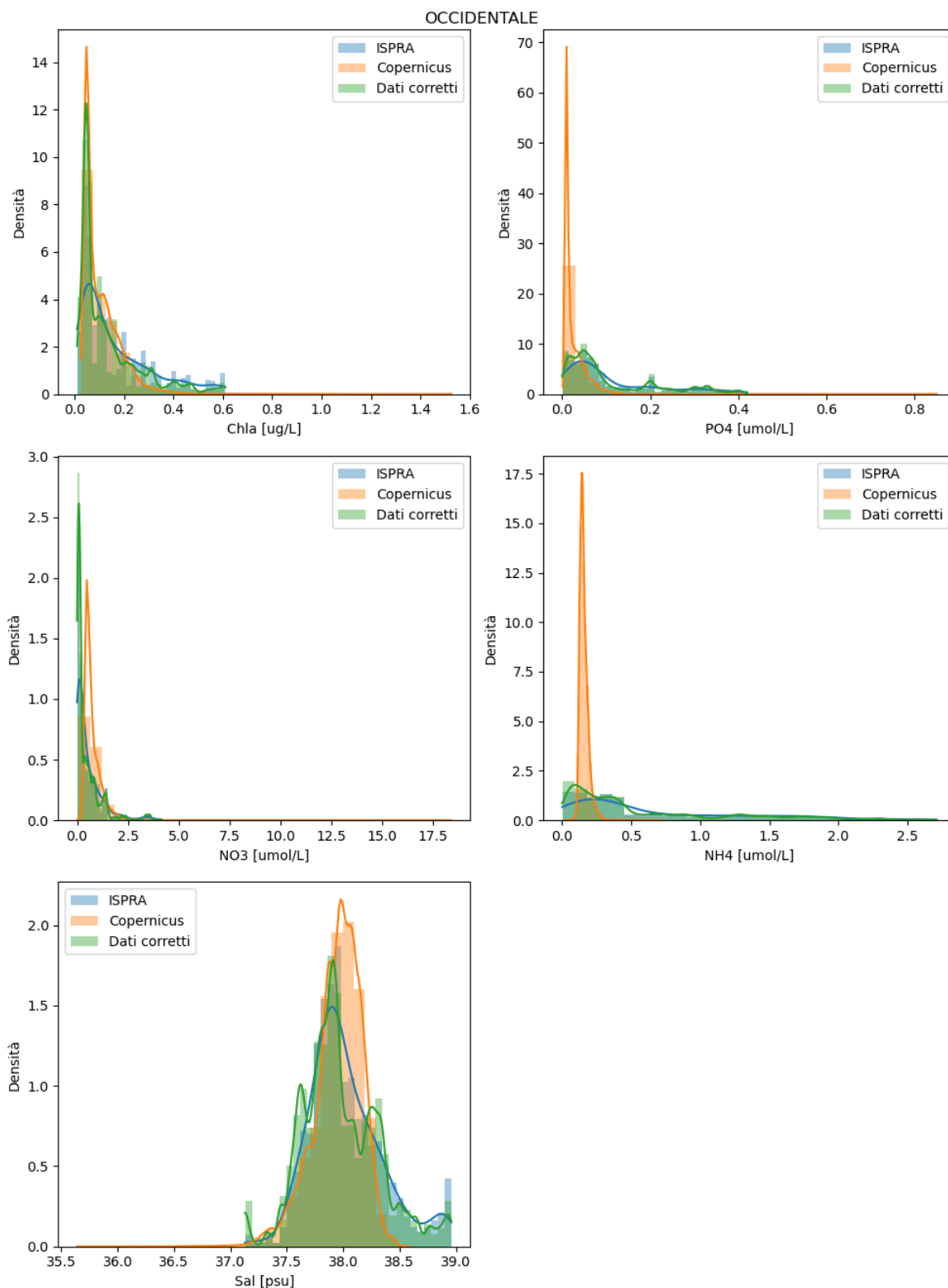


Figura 21: Rappresentazione degli istogrammi dei dati monitorati (blu = ISPRA), dei dati dei modelli CMS (arancione = Copernicus), e dei dati dopo l'applicazione del metodo di bias correction quantile mapping (verde = Dati corretti) per la sottoregione marina Mediterraneo Occidentale. Le curve sono i profili di densità stimati per ogni distribuzione. Per l'ossigeno disciolto di fondo per la sottoregione Mediterraneo Occidentale non è stato applicato alcun bias correction.



Le mappe con il confronto tra i dati CMS e gli stessi dati CMS dopo l'applicazione del bias correction per sottoregione marina sono presentate in Fig. 22-29. Le figure con le correzioni applicate solo per l'Adriatico in base ai tre WT e con correzione per WT I e WT II insieme e separatamente per WT III sono invece nelle Figg. Appendice 7-14.

I pattern spaziali osservabili nelle mappe dei vari parametri mostrano una concordanza molto buona tra i valori modellati e i valori corretti. In particolare, risaltano le acque dell'Adriatico che si differenziano per diversa magnitudo dell'influenza dei fiumi con conseguente salinità bassa, clorofilla e nutrienti alti. Si possono distinguere in generale sia sulle mappe modellate, sia sulle mappe corrette, anche alcune zone di maggiore influenza fluviale in Tirreno, in particolare tra gli estuari dell'Arno e del Serchio, vicino alla foce del Tevere, e nel sud Pontino tra i fiumi Garigliano e Volturno. La somiglianza nella distribuzione spaziale dei valori modellati e di quelli corretti è dovuta al fatto che il bias correction applicato non interviene in maniera esplicita sulla distribuzione spaziale dei valori. Laddove il modello predice valori bassi, la correzione può abbassarli ulteriormente od innalzarli, ma non può spostarne il posizionamento.

Quello che invece si nota sono le differenze nei valori delle variabili tra modello e dati corretti. Solo le mappe della salinità e della clorofilla superficiali non mostrano grandi differenze, tranne nell'area del Nord Adriatico a diretta influenza del Po. Qui, la correzione abbassa la salinità ed alza la clorofilla superficiale. È evidente che tale correzione potrebbe essere dovuta ad una sistematica sottostima del modello dei fenomeni che causano tali valori, ma in alternativa anche ad una non adeguata rappresentatività dei dati osservati a causa del non ottimale posizionamento dei transetti di monitoraggio o della frequenza di campionamento degli stessi. Per la maggior parte delle acque territoriali del resto dell'Adriatico e delle altre sottoregioni marine possiamo dire che i dati modellati non sono sostanzialmente diversi dai dati corretti. Indubbiamente, questo è dovuto sia alla qualità dei dati misurati di clorofilla e di salinità, sia al fatto che il modello stesso prevede l'assimilazione di profili di salinità e di clorofilla superficiale da satellite.

Un effetto analogo del bias correction a quello sulla clorofilla si osserva per la concentrazione dei nitrati. Anche in questo caso nella gran parte delle acque studiate non si notano differenze tra i dati modellati e i dati corretti. Solo nell'Alto Adriatico si osserva una diminuzione dei valori medi di  $\text{NO}_3$ . Anche in questo caso si può ipotizzare o una sistematica sovrastima del modello, o una non adeguata rappresentatività dei dati osservati raccolti in transetti non rappresentativi o con una frequenza temporale non sufficiente per catturare la dinamicità dell'area.

Molto diverso sembra l'effetto della correzione del bias sui valori della concentrazione dello ione ammonio. Infatti, se nell'Adriatico i valori si riducono leggermente, aumentano invece sensibilmente sia nello Ionio, sia, in misura minore, nel Mediterraneo Occidentale. Mentre nella mappa dei valori modellati queste due sottoregioni sono caratterizzate da valori di ammonio bassi, con valori un po' più alti solo in prossimità degli apporti fluviali, o, per lo Ionio, in prossimità dei confini con l'Adriatico, le mappe dei valori corretti, in base ai dati osservati, alzano sensibilmente le concentrazioni. In questo caso si tratta quasi sicuramente dell'effetto della qualità dei dati osservati. Come già ricordato diverse volte, la qualità dei dati osservati potrebbe essere impattata da bias sistematici di campionamento (metodi non intercalibrati, differenze notevoli nei limiti di detenzione e quantificazione), oppure dalla scelta del posizionamento e frequenza dei campionamenti, o ancora dai molti dati mancanti nel periodo 2018-2020 sotto esame. In particolare, è evidente che la scarsità dei dati nello Ionio (soprattutto per la Basilicata e per la Calabria), e il posizionamento di un transetto a ridosso di apporti fluviali relativamente importanti all'interno del Golfo di Taranto in Basilicata,

influiscono innalzando fortemente i valori al confine con l'Adriatico, che nella mappa dei valori modellati non sono distinguibili da quelli delle acque contigue. Anche nella sottoregione Mediterraneo Occidentale è probabile che il posizionamento di alcuni transetti a ridosso della foce di fiumi (Arno, Tevere, Volturno), con ampie porzioni della costa non interessate da apporti fluviali e non campionate, possano aver contribuito al generale innalzamento dei valori di ammonio dopo l'applicazione della correzione.

Visto che il contributo dello ione ammonio rispetto allo ione nitrato alla somma dei due è relativamente piccolo, le mappe della somma di ammonio e di nitrato prima e dopo la correzione sono molto simili. In Adriatico in generale la correzione abbassa i valori, mentre nelle altre due sottoregioni sono leggermente innalzati.

Per quanto riguarda la concertazione superficiale dello ione fosfato i valori sono stati modificati quasi ovunque al rialzo. In particolare, i valori corretti del Mediterraneo Occidentale sono sensibilmente più alti di quelli modellati, con la comparsa di un'evidente discontinuità tra le acque di questa sottoregione e della sottoregione Ionio. È probabile che il campionamento in corrispondenza di apporti fluviali lungo la costa tirrenica possa aver causato tal effetto.

Se poi si applica le regressioni TP-PO<sub>4</sub> derivate nei capitoli precedenti per trasformare lo ione fosfato in TP, considerato che il TP non è presente nell'attuale catalogo dei prodotti CMS, si nota un forte impatto sui valori in Adriatico e soprattutto nello Ionio: le regressioni ottenute sovrastimano il TP sistematicamente in queste due sottoregioni. Invece, come risultava già dai grafici di valori predetti contro osservati e dai residui contro valori predetti in Fig. Appendice 3, nel Mediterraneo Occidentale l'applicazione della formula di conversione tra queste due forme di fosforo non sembra stravolgere i valori. Dopo l'applicazione del bias correction, anche i valori in questa sottoregione risultano molto più alti dei valori modellati non corretti. Resta il dubbio su quanto influisca, su tali differenze, l'errore insito nelle equazioni di conversione, una sottostima sistematica nei valori modellati di fosfato, o una non rappresentatività dei dati osservati.

Infine, la correzione per il DO di fondo è stata applicata solo alle acque della sottoregione Adriatico (si veda il Capitolo 4 per i dettagli sull'argomento). Si nota un aumento del range dei valori corretti rispetto ai valori modellati, indice del fatto che il modello non riesce bene a predire i valori estremi. Inoltre, soprattutto nella fascia costiera dell'Adriatico centrale e meridionale, i valori corretti sono sensibilmente più bassi di quelli modellati. Questo potrebbe essere una conseguenza di un bias sistematico nel modello, in cui infatti non c'è un modulo bentonico. Quindi l'applicazione di metodi di bias correction per l'ossigeno di fondo è sicuramente utile, almeno per le aree sopra la piattaforma continentale. Peraltro, la profondità media delle piattaforme continentali nel Mediterraneo e la massima profondità delle misure di ossigeno disciolto disponibili nei profili del dataset 2018-2020 a disposizione sono quasi in sovrapposizione, permettendo effettivamente l'applicazione di un bias correction almeno in queste aree.



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

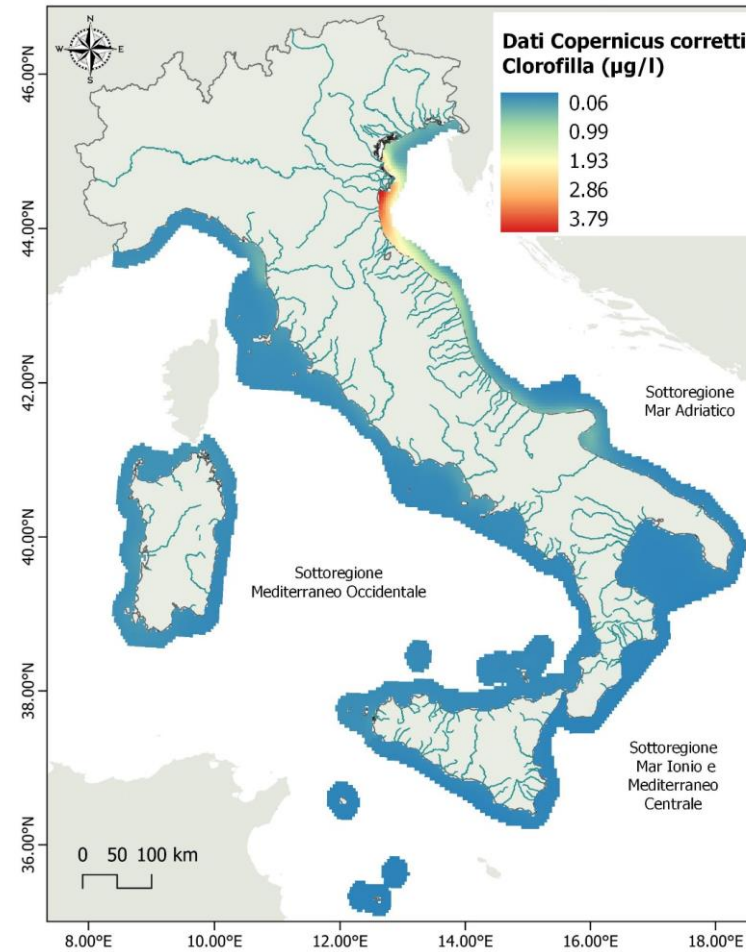
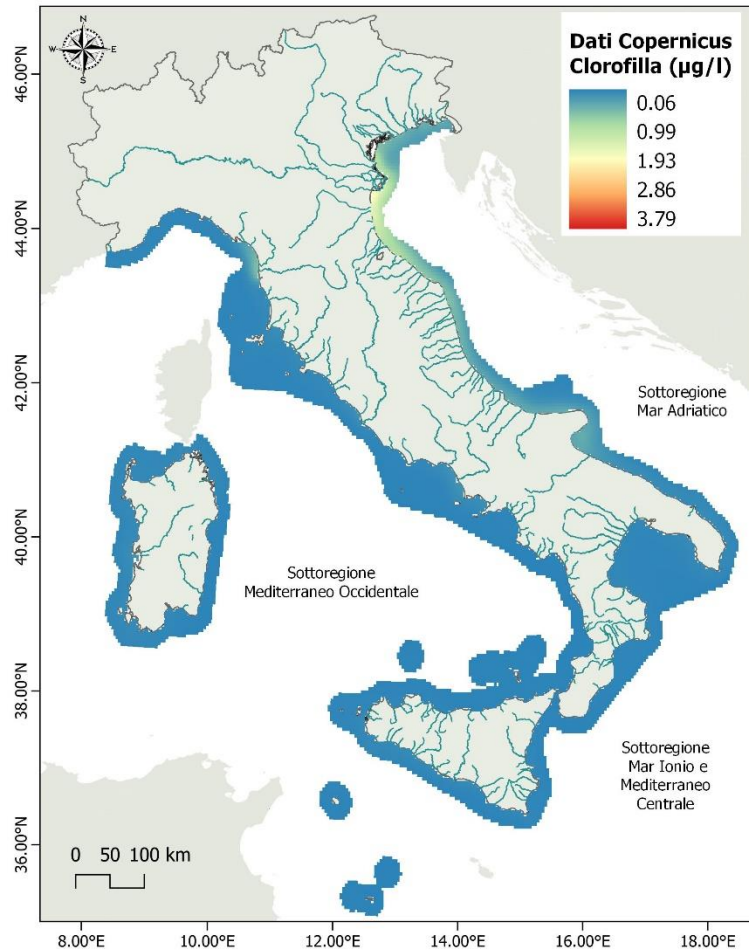


Figura 22: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di clorofilla da modello CMS (sinistra) e dopo l'applicazione del bias correction sulla base dei dati monitorati (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

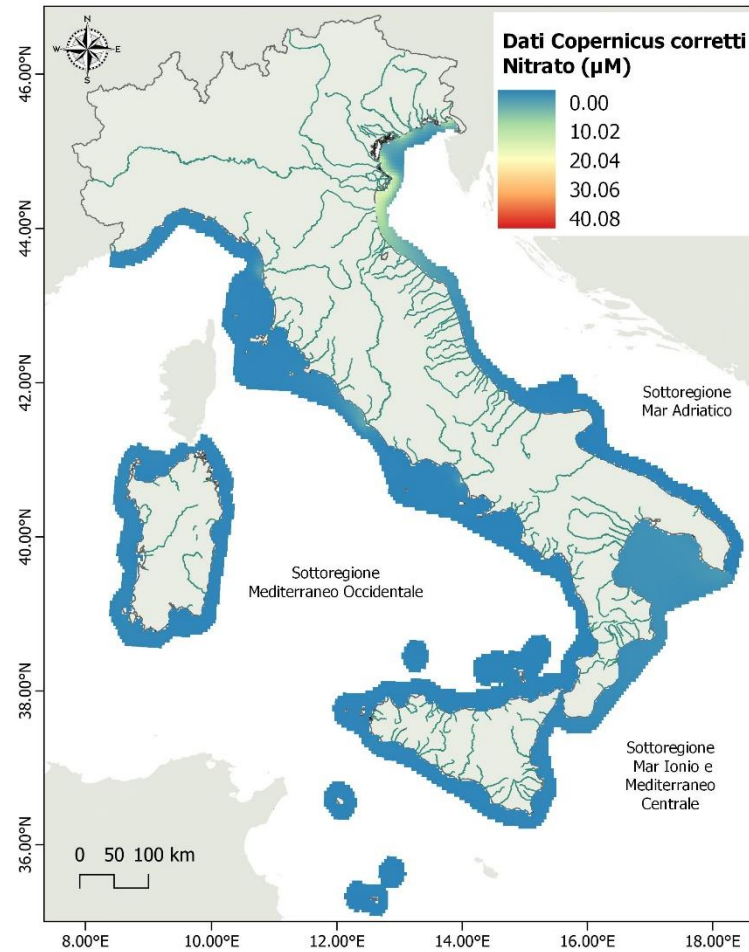
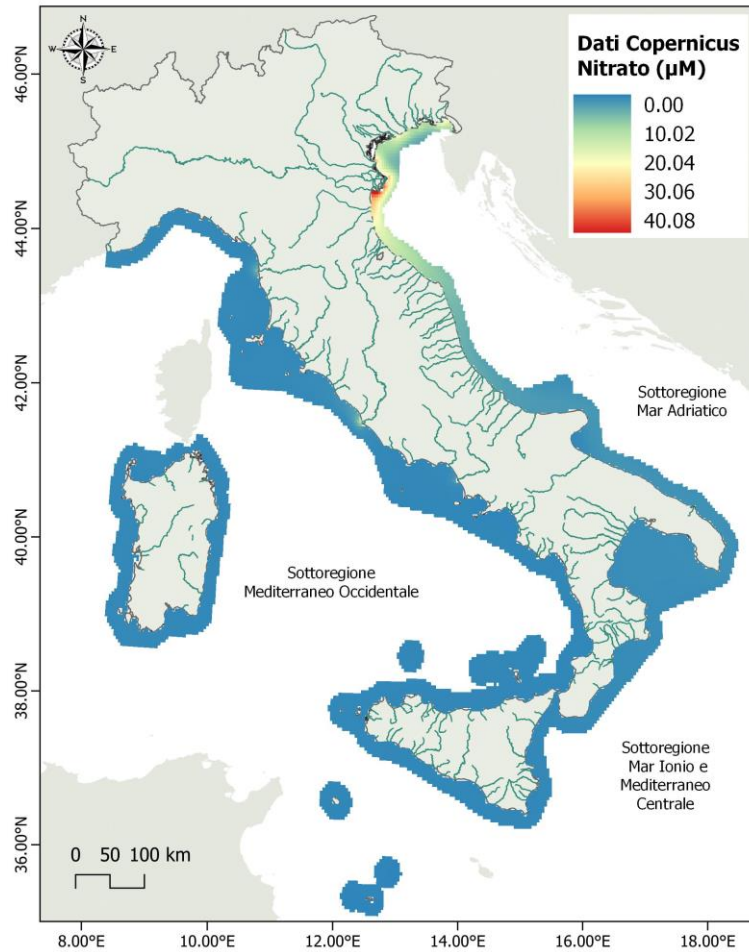


Figura 23: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di ione nitrato da modello CMS (sinistra) e dopo l'applicazione del bias correction sulla base dei dati monitorati (destra).



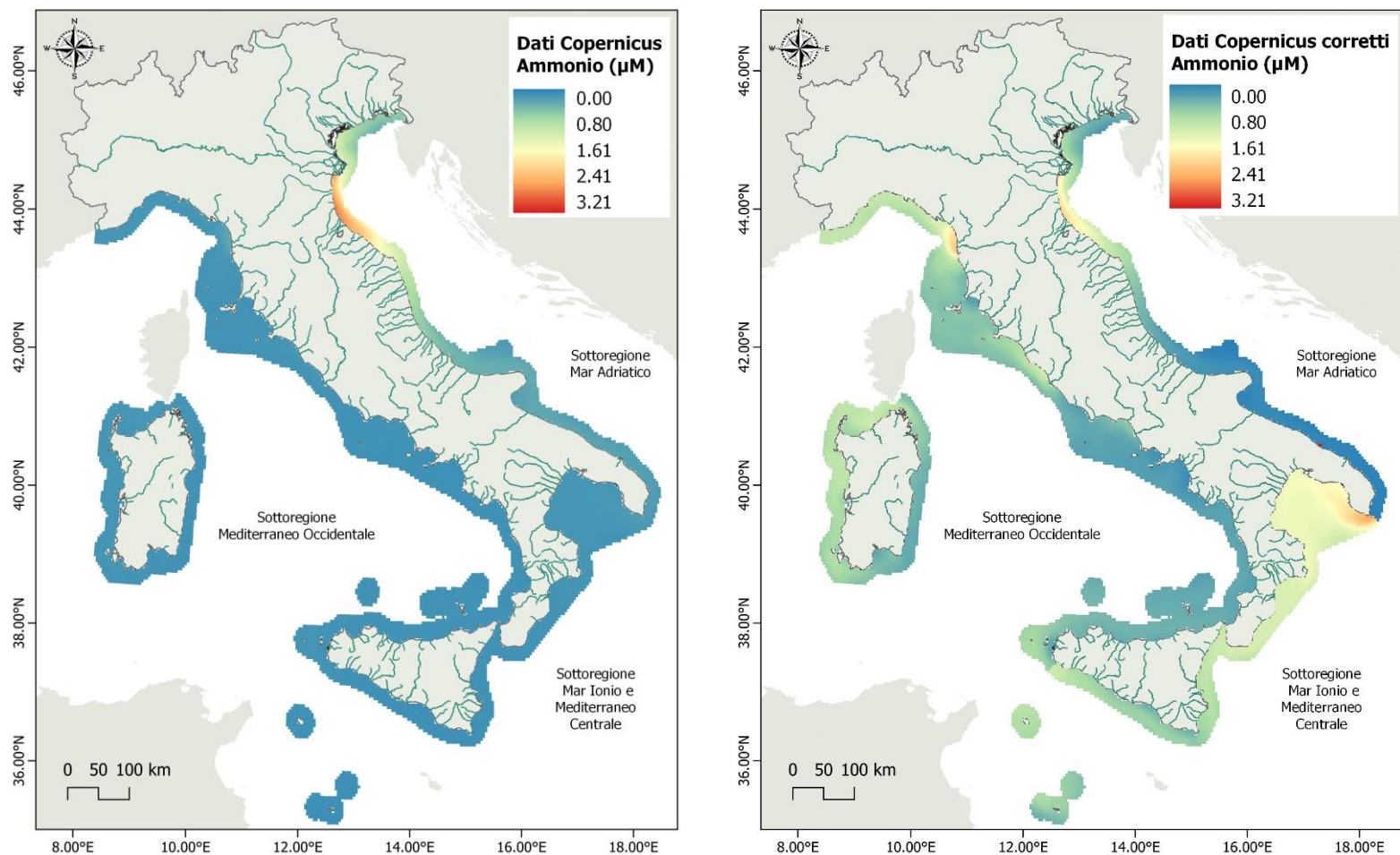


Figura 24: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di ione ammonio da modello CMS (sinistra) e dopo l'applicazione del bias correction sulla base dei dati monitorati (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

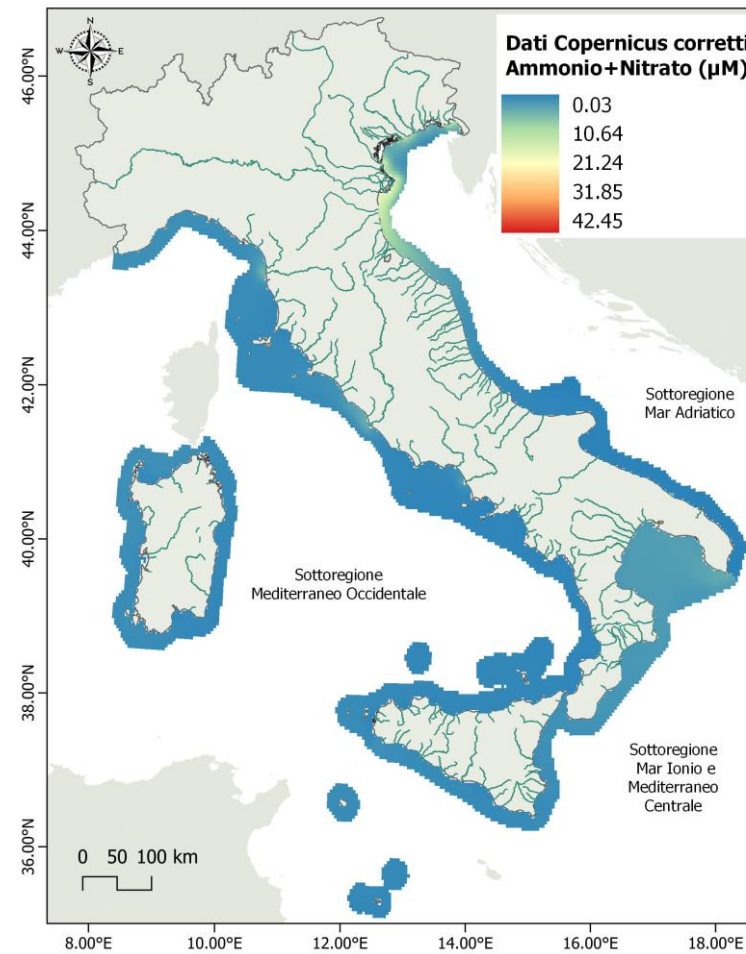
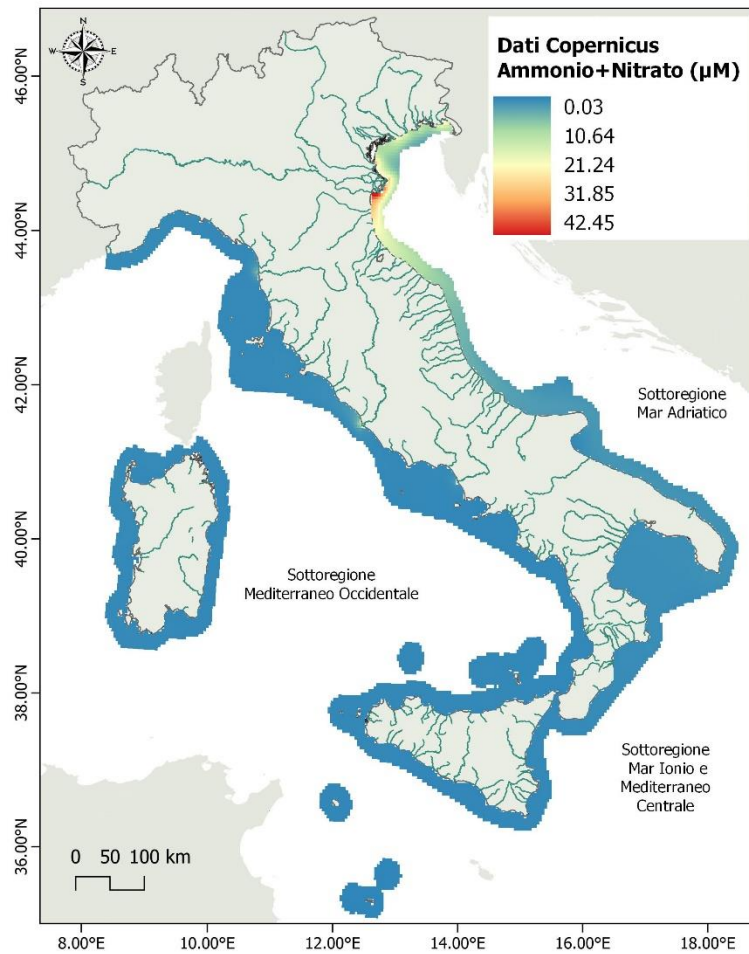


Figura 25: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di ammonio e nitrato da modello CMS (sinistra) e dopo l'applicazione del bias correction sulla base dei dati monitorati (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

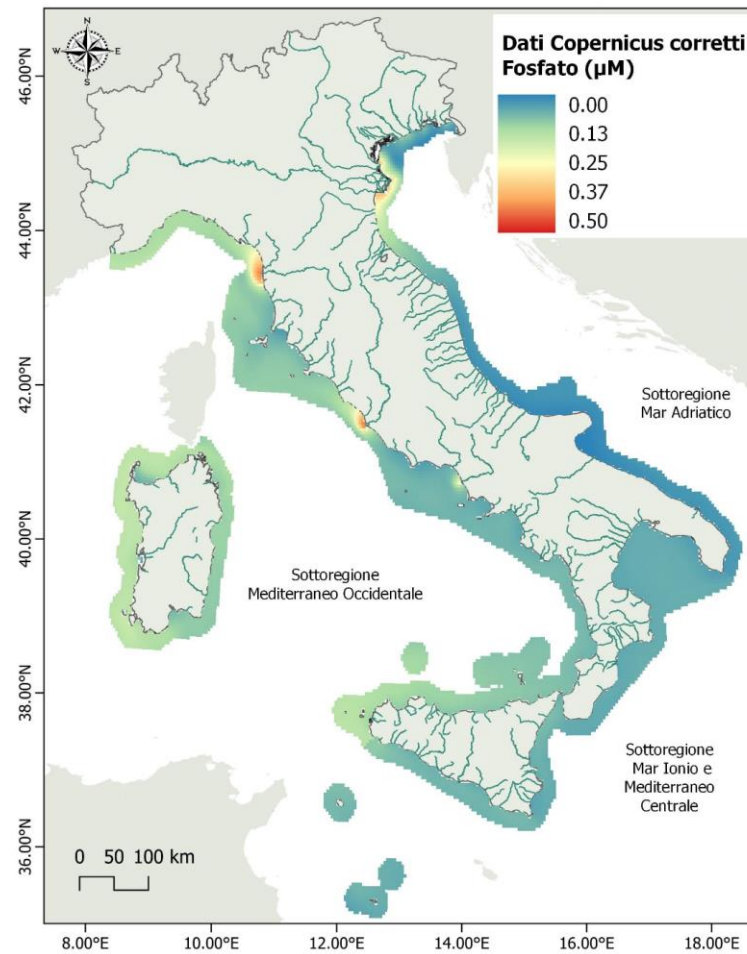
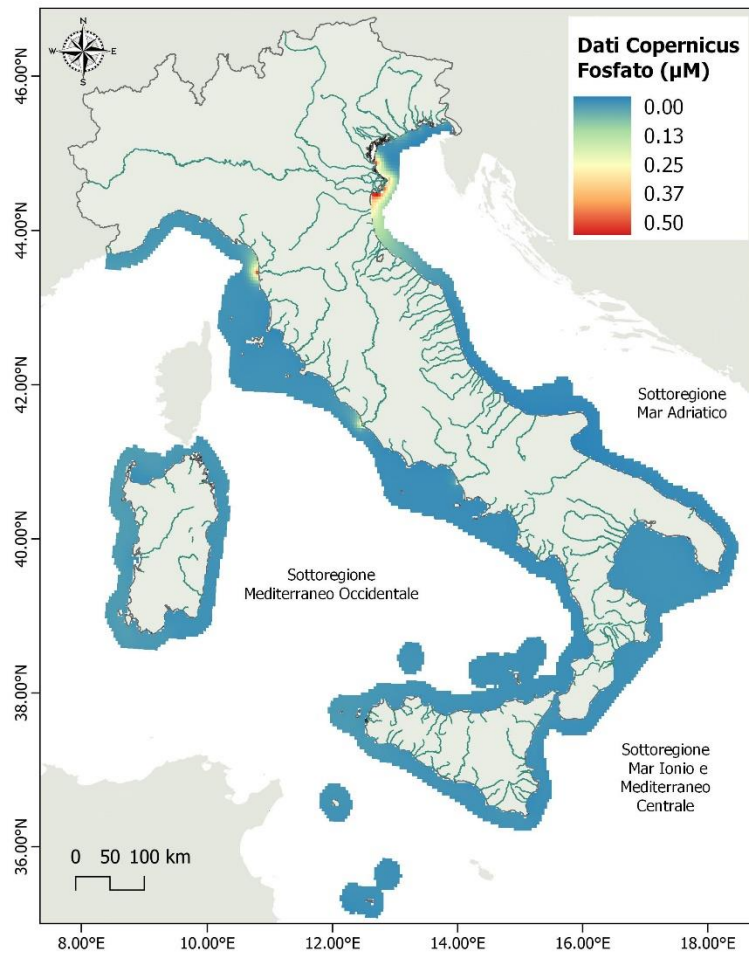


Figura 26: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di fosfato da modello CMS (sinistra) e dopo l'applicazione del bias correction sulla base dei dati monitorati (destra).





**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

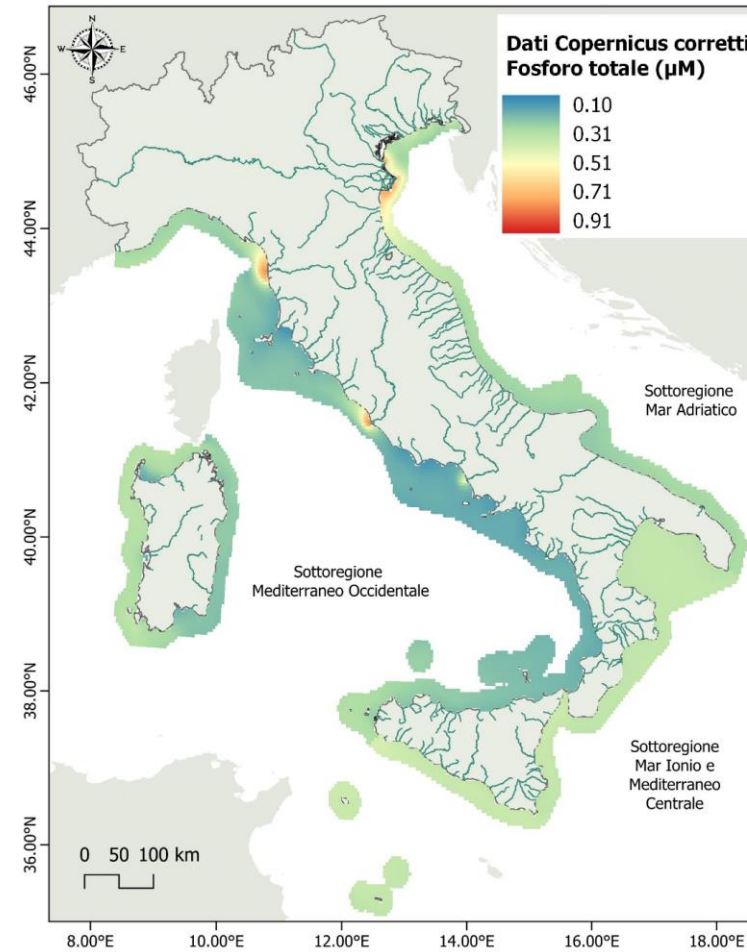
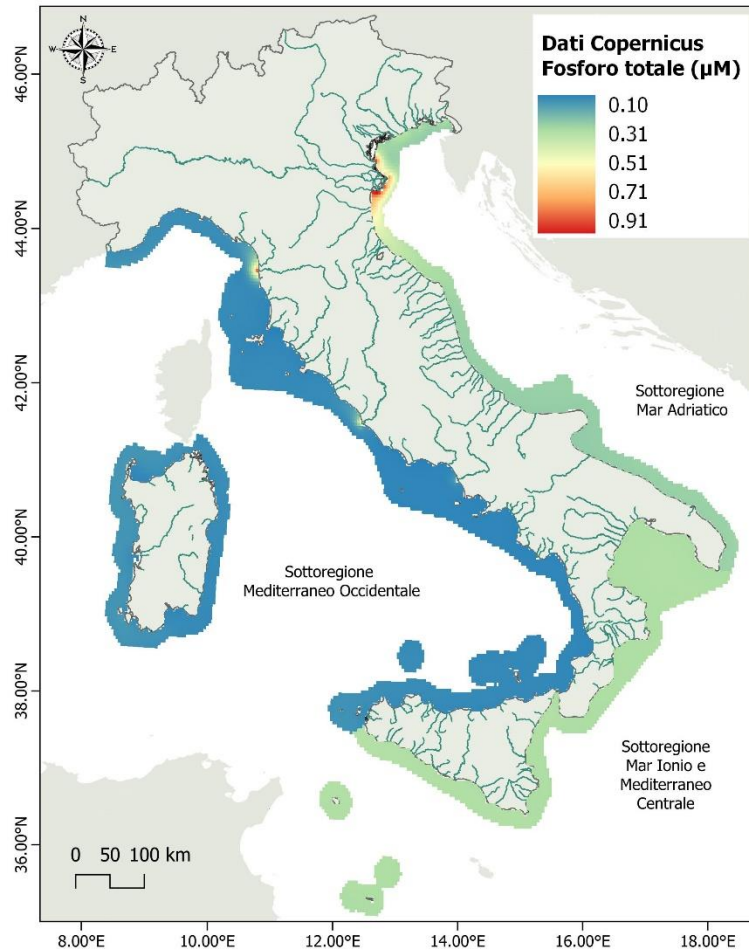


Figura 27: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di fosforo totale da modello CMS (sinistra) e dopo l'applicazione del bias correction sulla base dei dati monitorati (destra). La concentrazione di fosforo totale è stata calcolata dalla concentrazione di fosfato applicando l'equazione ottenuta dalla regressione di TP su PO<sub>4</sub> nei dati monitorati.





**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

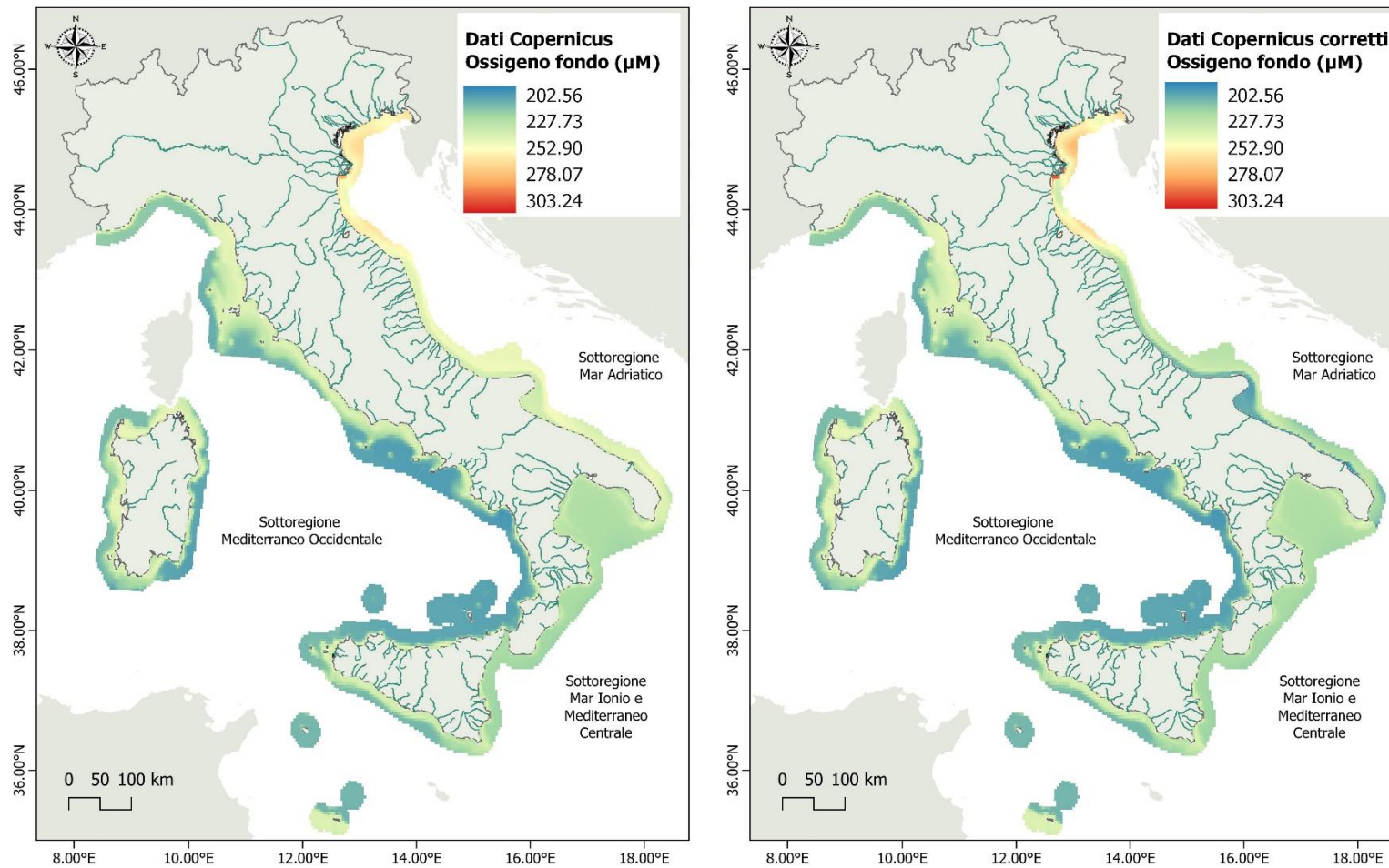


Figura 28: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati di fondo dell'ossigeno disciolto da modello CMS (sinistra e destra per sottoregioni Ionio e Mediterraneo) e dopo l'applicazione del bias correction alla sola sottoregione Adriatico sulla base dei dati monitorati (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

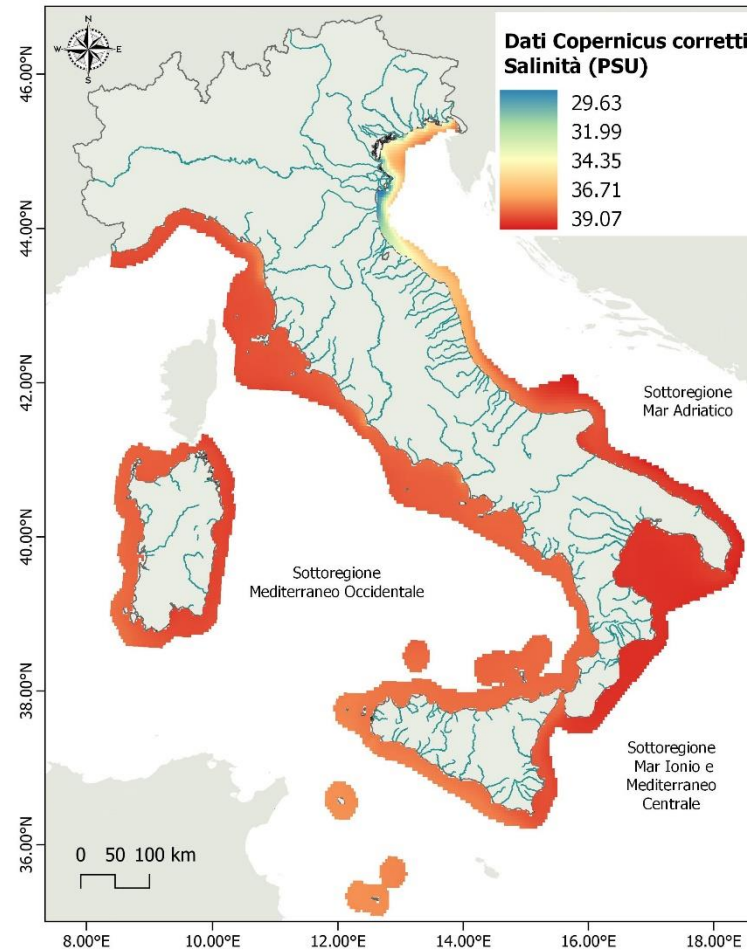
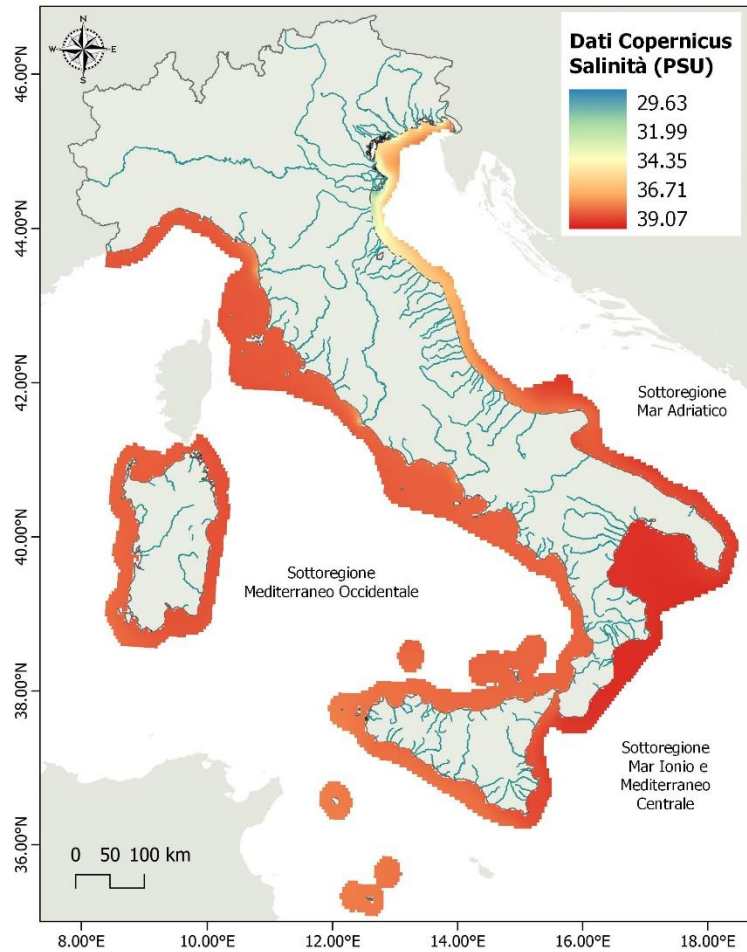


Figura 29: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di salinità da modello CMS (sinistra) e dopo l'applicazione del bias correction sulla base dei dati monitorati (destra).

#### 5.4 Utilizzo prodotti CMS per acque offshore

Per le acque che ricadono tra il limite delle acque territoriali, cioè 12 miglia nautiche dalla linea di costa, e il limite della zona economica esclusiva italiana, non erano disponibili dati da osservazioni con cui operare confronti o correzioni con i dati modellati dei prodotti CMS. Si è deciso quindi di procedere con i valori modellati considerando che i modelli CMS sono in generale più affidabili in mare aperto dove non si osservano i rapidi gradienti e la grande dinamicità dei fenomeni tipici costieri dovuti soprattutto all'effetto degli affluenti da terraferma. Si ricorda comunque che l'utilizzo di prodotti CMS per la finalità della MSFD (2008/56/EC) non è una novità. Per la valutazione delle acque francesi del Mediterraneo Lefebvre e Devreker (2020) hanno utilizzato i valori di nutrienti e di ossigeno del fondo dal modello dallo stesso modello CMS utilizzato nel presente lavoro, applicandoli a tutte le acque intermedie (da 1 miglio nautico a 12 miglia nautiche) ed offshore (oltre le 12 miglia nautiche fino ai confini della zona economica esclusiva), senza peraltro applicare nessun metodo di bias correction o confronto con dati osservati.

In Figg. 30-37 sono presentati i valori medi dei parametri interessanti per le finalità del descrittore D5 nelle acque italiane dal confine delle acque territoriali al confine della zona economica esclusiva.

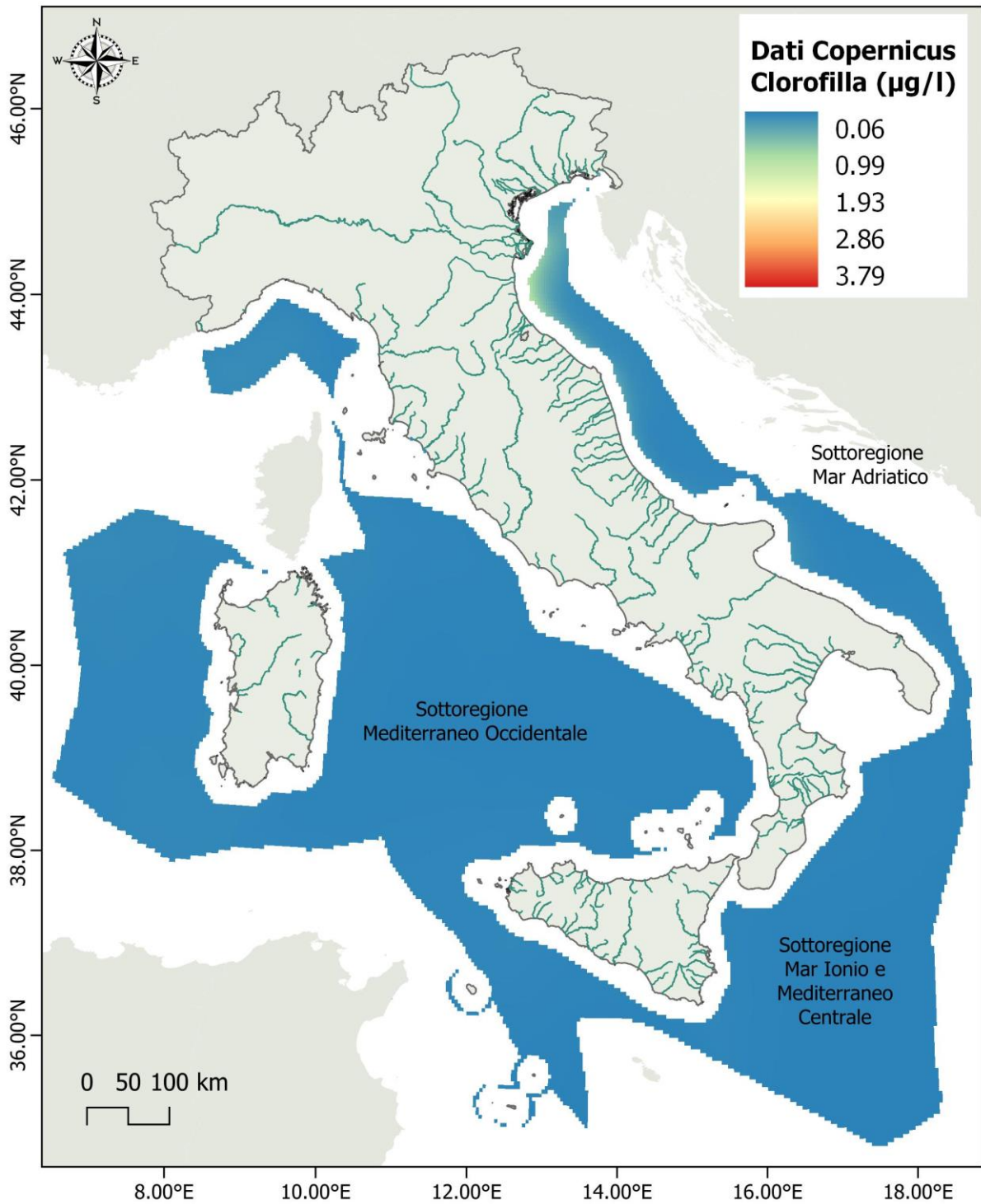


Figura 30: Media sul periodo 2018-2020 della concentrazione superficiale di clorofilla predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.



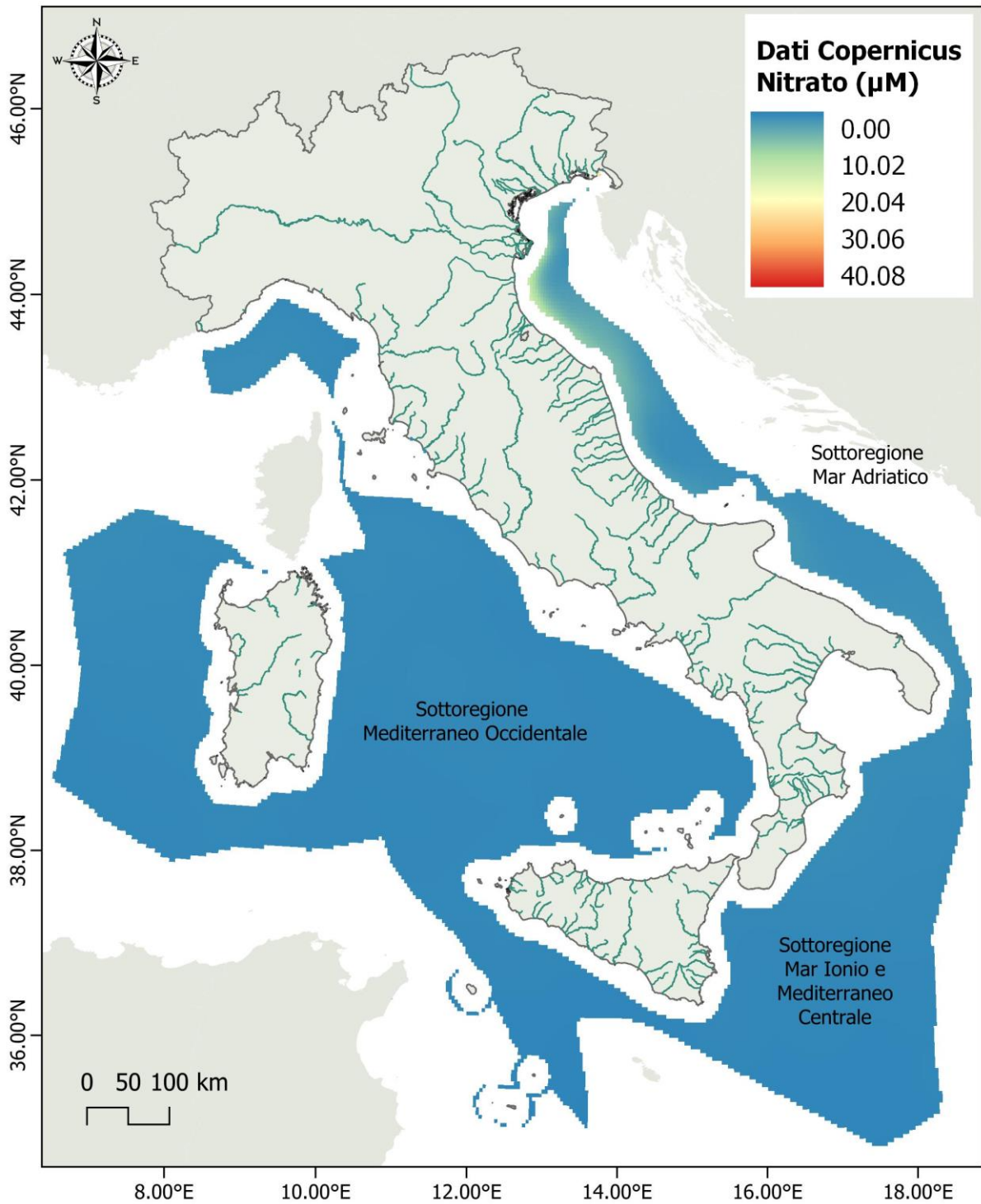


Figura 31: Media sul periodo 2018-2020 della concentrazione superficiale di nitrato predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.

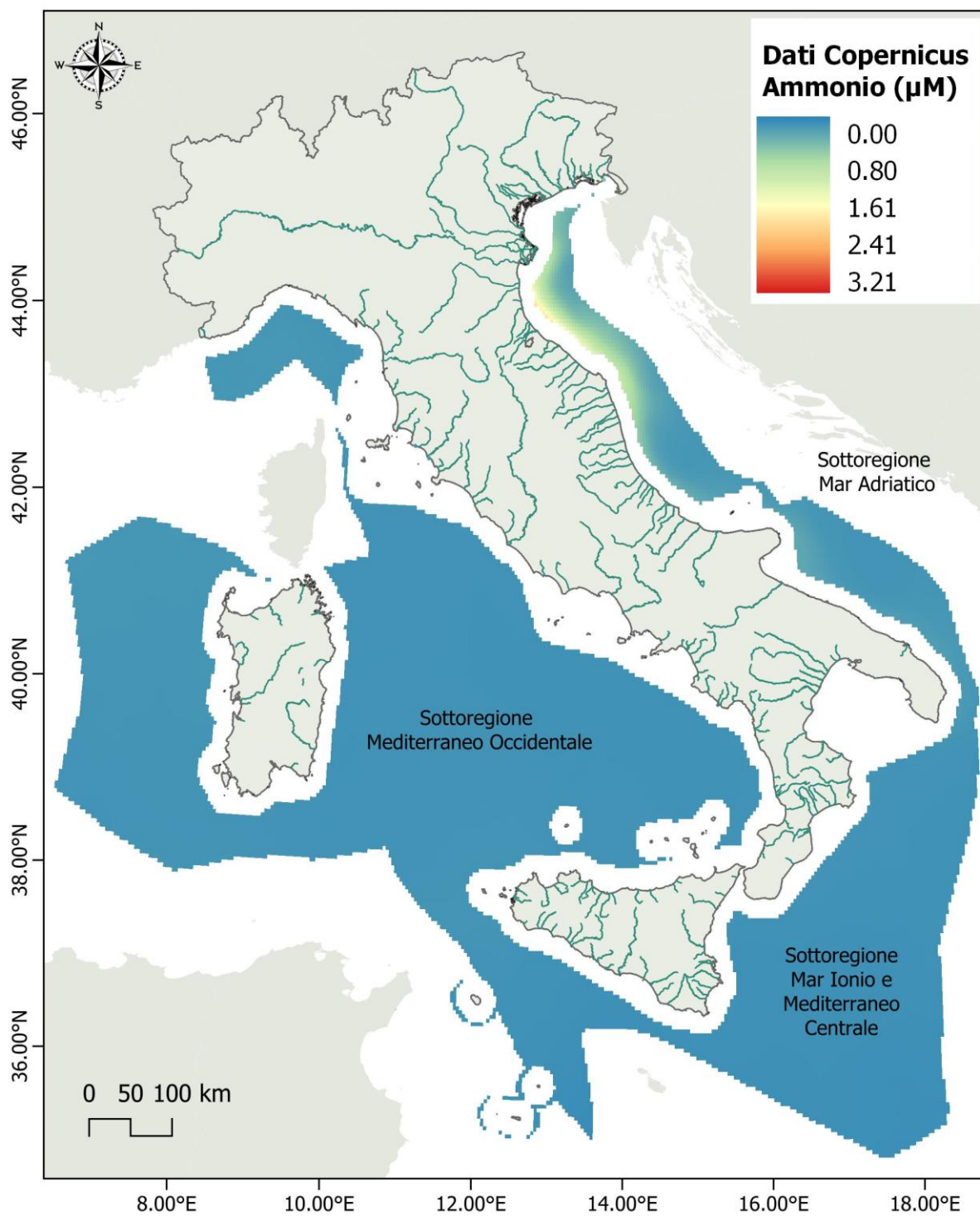


Figura 32: Media sul periodo 2018-2020 della concentrazione superficiale di ammonio predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.

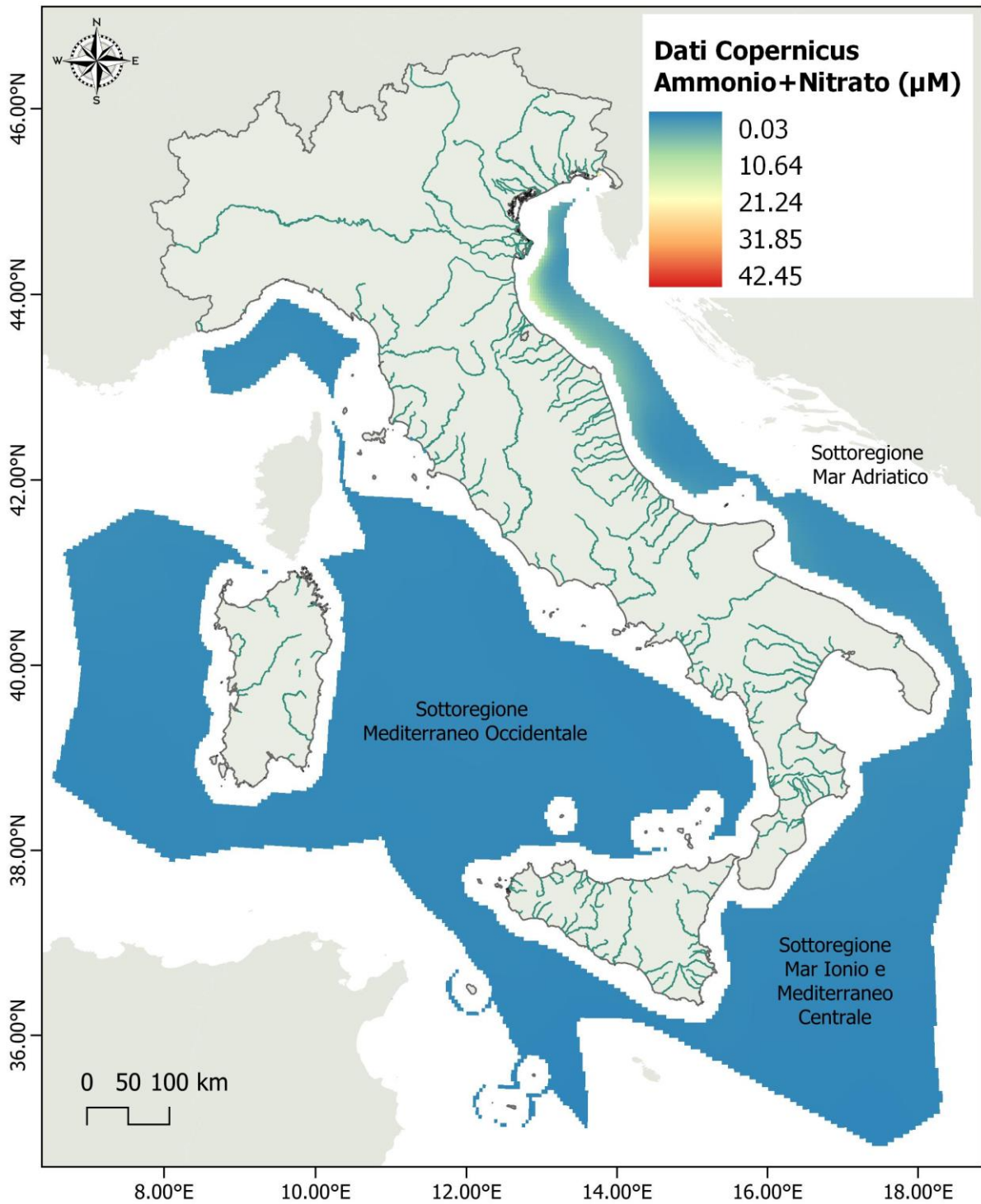


Figura 33: Media sul periodo 2018-2020 della concentrazione superficiale della somma dello ione nitrato e dello ione ammonio predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.



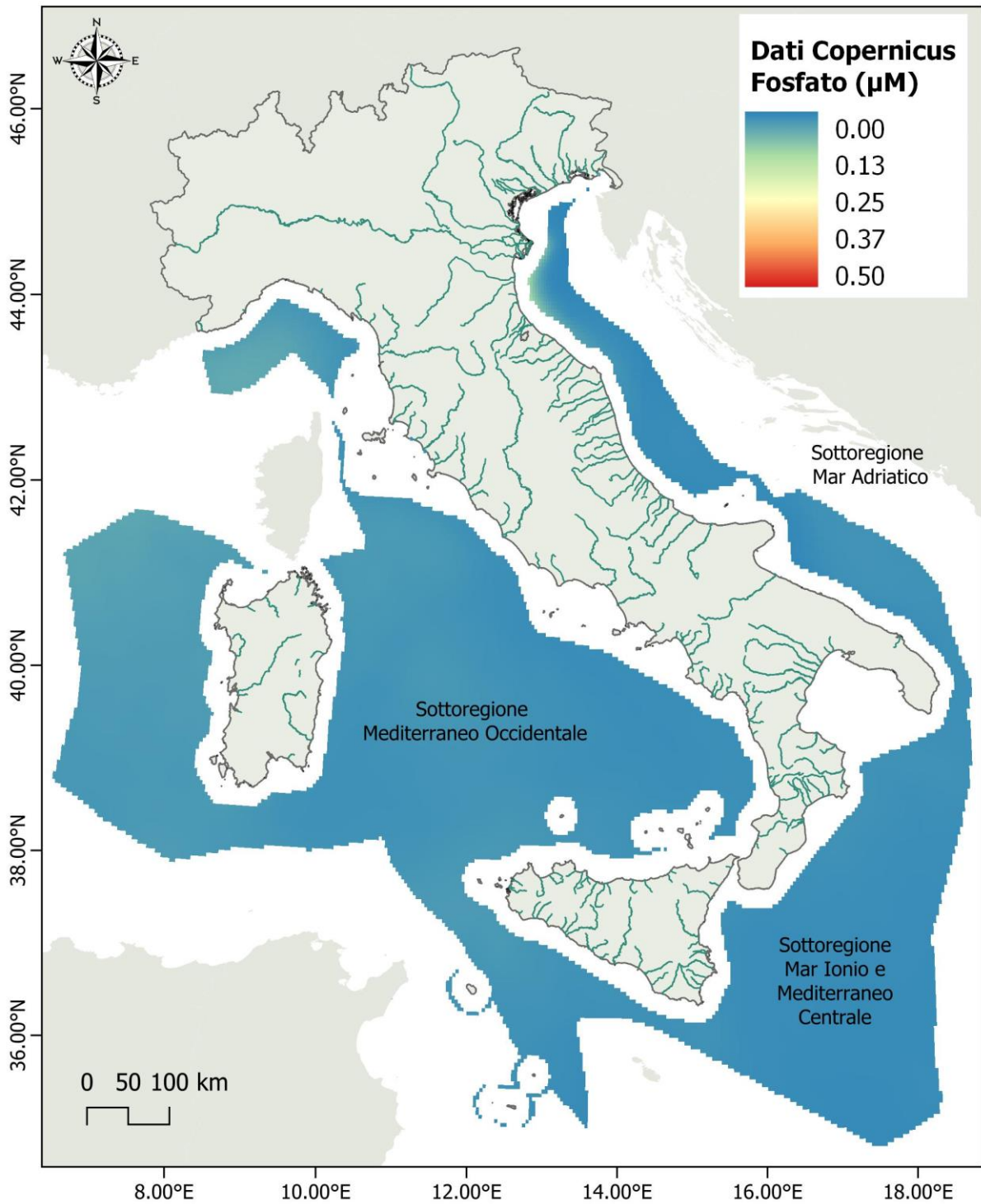


Figura 34: Media sul periodo 2018-2020 della concentrazione superficiale di fosfato predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.



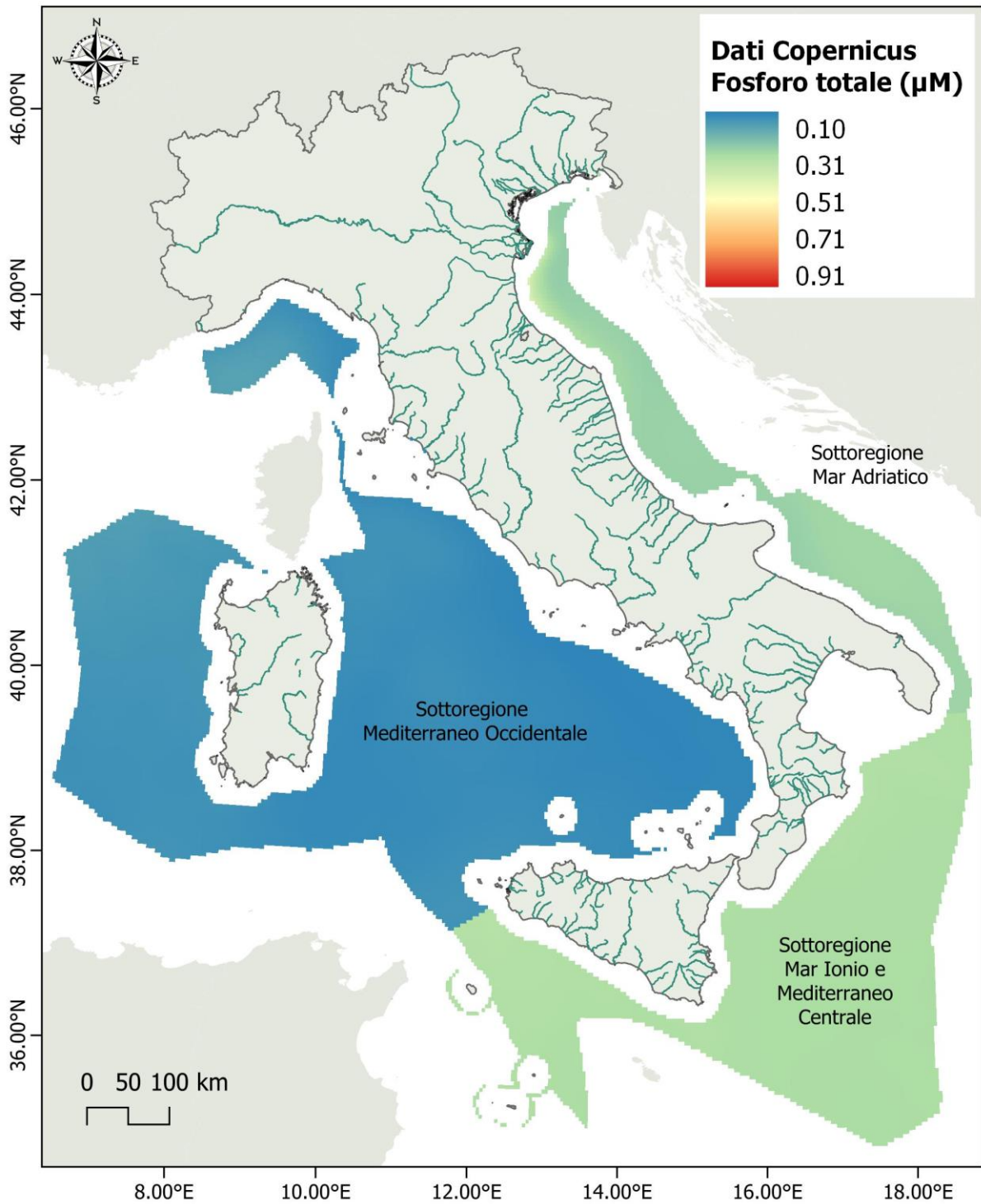


Figura 35: Media sul periodo 2018-2020 della concentrazione superficiale di TP predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.

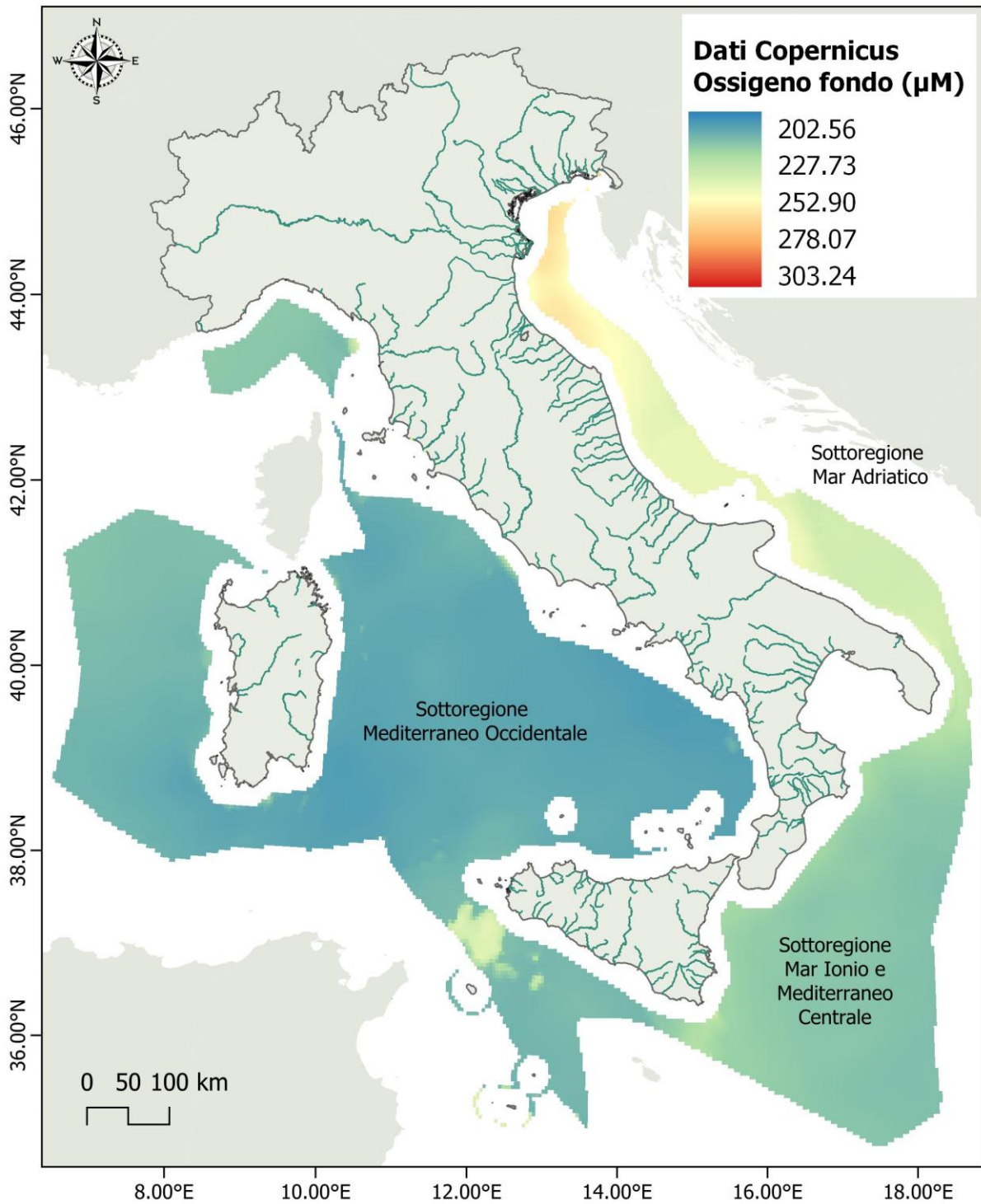


Figura 36: Media sul periodo 2018-2020 della concentrazione dell'ossigeno disciolto di fondo predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.

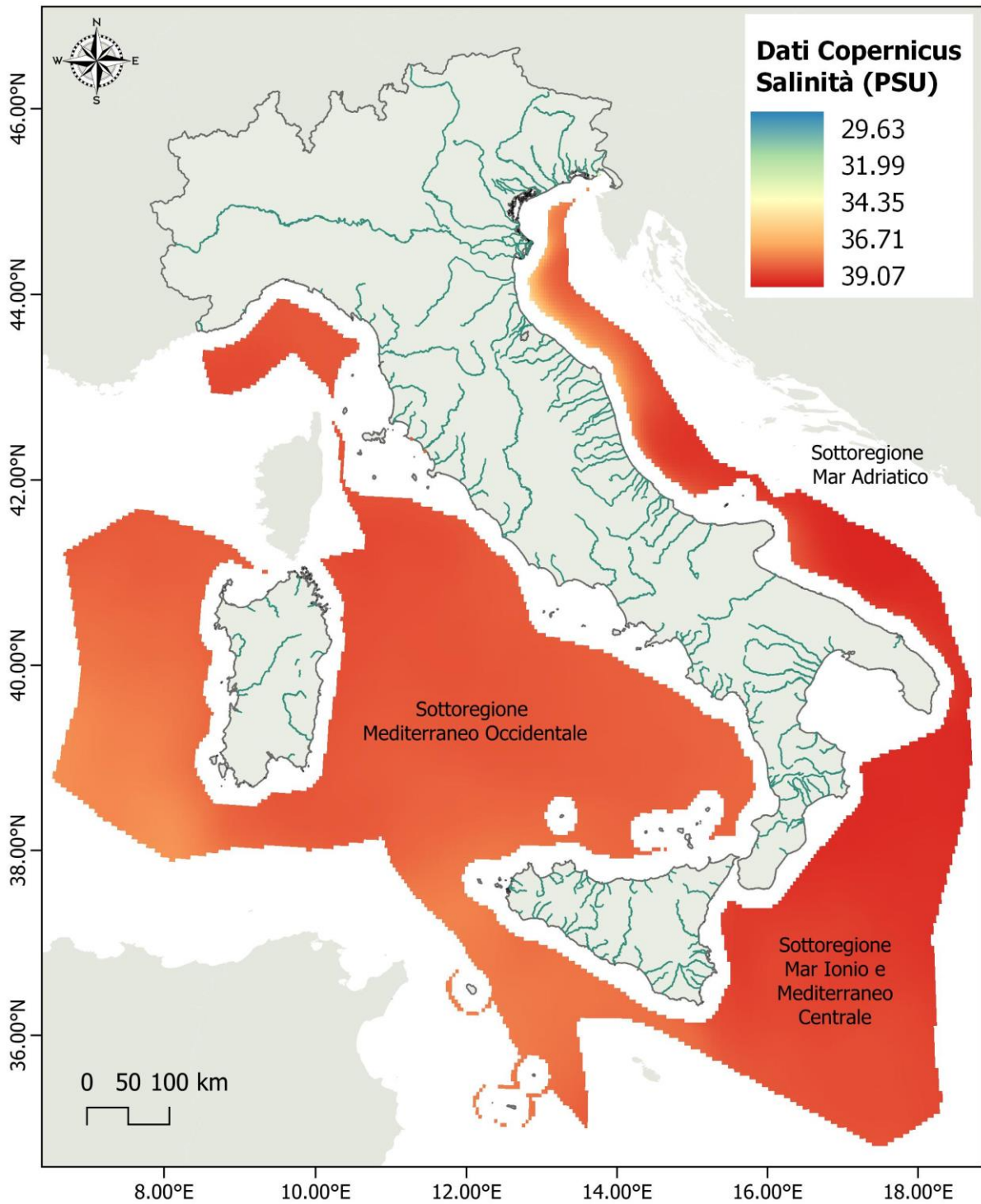


Figura 37: Media sul periodo 2018-2020 della salinità superficiale predetta dal modello CMS per l'area dal limite delle acque territoriali al limite della zona economica esclusiva italiana.



## 6 APPLICAZIONE DI SOGLIE GES/NO GES ALLE ACQUE MARINE ITALIANE

### 6.1 Soglie per GES e scelta di un indice multiparametrico

Nel corso della prima convenzione sono state identificate dalla bibliografia o derivate dai dati disponibili per l'Adriatico soglie specifiche per ogni Water Type degli indicatori dei tre criteri primari del descrittore D5 presi in considerazione (Giani et al., 2021). Nel presente lavoro abbiamo applicato queste stesse soglie ai Water Types dell'Adriatico. Per la sottoregione Mediterraneo Occidentale per la clorofilla superficiale e la concentrazione di TP abbiamo applicato le soglie individuate in Giovanardi et al., 2018 per acque di tipo II e III del Tirreno. La stessa cosa è stata fatta per le acque della sottoregione Ionio in considerazione del fatto che le caratteristiche di queste due sottoregioni sono più simili tra di loro che non con l'Adriatico. Per il DIN (ovvero per la somma del NO<sub>3</sub> e del NH<sub>4</sub> come proxy del DIN) e per la concentrazione di ossigeno al fondo abbiamo applicato sia nella sottoregione Mediterraneo Occidentale, sia nella sottoregione Ionio, le stesse soglie individuate per Water Type dell'Adriatico da Giani et al. (2021). Nella Tabella 14 sono riportati i valori soglia GES/no GES applicati in questo studio, mentre nelle Tabelle 15-18 questi valori sono confrontati con valori soglia individuati in letteratura o utilizzati da altri paesi del Mediterraneo per la valutazione dello stato ecologico del mare secondo la MSFD (2008/56/EC).

Tabella 14: Valori soglia per singolo indicatore dei criteri primari per il descrittore D5 della MSFD applicati in questo studio per sottoregione marina e Water Type.

Sottoregione	Tipologia acque	Indicatore	GES/no GES	Riferimento
Adriatico	Water Type I	CHLA	5 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Adriatico	Water Type IIA	CHLA	1.5 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Adriatico	Water Type IIIA	CHLA	0.64 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Ionio	Water Type II	CHLA	1.2 µg L <sup>-1</sup>	Water Type IIW
Ionio	Water Type III	CHLA	0.48 µg L <sup>-1</sup>	Water Type IIIW
Med. Occ.	Water Type IIW	CHLA	1.2 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Med. Occ.	Water Type IIIW	CHLA	0.48 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Sottoregione	Tipologia acque	Indicatore	GES/no GES	Riferimento
Adriatico	Water Type I	NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub>	15.6 µmol L <sup>-1</sup> (DIN)	Giani et al. (2021)
Adriatico	Water Type IIA	NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub>	6.9 µmol L <sup>-1</sup> (DIN)	Giani et al. (2021)
Adriatico	Water Type IIIA	NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub>	1.6 µmol L <sup>-1</sup> (DIN)	Giani et al. (2021)
Ionio	Water Type II	NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub>	6.9 µmol L <sup>-1</sup> (DIN)	Water Type IIA
Ionio	Water Type III	NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub>	1.6 µmol L <sup>-1</sup> (DIN)	Water Type IIIA
Med. Occ.	Water Type IIW	NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub>	6.9 µmol L <sup>-1</sup> (DIN)	Water Type IIA
Med. Occ.	Water Type IIIW	NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub>	1.6 µmol L <sup>-1</sup> (DIN)	Water Type IIIA
Sottoregione	Tipologia acque	Indicatore	GES/no GES	Riferimento
Adriatico	Water Type I	TP	0.66 µmol L <sup>-1</sup>	Giani et al. (2021)
Adriatico	Water Type IIA	TP	0.42 µmol L <sup>-1</sup>	Giani et al. (2021)
Adriatico	Water Type IIIA	TP	0.26 µmol L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Ionio	Water Type II	TP	0.76 µmol L <sup>-1</sup>	Water Type IIW
Ionio	Water Type III	TP	0.35 µmol L <sup>-1</sup>	Water Type IIIW
Med. Occ.	Water Type IIW	TP	0.76 µmol L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al., 2018
Med. Occ.	Water Type IIIW	TP	0.35 µmol L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al., 2018
Sottoregione	Tipologia acque	Indicatore	GES/no GES	Riferimento
Adriatico	Water Type I	O <sub>2</sub> di fondo	134 µmol L <sup>-1</sup>	Giani et al. (2021)
Adriatico	Water Type IIA	O <sub>2</sub> di fondo	180 µmol L <sup>-1</sup>	Giani et al. (2021)
Adriatico	Water Type IIIA	O <sub>2</sub> di fondo	211 µmol L <sup>-1</sup>	Giani et al. (2021)
Ionio	Water Type II	O <sub>2</sub> di fondo	180 µmol L <sup>-1</sup>	Water Type IIA
Ionio	Water Type III	O <sub>2</sub> di fondo	211 µmol L <sup>-1</sup>	Water Type IIIA
Med. Occ.	Water Type IIW	O <sub>2</sub> di fondo	180 µmol L <sup>-1</sup>	Water Type IIA
Med. Occ.	Water Type IIIW	O <sub>2</sub> di fondo	211 µmol L <sup>-1</sup>	Water Type IIIA



L'indicatore clorofilla è il parametro per il quale esistono più riferimenti e c'è stato più coordinamento tra i paesi membri per quanto riguarda l'individuazione di soglie. Le soglie applicate in questo studio e identificate da Giovanardi et al. (2018) separatamente per diversi Water Type, sono simili ma più basse di quelle applicate per la strategia marina in Francia (Lefebvre & Devreker, 2020). La Slovenia e la Croazia applicano le stesse soglie individuate da Giovanardi et al. (2018) per i WT dell'Adriatico nelle aree di competenza. Il limite individuato dalla Grecia, e applicato anche per Malta per acque offshore oligotrofiche, è molto vicino al limite applicato in questo studio per il WT III nelle sottoregioni Mediterraneo Occidentale e Ionio, e un po' più basso di quello applicato in questo studio alle acque di tipo III in Adriatico. Si nota quindi una sostanziale corrispondenza tra i limiti utilizzati in questo studio e la prassi in altri paesi europei.

Tabella 15: Confronto tra i valori soglia GES/no GES per la clorofilla superficiale per i paesi EU del Mediterraneo.

Stato	Ambito territoriale	Tipologia acque	GES/no GES	Riferimento
Francia	Mediterraneo occidentale	Intermediate area (1 – 12 nm)	2 µg L <sup>-1</sup>	Lefebvre & Devreker, 2020
Francia	Mediterraneo occidentale	Offshore area (12 nm – limite EEZ)	1.44 µg L <sup>-1</sup>	Lefebvre & Devreker, 2020
Italia	Tirreno	Water Type II W	1.2 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al., 2018
Italia	Tirreno	Water Type III W	0.48 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al., 2018
Italia	Adriatico	Water Type I	5 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Italia	Adriatico	Water Type II A	1.5 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Italia	Adriatico	Water Type III A	0.64 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Slovenia	Adriatico	Water Type II A	1.5 µg L <sup>-1</sup>	UNEP/MAP/MED POL (2016)
Croazia	Adriatico	Water Type II A	1.5 µg L <sup>-1</sup>	European Commission (2018)
Croazia	Adriatico	Water Type III A	0.64 µg L <sup>-1</sup>	Giovanardi et al. (2018)
Malta	Mediterraneo centrale	Water Type III E	0.53 µg L <sup>-1</sup>	European Commission (2018)
Grecia	Mediterraneo orientale	Water Type III E	0.53 µg L <sup>-1</sup>	European Commission (2018)

L'indicatore azoto inorganico è quello per il quale invece c'è il minore accordo in bibliografia e nell'applicazione della MSFD tra i diversi paesi membri del Mediterraneo. Non sono solo le soglie ad essere sensibilmente diverse, ma anche lo specifico parametro a cui sono associate. In alcuni casi, infatti, la soglia è riportata alla concentrazione del solo ione nitrato (Francia, Slovenia); Malta ha individuato due soglie, una per il nitrato, l'altra per l'ammonio; nel rapporto Giani et al. (2021) della precedente convenzione per l'Adriatico sono state individuate soglie in funzione della concentrazione del DIN cioè della somma di NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e NH<sub>4</sub>; la Croazia propone di valutare questo indicatore come concentrazioni soglia di TIN (Total Inorganic Nitrogen); mentre in Grecia è applicato un indice di eutrofizzazione espresso in funzione non solo delle concentrazioni delle tre forme inorganiche di azoto, ma anche dello ione fosfato e della concentrazione di clorofilla (Primpas et al., 2010). A fronte di questo è difficile fare confronti tra le soglie applicate qui e quelle proposte altrove. Tuttavia, le soglie individuate per l'Adriatico per le WT II e WT III sono significativamente più basse di quelle applicate in Francia rispettivamente per l'Intermediate Area e l'Offshore Area. D'altra parte, la soglia per il WT II A è significativamente più alta di quella applicata in Slovenia per la stessa tipologia di acque. Infine, la soglia applicata per il WT III in tutte le sottoregioni marine in questo studio è notevolmente più alta alle due soglie proposte per Malta, così come alla somma delle due soglie. Le soglie della Croazia e per la Grecia risultano virtualmente impossibili da confrontare con le altre. Per questo indicatore sarebbe quindi urgente un'intercalibrazione a livello europeo per definire quale forma dell'azoto (o combinazione di forme di azoto) è più appropriata e per raggiungere un consenso sui valori caratteristici per le diverse tipologie di acque.

Tabella 16: Confronto tra i valori soglia GES/no GES per l'azoto inorganico per i paesi EU del Mediterraneo.

Stato	Ambito territoriale	Tipologia acque	GES/no GES	Riferimento
Francia	Mediterraneo occidentale	Intermediate area (1 – 12 nm)	20.3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (NO <sub>3</sub> )	Lefebvre & Devreker, 2020
Francia	Mediterraneo occidentale	Offshore area (12 nm – limite EEZ)	8.7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (NO <sub>3</sub> )	Lefebvre & Devreker, 2020
Italia	Adriatico	Water Type I	15.6 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (DIN)	Giani et al. (2021)
Italia	Adriatico	Water Type II A	6.9 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (DIN)	Giani et al. (2021)
Italia	Adriatico	Water Type III A	1.6 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (DIN)	Giani et al. (2021)
Slovenia	Adriatico	Water Type II A	35 $\mu\text{g L}^{-1}$ (N-NO <sub>3</sub> ) (2.50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	MOPRS (2022)
Croazia	Adriatico	Acque con SAL < 36	15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TIN)	VRH (2013)
Croazia	Adriatico	Acque con SAL > 36	10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TIN)	VRH (2013)
Malta	Mediterraneo centrale	Tutte le acque marine	0.30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (N-NO <sub>3</sub> ) 0.30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (NH <sub>4</sub> )	ERA (2020)
Grecia	Mediterraneo orientale	Tutte le acque marine	0.38 Eutrophication index (PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , Chla)	Primpas et al., 2010
Grecia	Mediterraneo orientale	MED III GR	0.69-2.8 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TN)	Salas Herrero et al. (2019)

Per l'indicatore legato al fosforo la situazione è migliore rispetto all'azoto in quanto nella maggior parte dei casi le soglie sono state identificate in funzione delle concentrazioni di PO<sub>4</sub> o TP. In alcuni paesi (Slovenia, Croazia, Malta) sono state proposte soglie per entrambi questi due parametri ed entrambi sono utilizzati nella valutazione del GES. In Grecia, come già ricordato sopra, è applicato un indice di eutrofizzazione unico che tiene conto di due dei tre criteri primari per il D5. Nella precedente convenzione per le acque WT I e WT II dell'Adriatico sono state individuate soglie di TP diverse da quelle individuate in Giovanardi et al. (2018), è cioè una soglia più alta per WT I e una soglia più bassa per WT II. Questa seconda è quasi identica a quella applicata in Slovenia per la stessa tipologia di acqua e leggermente più bassa di quella applicata in Croazia. Per le acque offshore ovvero di tipo III, la soglia per l'Adriatico è inferiore a quella per il Mediterraneo Occidentale (applicata nel presente studio anche per lo Ionio). La soglia proposta per le acque di Malta si situa tra le due applicate nel presente studio, ovvero è più alta di quella dell'Adriatico, ma più bassa di quella del Mediterraneo Occidentale.

Tabella 17: Confronto tra i valori soglia GES/no GES per il fosforo per i paesi EU del Mediterraneo.

Stato	Ambito territoriale	Tipologia acque	GES/no GES	Riferimento
Francia	Mediterraneo occidentale	Intermediate area (1 – 12 nm)	0.56 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (PO <sub>4</sub> )	Lefebvre & Devreker, 2020
Francia	Mediterraneo occidentale	Offshore area (12 nm – limite EEZ)	0.24 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (PO <sub>4</sub> )	Lefebvre & Devreker, 2020
Italia	Tirreno	Water Type II W	0.76 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Giovanardi et al., 2018
Italia	Tirreno	MED IIA IT Tyrrhenian	0.42 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Salas Herrero et al. (2019)
Italia	Tirreno	Water Type III W	0.35 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Giovanardi et al., 2018
Italia	Adriatico	Water Type I	0.55 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Giovanardi et al. (2018)
Italia	Adriatico	Water Type I	0.66 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Giani et al. (2021)
Italia	Adriatico	Water Type II A	0.48 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Giovanardi et al. (2018)
Italia	Adriatico	Water Type II A	0.42 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Giani et al. (2021)
Italia	Adriatico	MED IIA IT Adriatic	0.58 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Salas Herrero et al. (2019)
Italia	Adriatico	Water Type III A	0.26 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP)	Giovanardi et al. (2018)
Slovenia	Adriatico	Water Type II A	13 $\mu\text{g L}^{-1}$ (P-TP) (0.4 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) 4.6 $\mu\text{g L}^{-1}$ (P-PO <sub>4</sub> ) (0.12 $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	UNEP/MAP/MED POL (2016)
Croazia	Adriatico	Tutte le acque marine	0.6 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (P-TP) 0.25 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (P-PO <sub>4</sub> )	EU 2018/229
Malta	Mediterraneo centrale	Tutte le acque marine	0.30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (TP) 0.06 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (PO <sub>4</sub> )	ERA (2020)
Grecia	Mediterraneo orientale	Tutte le acque marine	0.38 Eutrophication index (PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , Chla)	Primpas et al. (2010)



Per quanto riguarda l'ossigeno disciolto di fondo, al di là delle diverse unità di misura con cui sono proposte le soglie in bibliografia ovvero applicate nei diversi paesi del Mediterraneo, in Francia, Slovenia e Croazia si fa riferimento al limite tra ipossia e anossia da letteratura scientifica (Diaz & Rosenberg, 1995; OC, 2009), anche se la specifica soglia risulta leggermente diversa tra i tre paesi. Malta è l'unico paese che riporta la soglia come percentuale di saturazione di ossigeno, mentre per la Grecia non è stato possibile trovare il valore soglia applicato. In Giani et al. (2021) in base ai dati disponibili per l'Adriatico sono state individuate tre soglie per tre tipologie di acque. Fatte le dovute conversioni, tali soglie sono per tutti e tre le tipologie di acque più alte del citato limite tra ipossia ed anossia, ma sono state applicate in questo lavoro per coerenza con il lavoro svolto in Giani et al. (2021). L'unica problematicità di tali soglie è che potrebbero non essere applicabili a profondità batiali od abissali. È anche dubbia l'utilità di stimare il livello di ossigeno disciolto per tali profondità in quanto probabilmente poco impattanti sulla qualità complessiva della colonna d'acqua.

Tabella 18: Confronto tra i valori soglia GES/no GES per l'ossigeno disciolto di fondo per i paesi EU del Mediterraneo.

Stato	Ambito territoriale	Tipologia acque	GES/no GES	Riferimento
Francia	Mediterraneo occidentale	Tutte le acque marine	3 mg L <sup>-1</sup> (2.1 ml L <sup>-1</sup> )	OC (2009)
Italia	Adriatico	Water Type I	134 μmol L <sup>-1</sup> (4.30 mg L <sup>-1</sup> ; 3 mL L <sup>-1</sup> )	Giani et al. (2021)
Italia	Adriatico	Water Type II A	180 μmol L <sup>-1</sup> (5.71 mg L <sup>-1</sup> ; 4 mL L <sup>-1</sup> )	Giani et al. (2021)
Italia	Adriatico	Water Type III A	211 μmol L <sup>-1</sup> (6.71 mg L <sup>-1</sup> ; 4.7 mL L <sup>-1</sup> )	Giani et al. (2021)
Slovenia	Adriatico	Water Type II A	2 mg L <sup>-1</sup> (1.4 ml L <sup>-1</sup> )	Diaz & Rosenberg (1995)
Croazia	Adriatico	Tutte le acque marine	2 ml L <sup>-1</sup> (2.86 mg L <sup>-1</sup> )	Diaz & Rosenberg (1995)
Malta	Mediterraneo centrale	Tutte le acque marine	80% saturazione ossigeno al fondo	UNEP/MAP (2015)
Grecia	Mediterraneo orientale		?	

La logica della MSFD (2008/56/EC) prevede che per i descrittori multiparametrici si giunga ad una valutazione complessiva basata su tutti gli indicatori considerati. Anche in questo caso la prassi adottata nei vari paesi membri del Mediterraneo varia considerevolmente. Alcuni paesi come la Slovenia, la Croazia e Malta effettuano la valutazione per ogni campionamento e aggregano il risultato su periodi più lunghi in base al numero di volte che ogni stazione di campionamento era sopra o sotto la soglia per ogni parametro. In Francia, il metodo proposto da Lefebvre & Devreker (2020) prevede una valutazione per tutto il periodo di riferimento per ogni area in cui è stato suddiviso il dominio. L'integrazione avviene contando il numero di criteri che superano/non superano la soglia. In Grecia (Pavlidou et al., 2019) è applicato il metodo NEAT (Nested Environmental status Assessment Tool (NEAT; Borja et al., 2016)) che è stato proposto anche per Malta (Borja et al., 2021).

Un approccio del tipo one out-all out è troppo semplicistico, riducendo tutta la valutazione ad un singolo parametro. In questo studio si è fatta una considerazione in particolar modo sulla qualità dei dati su cui si è lavorato. Da quanto esposto sopra tra gli indicatori primari considerati, la clorofilla risulta un parametro caratterizzato da grande affidabilità e qualità, tanto nei dati osservati che nel modello CMS. I nutrienti soffrono la grande dinamicità delle aree ad influenza diretta degli apporti fluviali, che sono difficili da modellare e per i quali la frequenza di campionamento nel tempo dovrebbe essere maggiore. Inoltre, sono stati espressi dubbi sul posizionamento dei transetti in diverse sottoregioni marine e quindi sulla loro capacità di rappresentare le caratteristiche medie delle acque di singoli bacini. Infine, il TP in questo studio è stato ricostruito con equazioni derivanti da regressioni tra TP e PO<sub>4</sub> i cui R<sup>2</sup> si aggirano intorno allo 0.50 e i cui grafici diagnostici sollevano dubbi sulla qualità della relazione individuata. In particolare, per l'Adriatico e lo Ionio l'equazione di conversione sovrastima sistematicamente il valore di TP. Tutto ciò introduce un ulteriore



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

approssimazione nei valori di TP e, tra tutti i parametri nel nostro caso il TP, è quello meno affidabile. Infine, per il DO di fondo non sempre erano disponibili misure prese sul fondale, soprattutto laddove il fondale è molto profondo. Per questa ragione il bias correction è stato applicato solo nella sottoregione Adriatico. Potenzialmente, potrebbe essere applicato anche nelle altre sottoregioni almeno sopra la piattaforma continentale.

Considerato tutto questo si è proceduto alla determinazione di pesi per ognuno dei criteri e cioè: 35% per la clorofilla, 35% complessivamente per il criterio D5C1 (nutrienti), e 30% per l'ossigeno di fondo. Nel criterio D5C1 per i due indicatori utilizzati si è scelto di pesare 20% la somma di  $\text{NH}_4$  e  $\text{NO}_3$  (proxy per il DIN), e 15% il TP. Per ogni indicatore si è quindi proceduto a valutare se la sua media in ogni cella del dominio su tutto il periodo di valutazione 2018-2020 fosse uguale o superiore alla soglia (no GES) o inferiore alla soglia (GES) (nel caso dell'ossigeno disciolto ovviamente si è valutato come GES quando il valore era superiore alla soglia, e no GES quando era inferiore). La combinazione delle valutazioni in un unico indice è stata fatta pesando ogni indicatore per i pesi sopra esposti e sommando il totale. Se il totale era uguale o superiore a 50% la cella è stata classificata come no GES, se era inferiore a 50% la cella è stata valutata come GES.

Una conseguenza del nostro approccio è che nessun parametro da solo può determinare il no GES complessivo. Servono almeno due parametri sotto la soglia del GES: ad esempio, se la clorofilla supera la soglia, qualsiasi altro parametro che la superi (o sia inferiore, nel caso dell'ossigeno disciolto), determinerà la classificazione del sistema come no GES. Anche la combinazione dell'ossigeno disciolto con l'azoto inorganico può far classificare il sistema come no GES, anche se gli altri due parametri sono GES. Se entrambi i due nutrienti sono sopra la soglia per il no GES, il sistema viene valutato come GES: questo riflette la minore affidabilità nel nostro dataset di questi dati, ma anche che un arricchimento in nutrienti che non abbia ancora prodotto una fioritura fitoplanctonica, o non abbia causato un impoverimento di ossigeno al fondo, è un fenomeno che allo stato attuale non ha ancora causato conseguenze impattanti per il sistema. Infine, il TP può far uscire il sistema dal GES solo se assommato ad un superamento della soglia anche per la clorofilla.

Tale approccio, sebbene specifico per il caso di studio in esame, non è lontano né da un metodo non pesato, né da un metodo di pesatura basato su considerazioni ecologiche. Infatti, se tutti i descrittori fossero pesati allo stesso modo il loro peso sarebbe 33%, e i due indicatori D5C1 avrebbero ognuno un peso di 16.5%. Nel nostro caso gli indicatori D5C1 e D5C2 (clorofilla) sono leggermente sovrappesati, mentre il D5C5 (DO) è leggermente sottopesato.

Una pesatura ecologica deve invece tener conto del diverso significato degli indicatori utilizzati. I nutrienti inorganici sono un precursore degli effetti dell'eutrofizzazione, cioè l'arricchimento di nutrienti può portare ad uno sviluppo di biomassa organica se sono soddisfatte anche altre condizioni (luce, temperatura, stabilità del sistema). Peraltro, il TP da questo punto di vista è un parametro difficile da interpretare in quanto somma l'arricchimento da fosforo inorganico (che a sua volta può essere un prodotto "fresco", cioè proveniente da apporti terrigeni, oppure un prodotto della rimineralizzazione di sostanza organica) con la presenza di altre forme di fosforo, incluso fosforo organico particolato e disciolto. Anche il fosforo organico può essere di origine terrestre (dilavamento, scarichi antropici), oppure il prodotto di attività biotiche nel mare, complicando quindi notevolmente l'interpretazione della sua dinamica. Considerato inoltre che gli indicatori per il criterio D5C1 sono due, è ragionevole che il peso complessivo del criterio sia più alto di quanto non lo fosse senza pesatura. In presenza di dati di qualità omogenea però la pesatura specifica dei due indicatori



# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

all'interno del D5C1 potrebbe essere diversa, possibilmente uguale, o in Mediterraneo, vista la generale limitazione da fosforo, con un peso maggiore per quest'ultimo indicatore.

La clorofilla è il sintomo più evidente e più facilmente interpretabile dell'eutrofizzazione. Inoltre, è un parametro facilmente monitorabile, anche da remoto. Anche per questo criterio è ragionevole che pesi di più rispetto al caso in cui tutti i criteri siano pesati allo stesso modo.

Infine, per quanto riguarda l'ossigeno di fondo, è un indicatore di una fase matura o persino in regressione dell'eutrofizzazione, in quanto un impoverimento di ossigeno al fondo è tipicamente osservato dopo i picchi massimi di produzione primaria. Tuttavia, sebbene sia un parametro importante per valutare lo stato ecologico in acque poco profonde, stimare tale parametro per profondità batiali o abissali ed includerlo in un indice multiparametrico basato anche su valori superficiali non sembra del tutto motivato. Quindi assegnare un peso inferiore a questo indicatore potrebbe essere ragionevole anche in presenza di dati adeguati a stimarlo in tutto il dominio di interesse.

## 6.2 Valutazione per singoli indicatori per le acque costiere

Nelle Figg. 38-41 sono riportate le valutazioni GES/no GES per singolo indicatore del descrittore 5 della MSFD (2008/56/EC).

Per quanto riguarda la clorofilla sia applicando l'indice multiparametrico ai dati da modello CMS non corretti, sia applicandolo ai dati con bias correction, la stragrande maggioranza delle acque marine entro il limite delle 12 miglia nautiche ricade nel GES. Dopo il bias correction si osserva una fascia di no GES nell'Adriatico settentrionale al largo del delta del Po. Questo effetto è dovuto all'applicazione di soglie diverse al confine tra Water Type di tipo diverso. È evidente che i gradienti in mare sono gradualmente, quindi l'applicazione di soglie diverse a tipologie definite in base a valori di salinità possono portare a effetti simili. In piccolo, lo stesso effetto si nota al largo dell'estuario dell'Arno sulla mappa dei dati CMS non corretti.

Per la somma  $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$  il bias correction cambia notevolmente le aree GES e no GES. Infatti, con i dati non corretti la maggior parte dell'Adriatico risulta no GES per questo indicatore, con poche zone analoghe in Mediterraneo Occidentale, prospicienti le foci di fiumi. Dopo il bias correction, i valori risultano sotto la soglia no GES nella maggior parte dell'Adriatico, sforandola invece in tutto lo Ionio (dove la soglia applicata è più bassa). In Mediterraneo Occidentale si allargano le aree no GES prospicienti gli estuari di fiumi e compaiono aree no GES in Sardegna e Sicilia. Come già detto più volte, il bias correction fatto in base a dati raccolti con un piano sperimentale non rappresentativo (nello spazio) o sufficientemente denso (nel tempo) ha come conseguenza un innalzamento in tutta la sottoregione Ionio e in quella del Mediterraneo Occidentale dei valori di azoto inorganico.

Anche le mappe del GES/no GES per il TP differiscono molto tra il dato del modello CMS, in cui i valori di  $\text{PO}_4$  sono stati trasformati in TP con l'equazione ottenuta in questo studio, e la mappa con il bias correction applicato. Mentre la maggior parte dell'Adriatico sud e una fascia al largo del delta del Po sono no GES in entrambi i casi, lo Ionio appare completamente no GES dopo l'applicazione della correzione: indubbiamente questo è dovuto alla scarsa rappresentatività dei dati osservati e a tutti i dati mancanti per quest'area. Per il Mediterraneo Occidentale la correzione porta solo all'evidenziarsi di alcune fasce no GES al largo delle foci dell'Arno e del Serchio in Toscana, e del Tevere in Lazio. Questi valori sono ragionevoli, ma le fasce che si creano sono ovviamente dovute all'applicazione di limiti diversi al confine tra WT diversi.

Nelle mappe dell'ossigeno di fondo le soglie sono state applicate sempre ai dati non corretti per le sottoregioni Mediterraneo Occidentale e Ionio, mentre per l'Adriatico sono state applicate ai dati da modello CMS e agli stessi dati dopo il bias correction. Si osservano alcune aree di no GES al largo del basso Lazio e della Campania, probabilmente in zone ad elevata profondità del fondale. Dopo la correzione, in Adriatico si osservano limitate aree no GES sottocosta in Puglia. Tutte le altre acque costiere italiane mostrano valori di ossigeno del fondo medi sul periodo in considerazione più alti delle soglie proposte per i diversi WT.

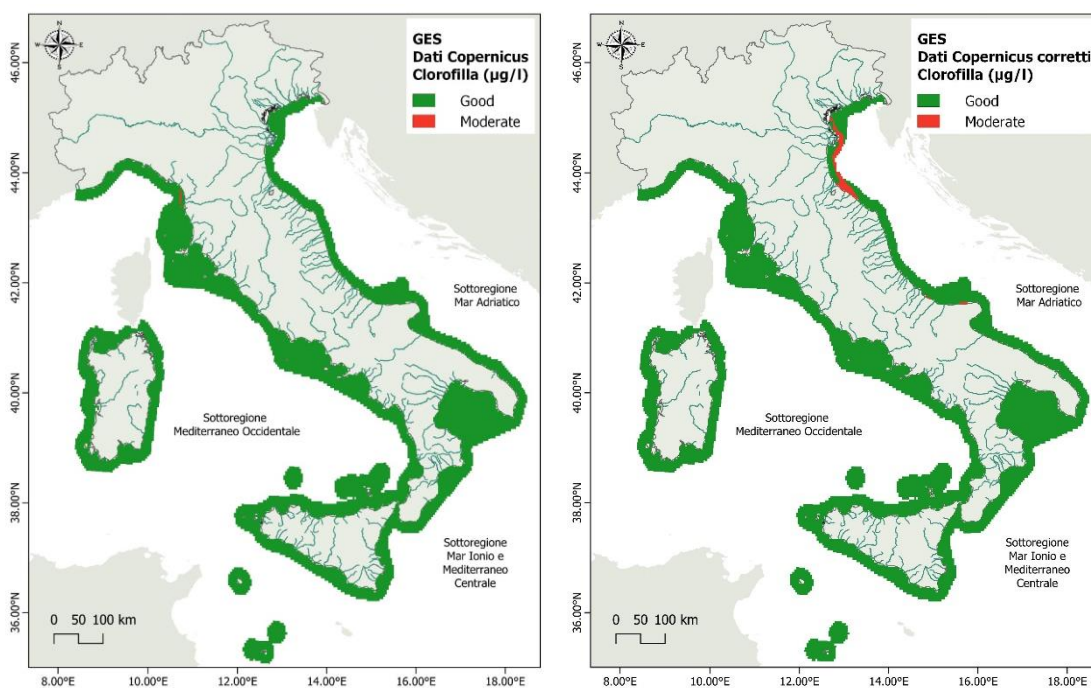


Figura 38: Valutazione GES (verde)/no GES (rosso) delle acque marine costiere per l'indicatore clorofilla superficiale calcolata sui dati del modello CMS (sinistra) e sui dati del modello CMS con bias correction applicato per sottoregione marina (destra).

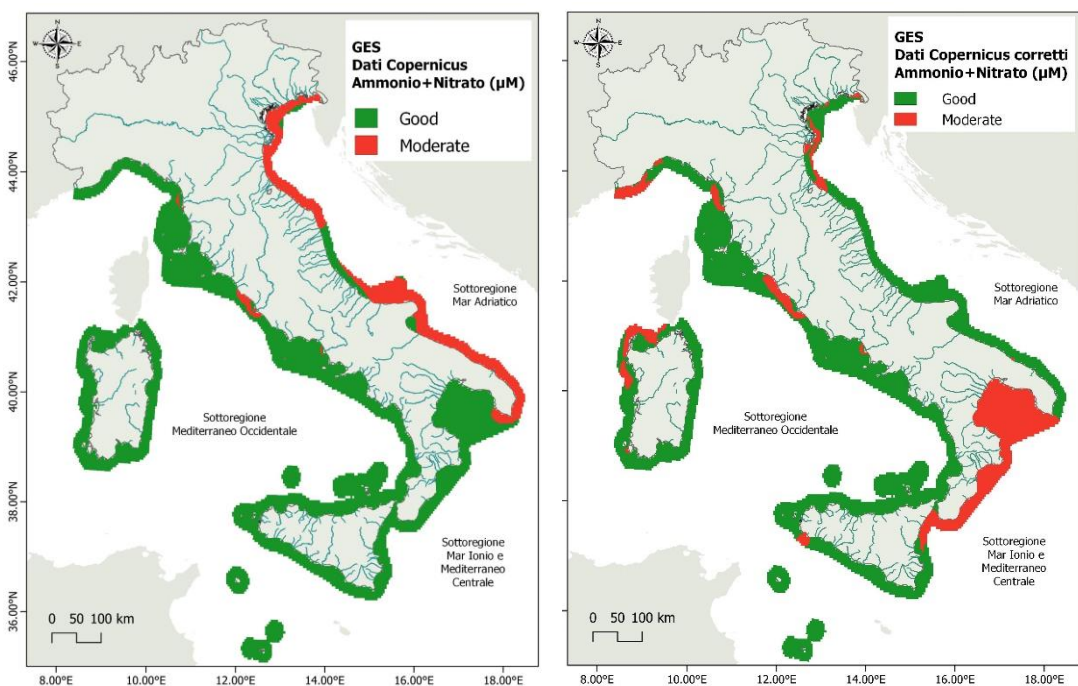
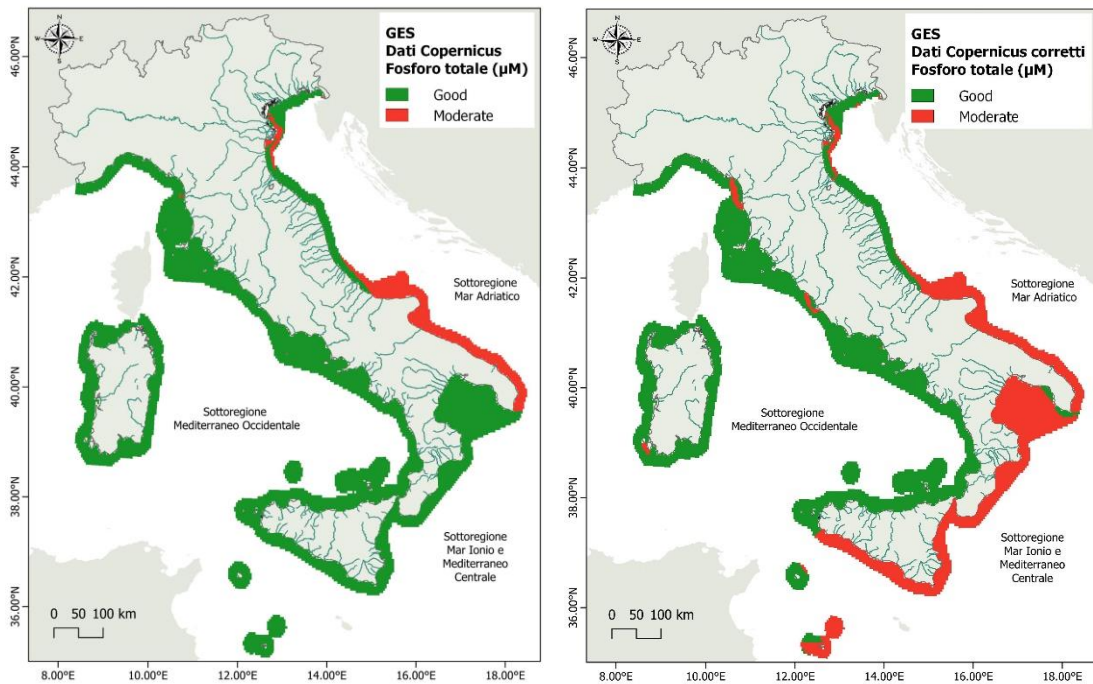
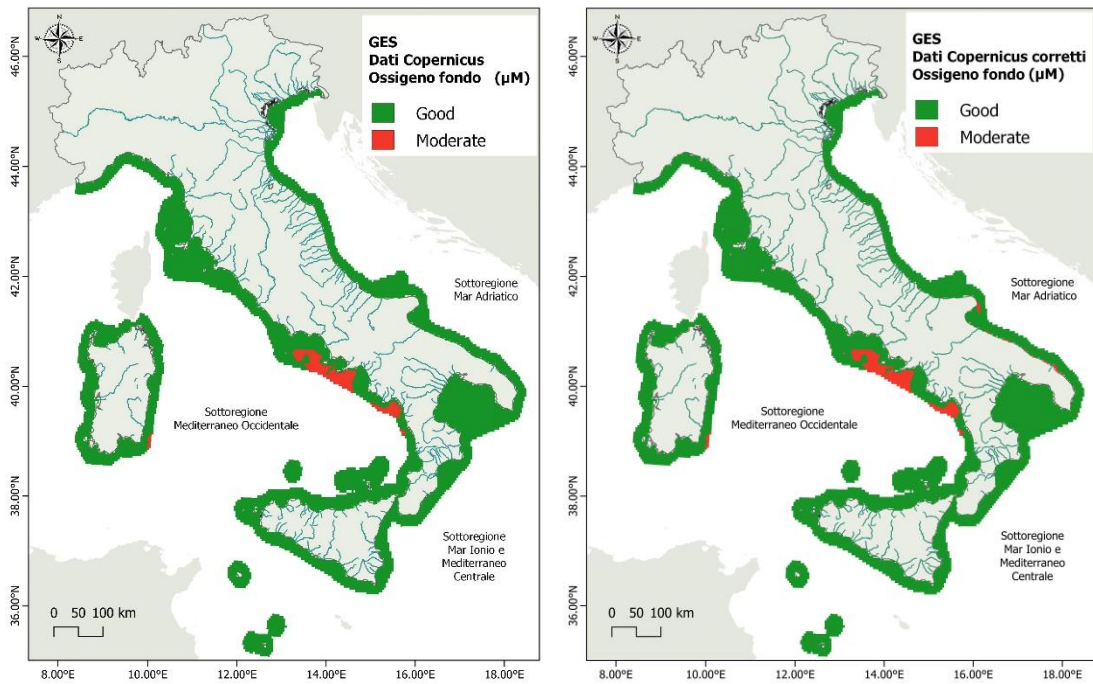


Figura 39: Valutazione GES (verde)/no GES (rosso) delle acque marine costiere per l'indicatore  $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$  superficiale calcolata sui dati del modello CMS (sinistra) e sui dati del modello CMS con bias correction applicato per sottoregione marina (destra).





40: Valutazione GES (verde)/no GES (rosso) delle acque marine costiere per l'indicatore fosforo totale superficiale calcolata sui dati del modello CMS (sinistra) e sui dati del modello CMS con bias correction applicato per sottoregione marina (destra).



Figura

Figura 41: Valutazione GES (verde)/no GES (rosso) delle acque marine costiere per l'indicatore ossigeno disciolto di fondo calcolata sui dati del modello CMS (sinistra) e sui dati del modello CMS con bias correction applicato per la sola sottoregione marina Adriatico (destra).



### 6.3 Valutazione per singoli indicatori per le acque offshore

Nelle Figg. 42-43 sono presentati i risultati dell'applicazione delle soglie GES/no GES singolarmente a tutti gli indicatori considerati per il descrittore D5 nelle acque offshore. Le acque offshore sono qui definite come le acque che si estendono dai limiti delle acque territoriali italiane (12 miglia nautiche dalla costa), fino al limite della zona economica esclusiva. Si ricorda che in assenza di dati osservati per queste aree, non è stato applicato nessun bias correction e le soglie sono state applicate direttamente alle medie sul periodo 2018-2020 del modello CMS.

Per la clorofilla tutte le acque offshore italiane sono classificate come GES.

Per l'azoto inorganico, solo in Adriatico ci sono aree consistenti classificate come no GES. L'effetto a fasce che si nota è conseguenza dell'applicazione di soglie diverse al confine tra Water Types diversi.

Anche per il TP le uniche aree no GES sono in Adriatico, dove peraltro la maggior parte del bacino è classificata così. Si ricorda che il TP è stato calcolato dal  $PO_4$  modellato dal modello CMS con l'equazione ottenuta con una regressione tra TP e  $PO_4$  sui dati osservati. Tale equazione sovrastima il TP e quindi non c'è grande confidenza nel risultato presentato nella mappa GES/no GES.

Per l'ossigeno disciolto di fondo solo aree molto profonde del Mediterraneo Occidentale sono classificate come no GES. La rilevanza ecologica di una valutazione di questo criterio per aree batiali od abissali è quantomeno dubbia.

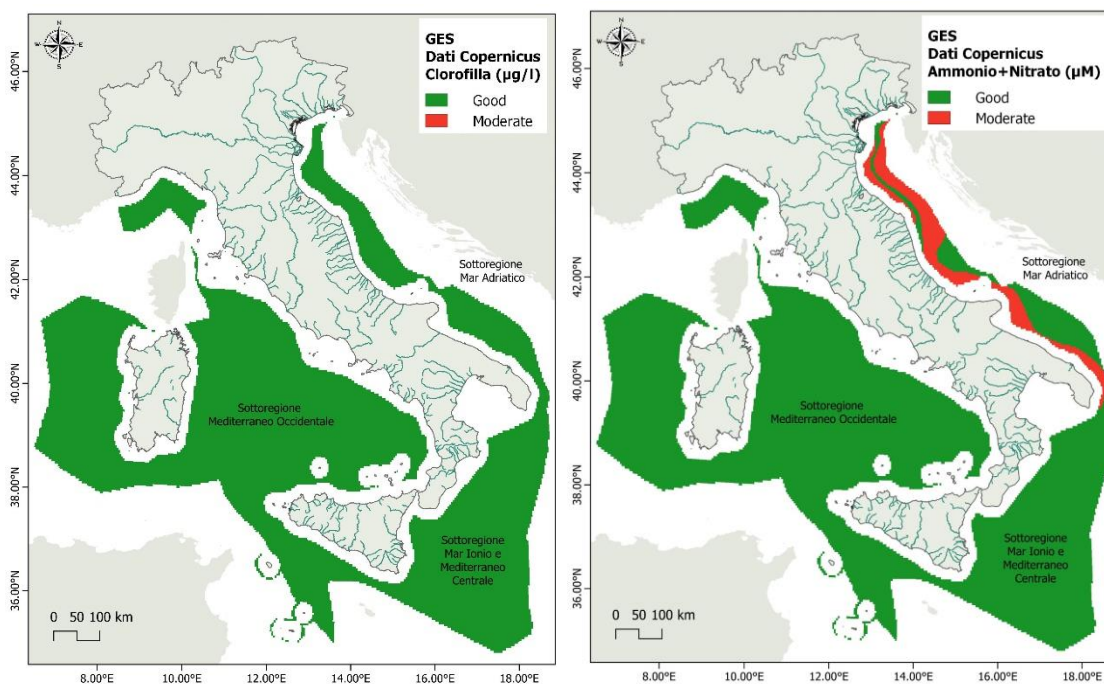


Figura 42: Valutazione GES (verde)/no GES (rosso) delle acque marine offshore per l'indicatore clorofilla superficiale (sinistra) e per l'indicatore azoto inorganico (destra) calcolata sui dati del modello CMS.

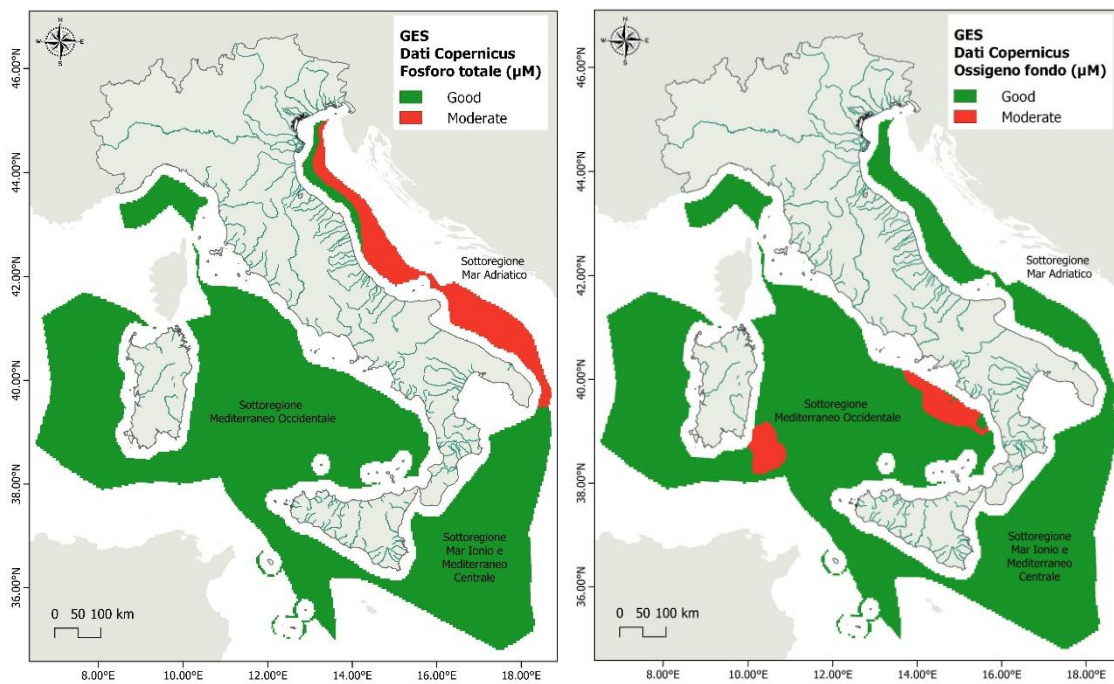


Figura 43: Valutazione GES (verde)/no GES (rosso) delle acque marine offshore per l'indicatore fosforo totale superficiale (sinistra) e ossigeno disciolto di fondo (destra) calcolata sui dati del modello CMS.

#### 6.4 Valutazione GES complessiva mari italiani

In Fig. 44 è presentato il risultato dell'applicazione dell'indice pesato multiparametrico. Si vede che per quanto riguarda le acque costiere fino a 12 miglia nautiche della costa, sui dati corretti con bias correction in base ai dati osservati solo una fascia davanti al delta del Po e due piccole aree nelle Marche e sulla costa nord del Gargano sono classificate come complessivamente no GES.

Lo stesso indice multiparametrico quando applicato ai dati da modello CMS senza alcuna correzione, sia in area costiera, sia in area offshore, classifica come no GES solo alcune celle al largo dell'estuario dell'Arno e del Serchio.

In entrambi i casi la stragrande maggioranza delle aree marine italiane ricade nel buon stato ecologico. Considerato che le mappe sono fatte sulla base di un grigliato fisso, anche un'eventuale stima della proporzione di aree no GES rispetto ad aree GES è molto facile da ottenere.

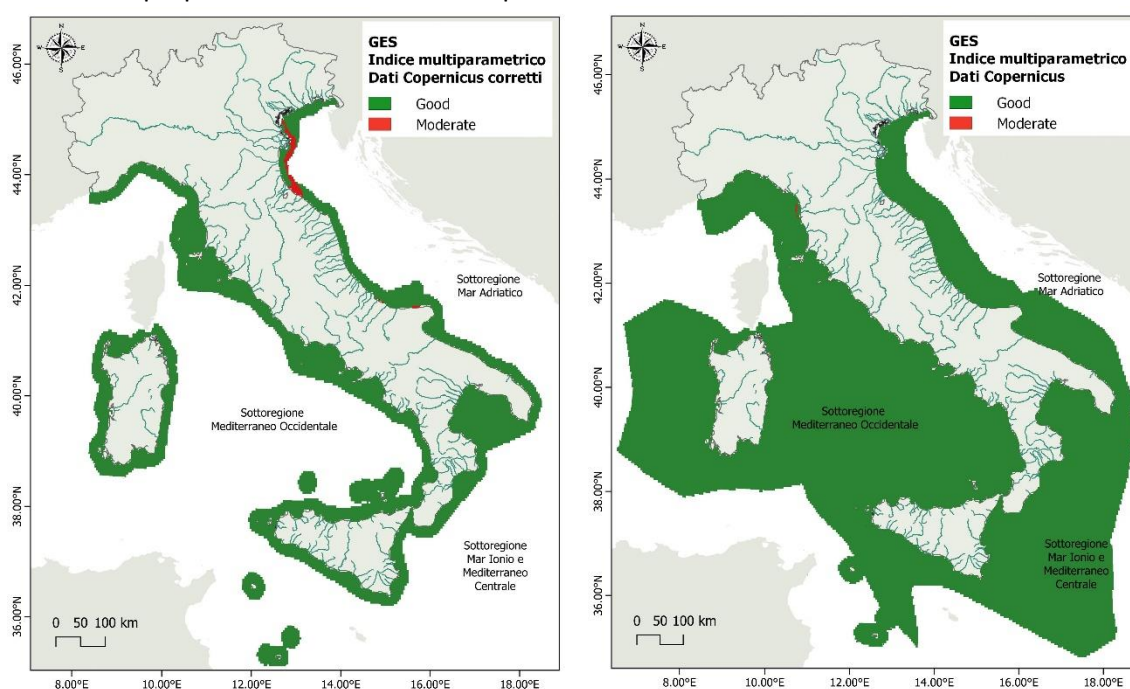


Figura 44: Applicazione degli indici multiparametrici pesati in base alle soglie per singoli indicatori del descrittore D5 per le acque costiere italiane in base ai dati CMS corretti (sinistra), e per tutte le acque di competenza italiane in base ai dati CMS non corretti (destra).

## 7 CONCLUSIONE E RACCOMANDAZIONI

Nel corso del presente studio era disponibile un dataset relativo a tre anni di campionamento, con molti mesi o aree non coperti da campionamenti. La distribuzione dei transetti di campionamento non sembra omogenea lungo tutto la costa italiana, né sembra esserci una logica comune nella scelta del loro posizionamento. In alcuni casi sembrano essere stati privilegiate acque lontano da apporti fluviali, in altri casi vicino. Molti sono i tratti di costa in cui le osservazioni sono completamente assenti. La frequenza di campionamento non è omogenea tra le regioni e nella maggior parte dei casi non sembra adeguata a catturare la dinamicità dei mari italiani. Alcuni di questi fattori sono già stati richiamati in Giani et al. (2021) limitatamente per le acque dell'Adriatico. Nel presente studio sono state rilevate problematiche nella qualità, nella rappresentatività spaziale dei dati e nella densità temporale, in particolar modo per quanto riguarda la sottoregione Ionio e quella del Mediterraneo Occidentale. Un adeguato piano di campionamenti è fondamentale per avere delle stime affidabili delle condizioni delle acque marine e per l'applicazione di metodi statistici. Un'eventuale ridefinizione delle soglie specificatamente per lo Ionio richiederebbe l'accesso ad un dataset sufficientemente rappresentativo nel tempo e nello spazio. Allo stesso modo, se per le acque definite offshore in questo studio si volesse applicare dei metodi di bias correction, servirebbero dati presi in situ anche oltre le 12 miglia nautiche dell'attuale piano di monitoraggio.

Un altro problema riguarda le misure di ossigeno disciolto al fondo. Queste sono richieste dalla MSFD in quanto si tratta di criterio primario, ma non sempre erano disponibili misure dallo strato di fondo, neanche laddove il fondale non superava i 100 metri. È evidente che senza misure di questo indicatore, il criterio non possa essere stimato, tranne ricorrendo a prodotti modellistici. Per profondità superiori, quindi all'esterno delle piattaforme continentali, si pone il dubbio sull'utilità di stimare un criterio su fondali batiali o abissali, e gli altri criteri in superficie.

L'applicazione di soglie diversificate in base alla qualità delle acque, definite sulla base dei valori della salinità o di altre caratteristiche, è un approccio seguito nella maggior parte dei paesi europei, in particolare in quelli con gradienti pronunciati nelle acque marine di loro competenza. Nel presente studio abbiamo esplorato tale possibilità e applicato le soglie per diversi WT alle acque pertinenti. Una conseguenza dell'approccio è il crearsi di artefatti spaziali nelle zone all'interfaccia tra due WT, dove la soglia cambia repentinamente, ma questo non sempre si riflette in cambiamenti analoghi dei parametri considerati. Tuttavia, l'approccio è ecologicamente fondato in quanto acque con caratteristiche tipiche molto diverse tra di loro non possono avere le stesse soglie o gli stessi stati di riferimento. Per superare il problema degli artefatti nella valutazione tra un WT e l'altro si potrebbe prevedere delle aree buffer tra un WT e l'altro, con una soglia adeguata da applicare in questi casi. È probabile che lo stesso problema non possa insorgere se la valutazione viene fatta per singole osservazioni o medie mensili da modello, nel qual caso l'appartenenza ad uno specifico WT è definita in base al valore della salinità del momento.

Un problema riscontrato in questo studio nell'applicazione del criterio dell'arricchimento in nutrienti in base ai valori del TP è stato che nel catalogo attuale di CMS non viene rilasciata la concentrazione di TP, ma solo di PO<sub>4</sub>. La soluzione adottata nel presente lavoro è sicuramente sub-ottimale in quanto introduce un errore nel calcolo del TP che si somma ad eventuali bias nella determinazione del PO<sub>4</sub> stesso. Si consiglia di richiedere al CMS il rilascio anche della variabile TP o, in alternativa, di ridefinire le soglie in funzione del PO<sub>4</sub>, indicatore applicato da diversi altri paesi EU. Allo stesso modo, si può richiedere al CMS il rilascio delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> in modo da poter ricostruire correttamente le concentrazioni del DIN.

L'utilizzo dei prodotti CMS si è rivelato utile e non presenta controindicazioni in particolare se i dati modellati possono essere opportunamente corretti in base a dati osservati. Le differenze tra valori modellati e quelli con bias correction per l'Adriatico comunque non erano grandi. Per le altre due sottoregioni per alcuni parametri invece si è osservato un effetto piuttosto grande della bias correction. Probabilmente tale effetto era dovuto ad una scelta non ottimale del posizionamento dei transetti in queste due sottoregioni, e alla bassa densità nello spazio e nel tempo dei dati osservati a disposizione. Comunque una valutazione della qualità ecologica dei mari in base allo stesso prodotto è già stata applicata in acque francesi ed offre ovvi vantaggi: la possibilità di accedere a molte diverse variabili sia fisiche sia biogeochimiche modellate dallo stesso modello; la totale copertura nello spazio, con possibilità di valutare tutte le aree di interesse senza ricorrere a interpolazioni spaziali quanto mai problematiche in ambiente costiero senza adeguata copertura spazio-temporale delle osservazioni; la possibilità di avere in input dati giornalieri, medie mensili, o medie annuali; la possibilità di accedere alla serie temporale delle rianalisi modellistiche disponibili almeno dall'inizio degli anni 2000 in poi; l'assimilazione di dati osservati di diverse variabili fisiche e biotiche. Gli svantaggi dello strumento modellistico sono: i bias sistematici del modello soprattutto in aree costiere dovuti all'uso di informazioni climatologiche per gli apporti di acque dolci, ad una descrizione non completa dei processi di scambio terra-mare e ad una descrizione semplificata della morfologia della costa; l'assenza attualmente nei modelli CMS di un modulo bentico che modelli esplicitamente le interazioni tra sedimento e acqua; l'assenza, già ricordata, di alcune variabili di interesse (p.es. TP, NO<sub>2</sub>) nel catalogo CMS attuale.

La logica stessa della MSFD richiede una valutazione in base a più criteri e più indicatori. Nel presente studio è stato messo a punto un indice multiparametrico in cui i singoli indicatori sono stati pesati in base alla qualità dei dati utilizzati ovvero della procedura di ricostruzione degli stessi. Evidentemente, in presenza di dati di maggiore qualità e senza le problematiche riscontrate, si potrebbe rivedere i pesi da applicare ai singoli indicatori. Va comunque detto che i pesi definiti nel presente studio non si discostano molto né da un caso in cui tutti i criteri siano pesati allo stesso modo, né da un caso in cui si applichino delle considerazioni basate più sul significato ecologico degli indicatori piuttosto che sulla qualità dei dati utilizzati. Altri metodi di pesatura o di integrazione delle indicazioni dei singoli indicatori possono essere proposti se ritenuto necessario, oppure l'applicazione di metodologie olistiche già utilizzate in qualche altro paese EU (p.es., il NEAT).





# OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

## 8 BIBLIOGRAFIA

Borja A., Elliott M., Andersen J.H., Berg T., Carstensen J., Halpern S., et al., (2016) Overview of integrative assessment of marine systems: the ecosystem approach in practice. *Frontiers in Marine Science*, 3: 20.doi:10.3389/fmars.2016.00020.

Borja A., Menchaca I., Garmendia J. M., Franco J., Larreta J., Sagarminaga Y., Schembri Y., González R., Antón R., Micallef T., Camilleri S., Solaun O., Uriarte A., Uyarra M. C. (2021) Big insights from a small country: The added value of integrated assessment in the marine environmental status evaluation of Malta. *Front. Mar. Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.638232>.

Coppini, G. et al. (2023) 'The Mediterranean Forecasting System – Part 1: Evolution and performance', *Ocean Science*, 19(5), pp. 1483–1516. Available at: <https://doi.org/10.5194/os-19-1483-2023>.

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

Diaz, R.J. and Rosenberg, R. (1995) 'Marine Benthic Hypoxia: A Review of Its Ecological Effects and the Behavioural Responses of Benthic Macrofauna', *Oceanography and Marine Biology*, 33, pp. 245–303.

Durante, S., Schroeder, K., Mazzei, L., Pierini, S., Borghini, M., & Sparnocchia, S. (2019). Permanent thermohaline staircases in the Tyrrhenian Sea. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1562-1570.

ERA 2020. Update on Articles 8, 9, and 10 of the Marine Strategy Framework Directive (2008/56/EC) in Malta's Marine Waters. Environment and Resources Authority. March 2020.

Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2020). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). [https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA\\_MULTYEAR\\_PHY\\_006\\_004\\_E3R1](https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTYEAR_PHY_006_004_E3R1)

Escudier, R., Clementi, E., Cipollone, A., Pistoia, J., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Aydogdu, A., Delrosso, D., Omar, M., Masina, S., Coppini G., Pinardi, N. (2021). A High Resolution Reanalysis for the Mediterranean Sea. *Frontiers in Earth Science*, 9, 1060, <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2021.702285>, DOI=10.3389/feart.2021.702285

European Commission, 2014. Directorate-General for Environment, The EU Water Framework Directive, Publications Office, 2014, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/75229>

European Commission 2018. Commission Decision (EU) 2018/229 of 12 February 2018 establishing, pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, the values of the Member State monitoring system classifications as a result of the intercalibration exercise and repealing Commission Decision 2013/480/EU.



Falco, P., Trani, M., & Zambianchi, E. (2016). Water mass structure and deep mixing processes in the Tyrrhenian Sea: Results from the VECTOR project. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*

Giani M., Kralj M., Cossarini G., Solidoro C., Bandelj V., Gianni F., Urbini L., Ferrante L., Menashé E., Partescano E., Lipizer M., 2021. *Convenzione Strategia Marina 2020, Parte 1, Descrittore 5 – Eutrofizzazione, Rapporto tecnico scientifico finale*

Giovanardi F., Francé J., Mozetič P., Precali R. 2018. Development of ecological classification criteria for the Biological Quality Element phytoplankton for Adriatic and Tyrrhenian coastal waters by means of chlorophyll a (2000/60/EC WFD). *Ecological Indicators* 93, 316-332.

Grilli, F., Accoroni, S., Acri, F., Bernardi Aubry, F., Bergami, C., Cabrini, M., ... & Cozzi, S. (2020). Seasonal and interannual trends of oceanographic parameters over 40 years in the northern Adriatic Sea in relation to nutrient loadings using the EMODnet chemistry data portal. *Water*, 12(8), 2280.

Lefebvre A., Devreker D. 2020. First Comprehensive Quantitative Multi-Parameter Assessment of the Eutrophication Status from Coastal to Marine French Waters in the English Channel, the Celtic Sea, the Bay of Biscay, and the Mediterranean Sea. *Journal of Marine Science and Engineering* 8: 561; doi:10.3390/jmse8080561.

Lipizer, M., Partescano, E., Rabitti, A., Giorgetti, A., & Crise, A. (2014). Qualified temperature, salinity and dissolved oxygen climatologies in a changing Adriatic Sea. *Ocean Science*, 10(5), 771-797.

Lipizer M., Bandelj V., Giani M., Molina Jack M.E., Jokic M., Gianni F., Coidessa G., Di Biagio V., 2021. *Convenzione Strategia Marina 2021, Parte 1, Descrittore 5 – Eutrofizzazione, Primo rapporto tecnico scientifico*

Lipizer M., Bandelj V., Querin S., Cossarini G., Molina Jack M.E., Jokic M., Gianni F., Coidessa G., Di Biagio V., 2022. *Convenzione Strategia Marina 2021, Parte 1, Descrittore 5 – Eutrofizzazione, Secondo rapporto tecnico scientifico*

Lipizer M., Molina Jack M. E., Wesslander K., Fyrberg L., Tsompanou M., Iona A., Buga L., Sarbu G., Gatti J., Larsen M. M., Giorgetti A., 2023. EMODnet Chemistry Regional sea eutrophication data collection and Quality Control loop. Pp. 39, doi: 10.13120/8XM0-5M67

MOPRS 2022. Načrt upravljanja z morskim okoljem 2022-2027, Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije.

OC, 2009. Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. Second OSPAR Integrated Report. OSPAR Commission.

Pavlidou A., Simboura N., Pagou K., Assimakopoulou G., Gerakaris V., Hatzianestis I., Panayotidis P., Pantazi M., Papadopoulou N., Reizopoulou S., Smith C., Triantaphyllou M., Uyarra M. C., Varkitzi I., Vassilopoulou V., Zeri C., Borja Á., 2019. Using a holistic ecosystem-integrated approach to assess the environmental status of Saronikos Gulf, Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators* 96, 336-350.

Primpas, I., Tsiertsis G., Karydis, M., D. Kokkoris, G.D., 2010. Principal component analysis: development of a multivariate index for assessing eutrophication according to the European water framework directive. *Ecol. Indic.* 10, 178–183.

Piani, C., Haerter, J.O. and Coppola, E. (2010) 'Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe', *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1), pp. 187–192. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0134-9>.

Salas Herrero F., Teixeira H., Poikane S. (2019). A Novel Approach for Deriving Nutrient Criteria to Support Good Ecological Status: Application to Coastal and Transitional Waters and Indications for Use. *Front. Mar. Sci.* 6:255. doi: 10.3389/fmars.2019.00255.

Simoncelli S., Oliveri P., Mattia G., 2020. SeaDataCloud Mediterranean Sea - V2 Temperature and Salinity Climatology. <https://doi.org/10.12770/3f8eaace-9f9b-4b1b-a7a4-9c55270e205a>

Simoncelli S., Oliveri P., Mattia G, Myroshnychenko V., Barth A., Troupin C., 2020. SeaDataCloud Temperature and Salinity Climatology for the Mediterranean Sea (Version 2). Product Information Document (PIDoc). <https://doi.org/10.13155/77514>

Simoncelli, S., Oliveri, P., Mattia, G., & Myroshnychenko, V., 2020. SeaDataCloud Temperature and Salinity Historical Data Collection for the Mediterranean Sea (Version 2).

Themeßl, M.J., Gobiet, A. and Leuprecht, A., 2011. 'Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models', *International Journal of Climatology*, 31(10), pp. 1530–1544. Available at: <https://doi.org/10.1002/joc.2168>.

Teruzzi, A., Di Biagio, V., Feudale, L., Bolzon, G., Lazzari, P., Salon, S., Coidessa, G., & Cossarini, G., 2021. Mediterranean Sea Biogeochemical Reanalysis (CMEMS MED-Biogeochemistry, MedBFM3 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). [https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA\\_MULTIYEAR\\_BGC\\_006\\_008\\_MEDBFM3](https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_BGC_006_008_MEDBFM3)

UNEP/MAP (2015). Report of the Online Groups on Eutrophication, Contaminants and Marine Litter. UNEP-MAP 5th Meeting of the Ecosystem Approach Coordination Group, Rome, Italy, 14-15 September 2015.

UNEP/MAP/MED POL (2016). Background to Assessment Criteria for Hazardous Substances and Biological Markers in the Mediterranean Sea Basin and its Regional Scales. United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan, Athens.

VRH, 2013. Uredba o standardu kakvoće voda, Vlada Republike Hrvatske, NN 73/2013

Zoppini, A., Ademollo, N., Bensi, M., Berto, D., Bongiorni, L., Campanelli, A., ... & Amalfitano, S. (2019). Impact of a river flood on marine water quality and planktonic microbial communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224, 62-72.

## 9 APPENDICE

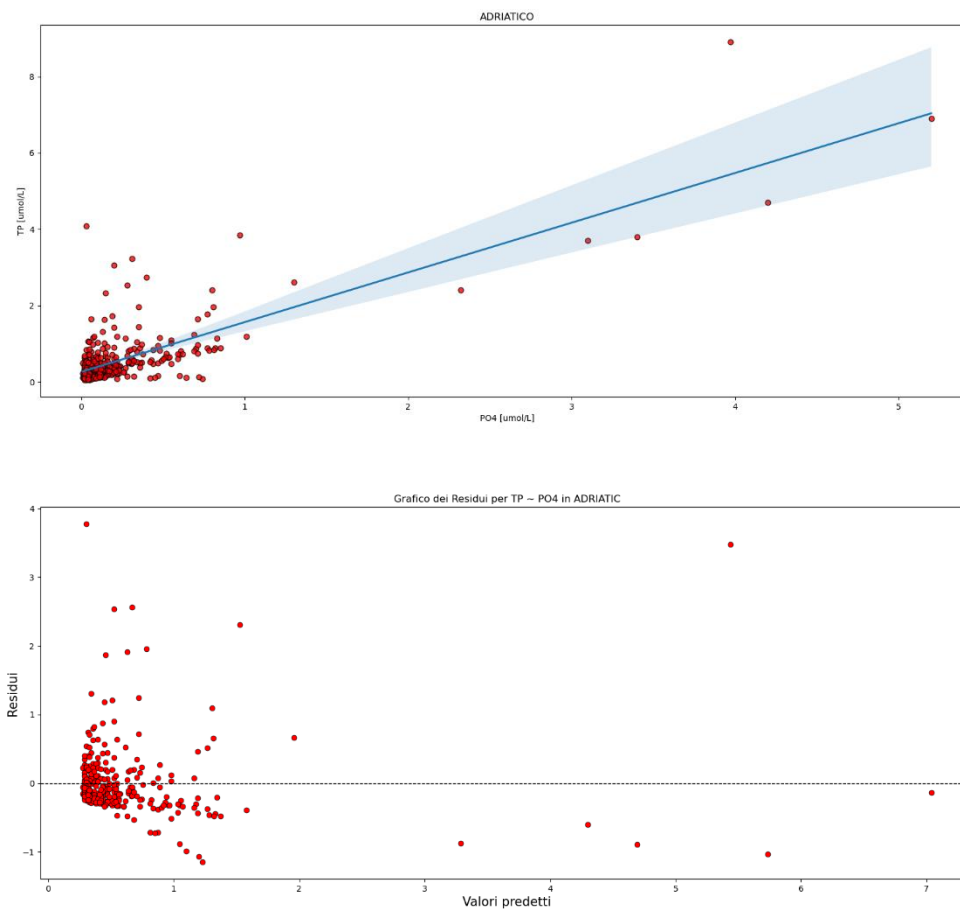


Figura app 1: Retta di regressione per TP su PO4 per le acque dell'Adriatico (sopra) e grafico dei residui rispetto ai valori predetti per la stessa equazione (sotto).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

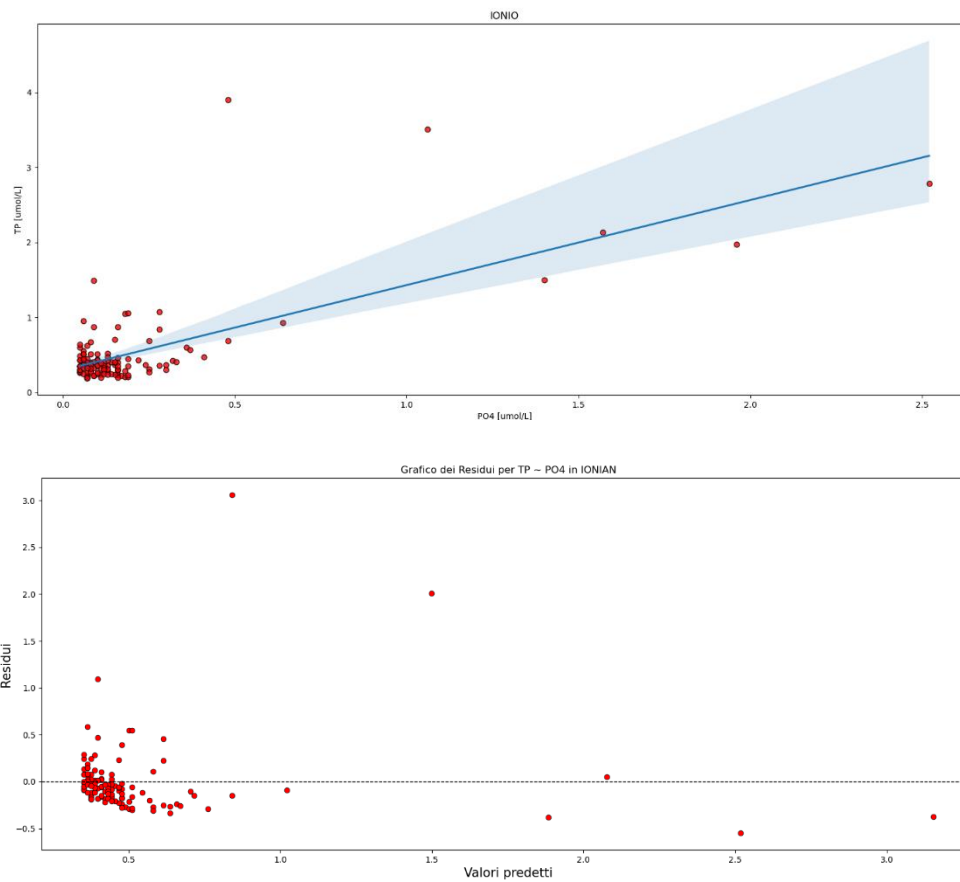


Figura app 2: Retta di regressione per TP su PO4 per le acque dello Ionio (sopra) e grafico dei residui rispetto ai valori predetti per la stessa equazione (sotto).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

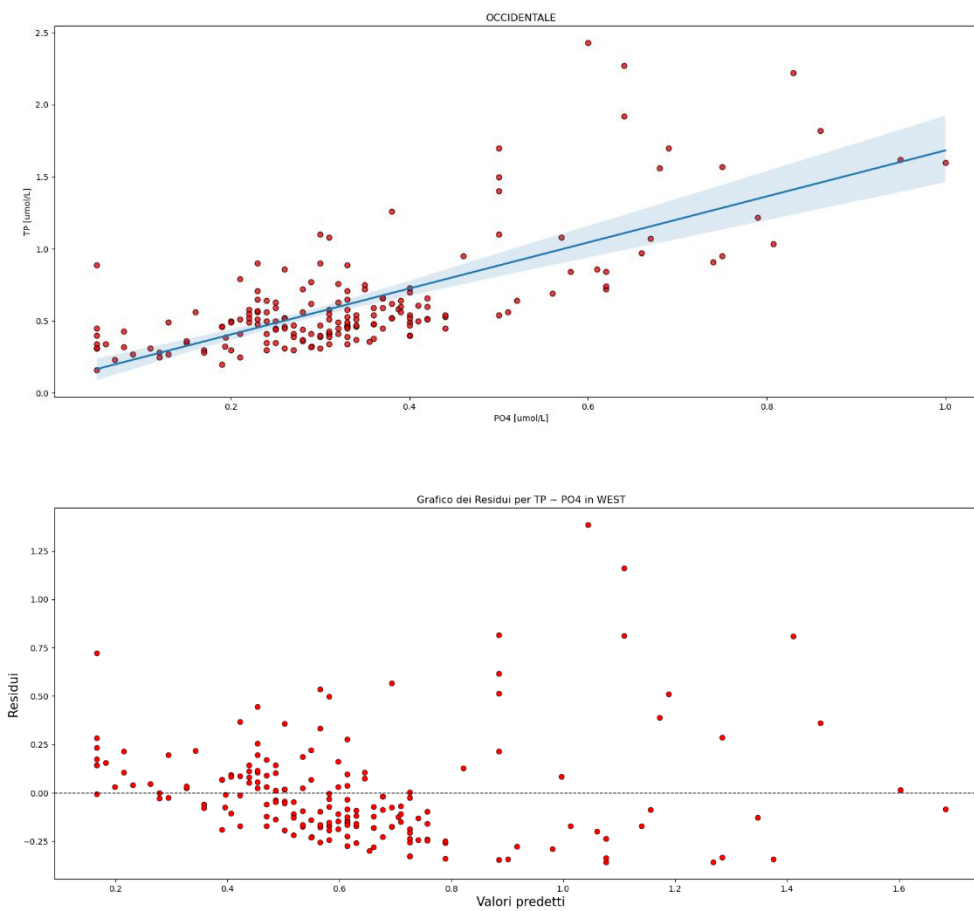


Figura app 3: Retta di regressione per TP su PO4 per le acque del Mediterraneo Occidentale (sopra) e grafico dei residui rispetto ai valori predetti per la stessa equazione (sotto).

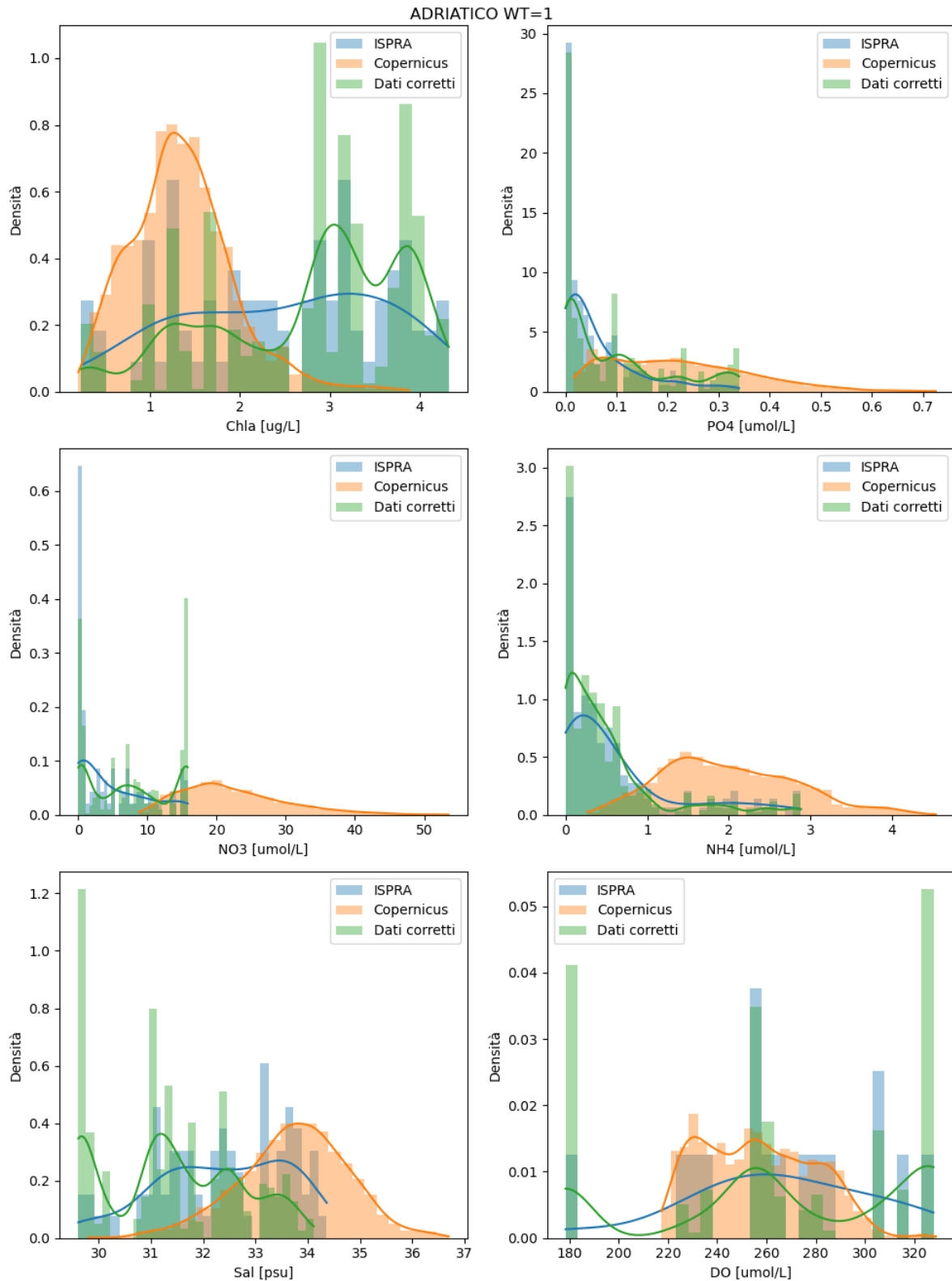


Figura app 4: Rappresentazione degli istogrammi dei dati monitorati (blu = ISPRA), dei dati dei modelli CMS (arancione = Copernicus), e dei dati dopo l'applicazione del metodo di bias correction quantile mapping (verde = Dati corretti) per le acque del Water Type I della sottoregione marina Adriatico.



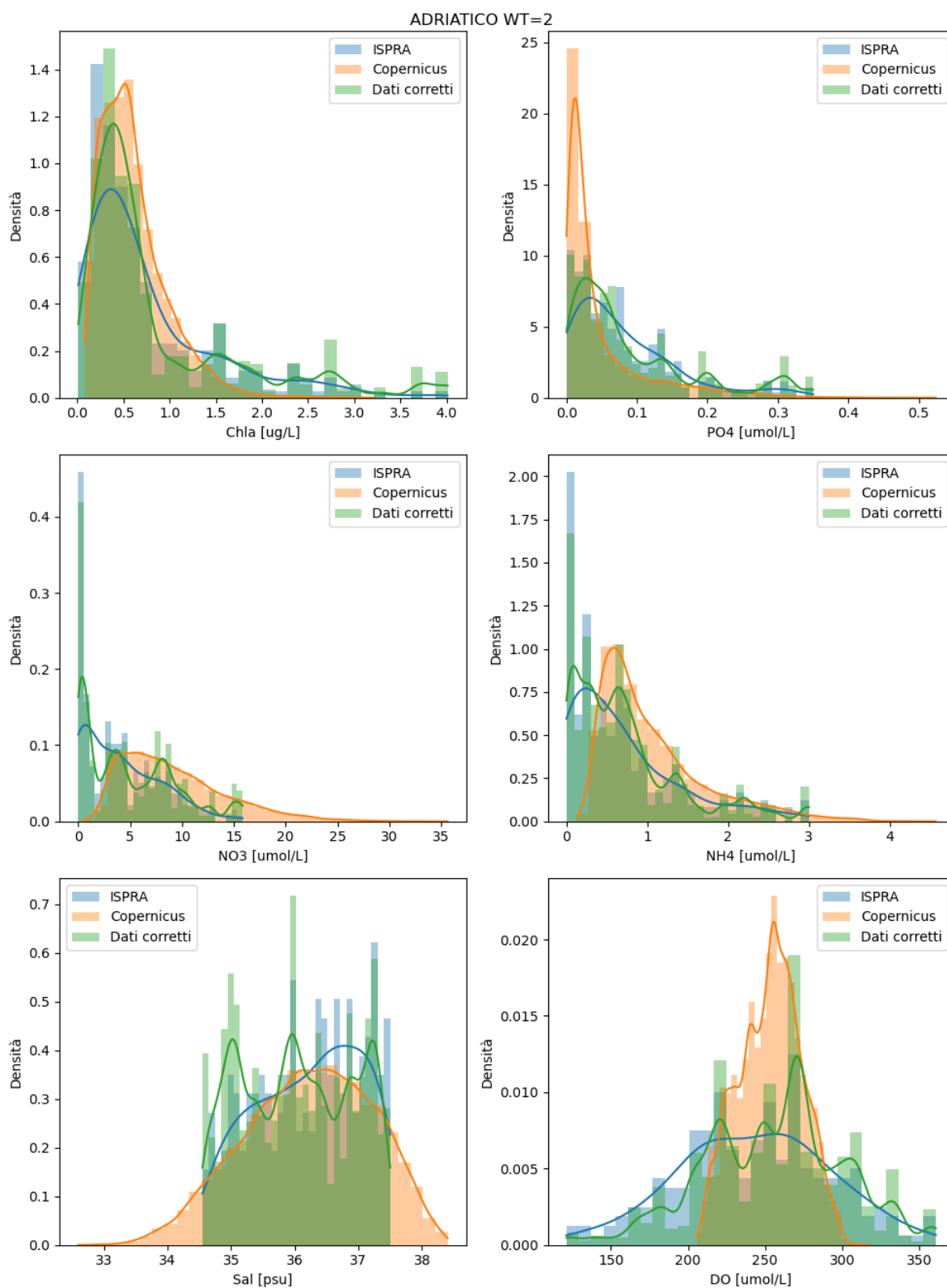


Figura app 5: Rappresentazione degli istogrammi dei dati monitorati (blu = ISPRA), dei dati dei modelli CMS (arancione = Copernicus), e dei dati dopo l'applicazione del metodo di bias correction quantile mapping (verde = Dati corretti) per le acque del Water Type II della sottoregione marina Adriatico.

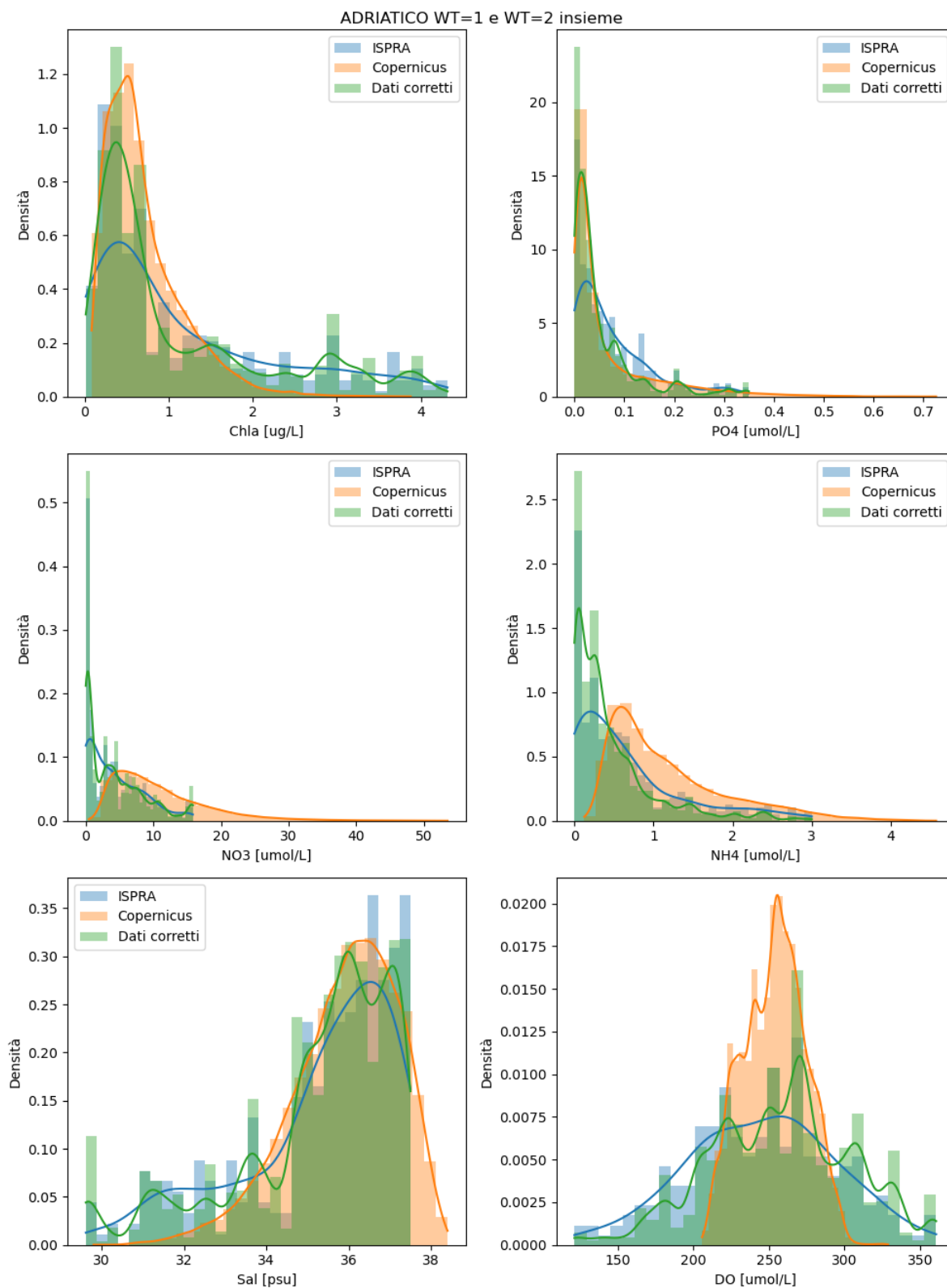
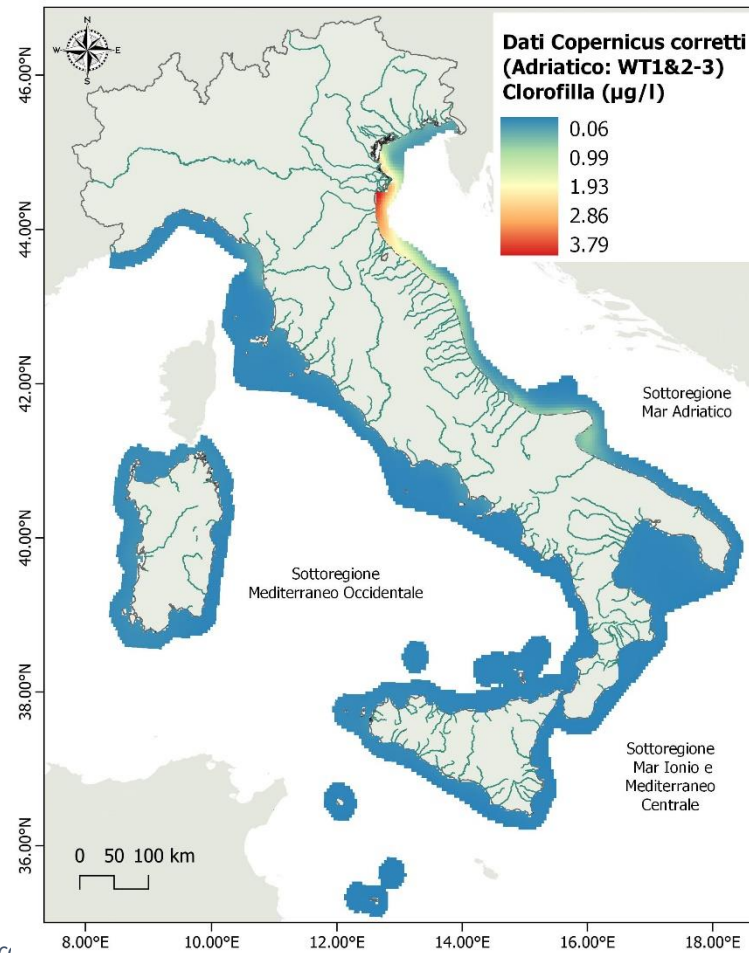
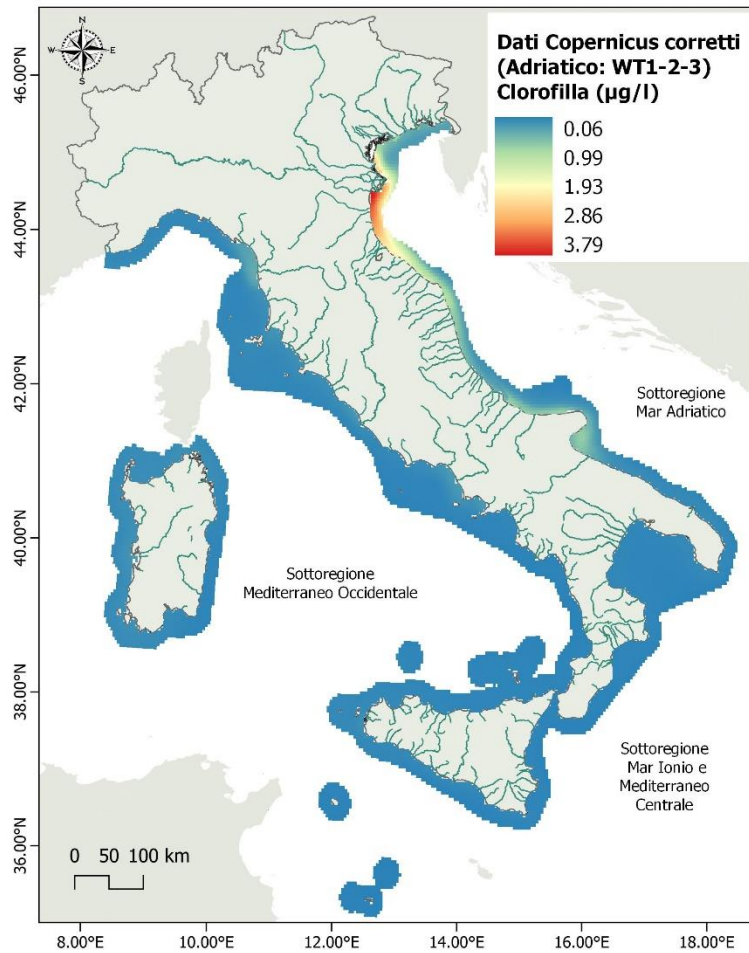


Figura app 6: Rappresentazione degli istogrammi dei dati monitorati (blu = ISPRA), dei dati dei modelli CMS (arancione = Copernicus), e dei dati dopo l'applicazione del metodo di bias correction quantile mapping (verde = Dati corretti) per le acque del Water Type I e Water Type II insieme della sottoregione marina Adriatico.



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale



Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT1 e WT2, e separatamente a WT3 nella sottoregione Adriatico (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

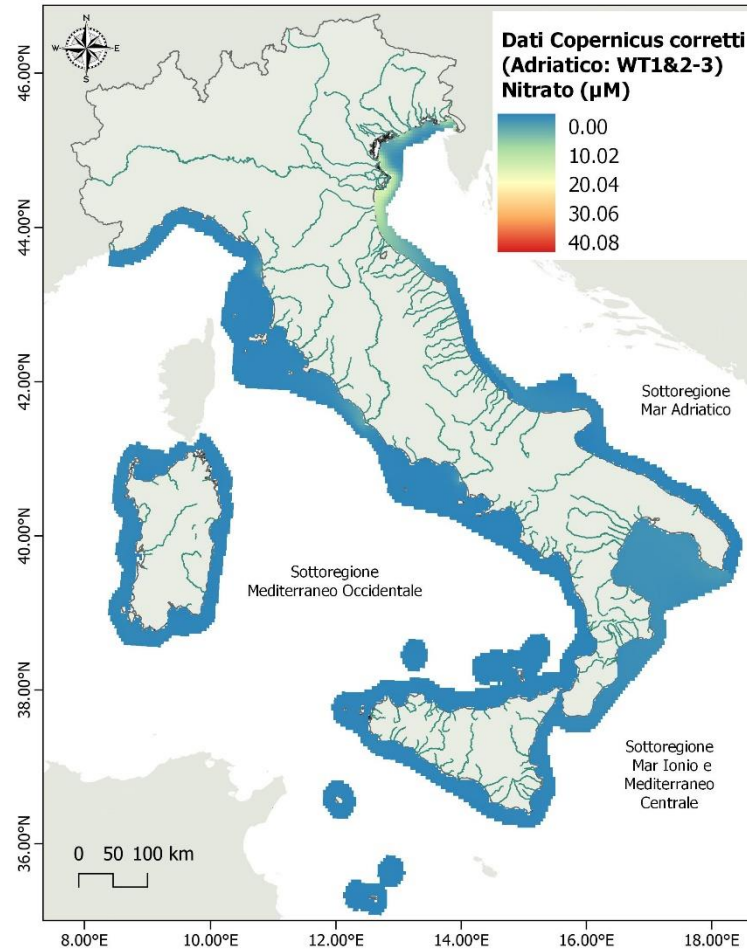
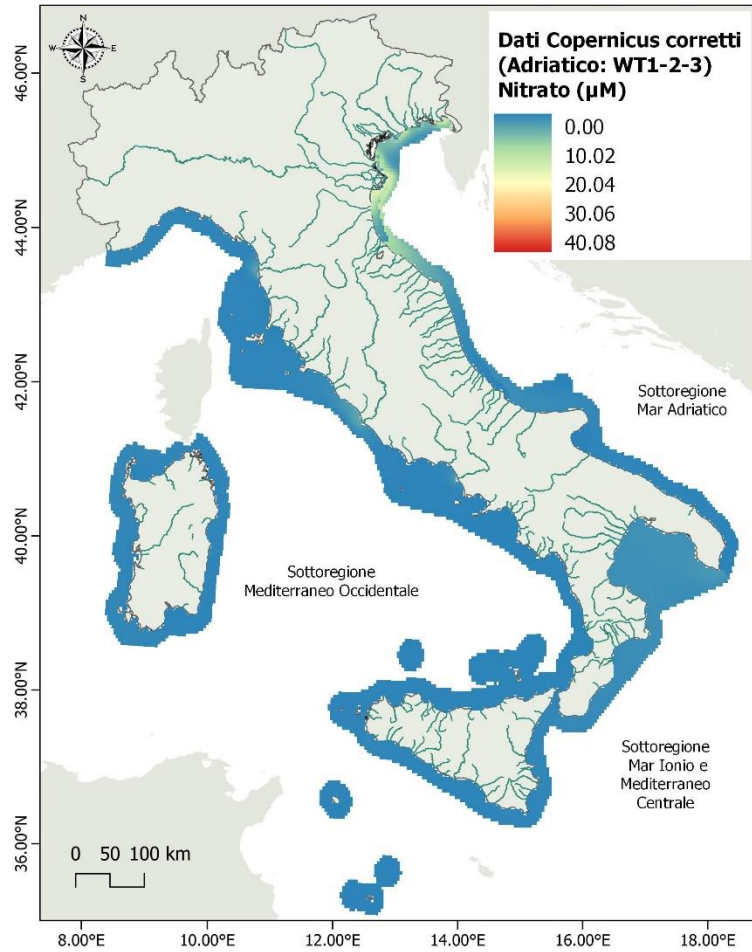


Figura app 8: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati di ione nitrato in superficie con bias correction applicato separatamente ai tre WT nella sottoregione Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT I e WT II, e separatamente a WT III nella sottoregione Adriatico (destra).





**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

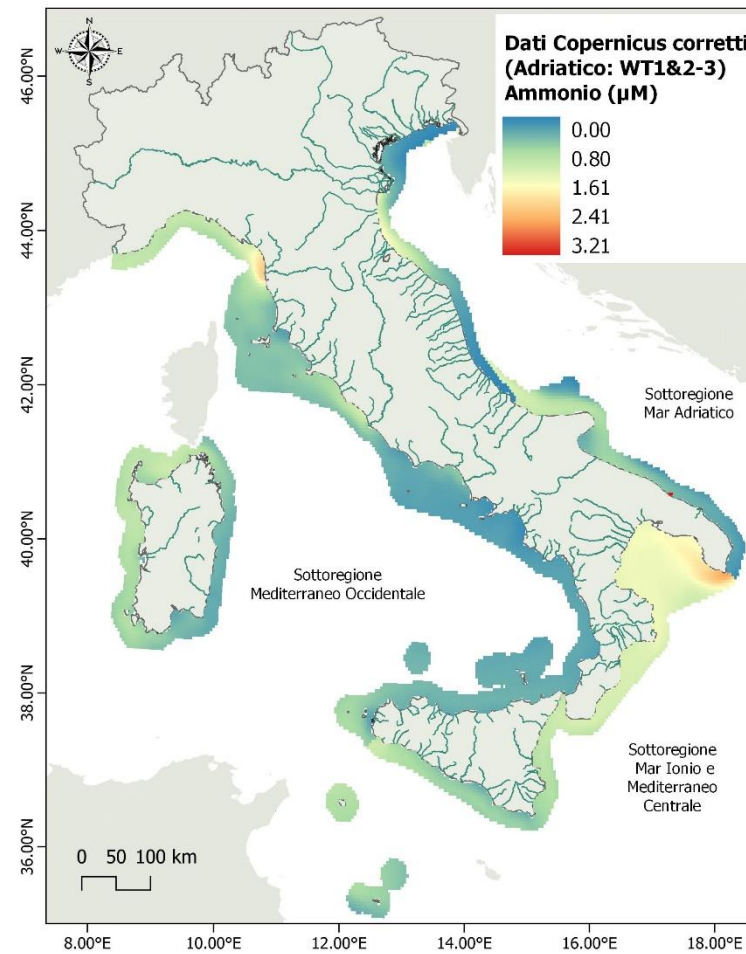
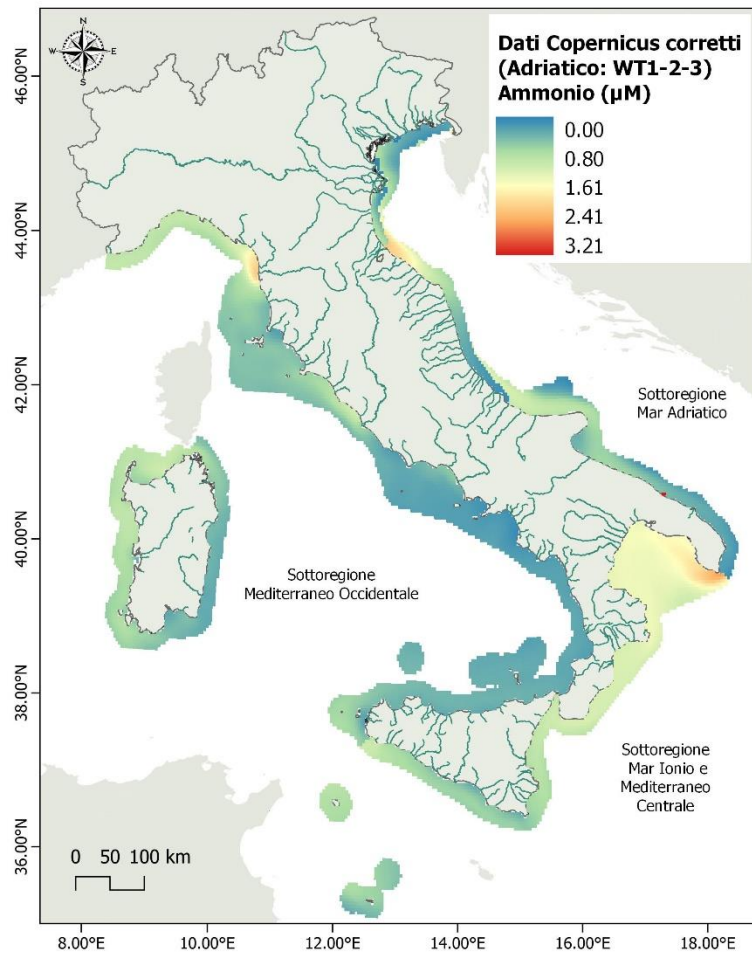


Figura app 9: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati di ione ammonio in superficie con bias correction applicato separatamente ai tre WT nella sottoregione Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT I e WT II, e separatamente a WT III nella sottoregione Adriatico (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

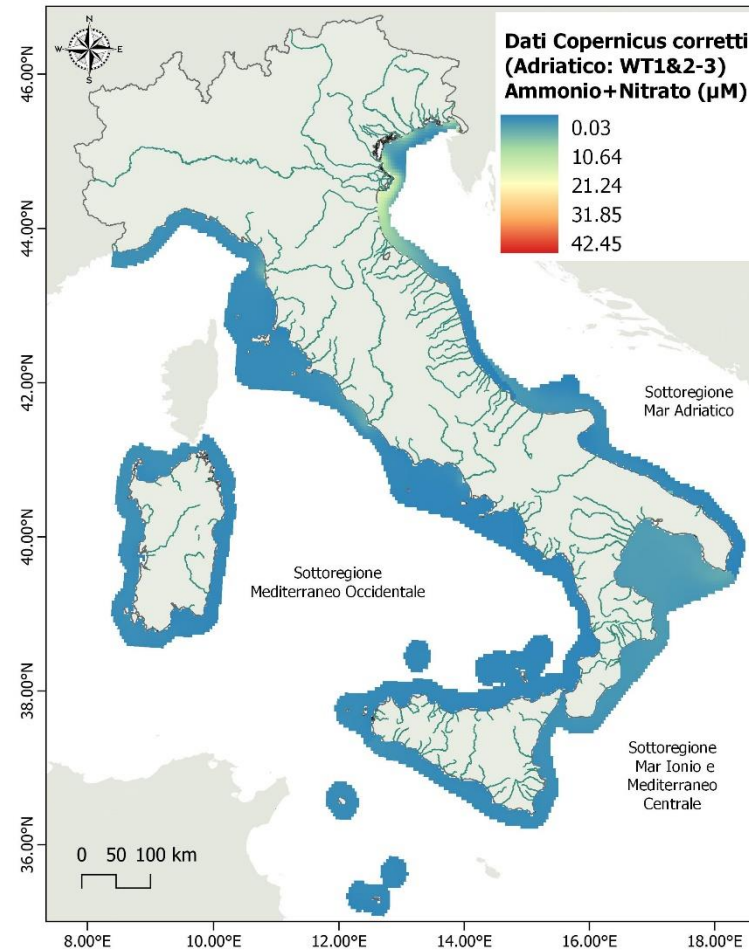
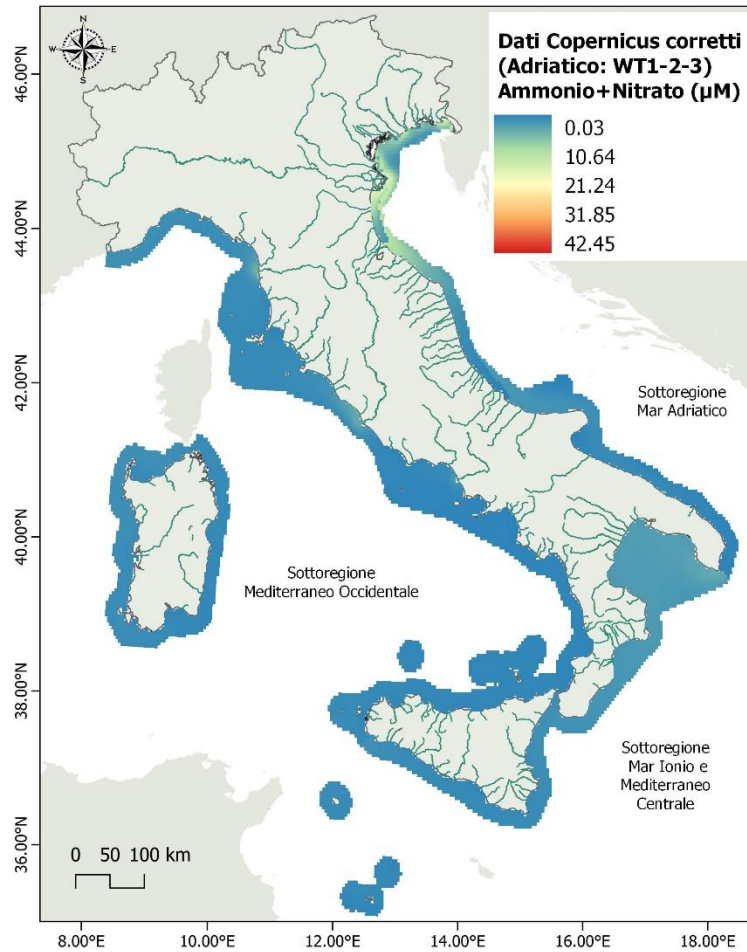


Figura app 10: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati di ione ammonio e ione nitrato in superficie con bias correction applicato separatamente ai tre WT nella sottoregione Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT I e WT II, e separatamente a WT3 III nella sottoregione Adriatico (destra).





**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

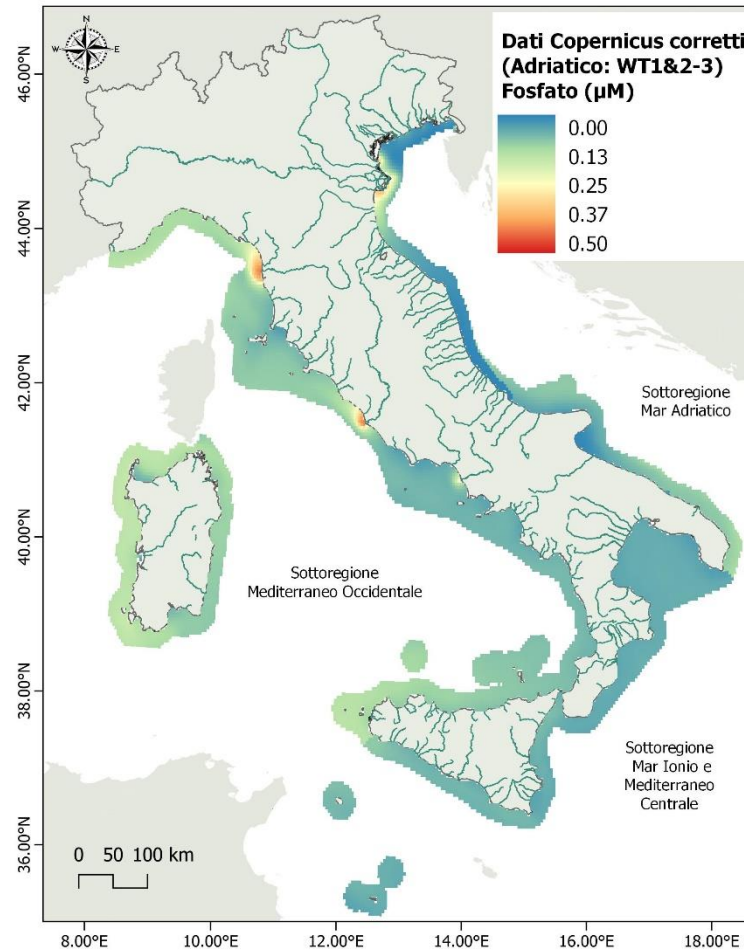
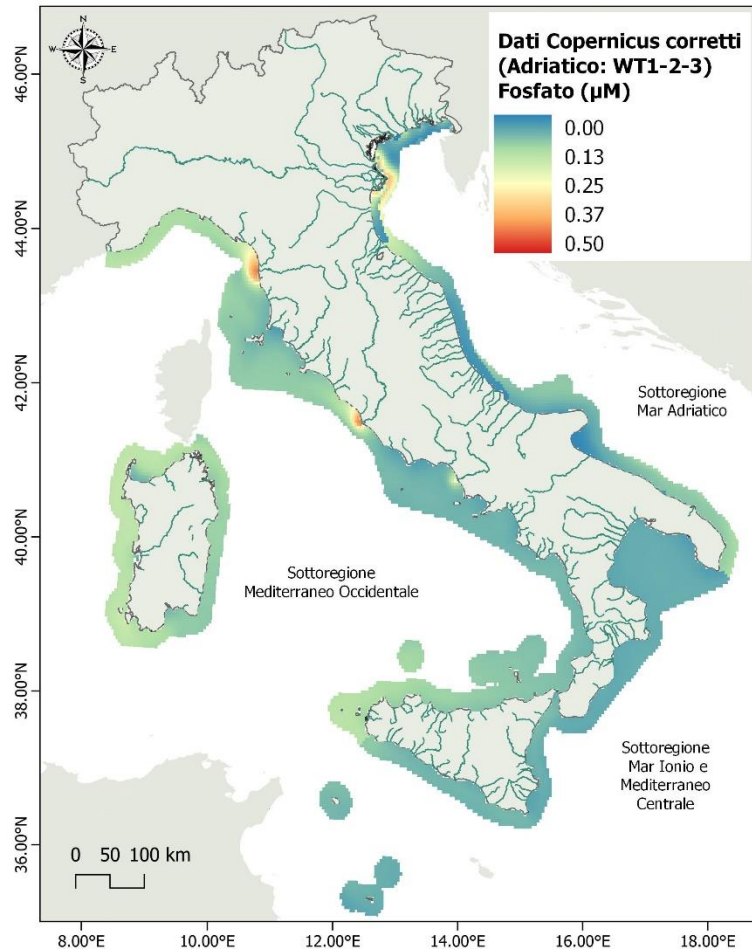


Figura app 11: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati di ione fosfato in superficie con bias correction applicato separatamente ai tre WT nella sottoregione Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT I e WT II, e separatamente a WT III nella sottoregione Adriatico (destra).

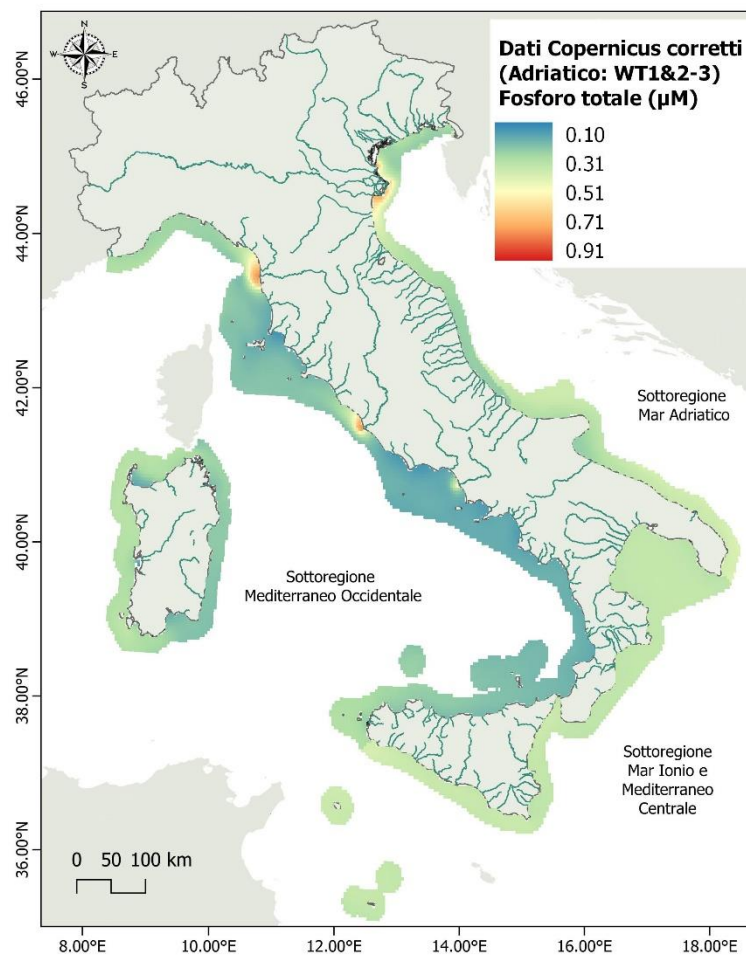
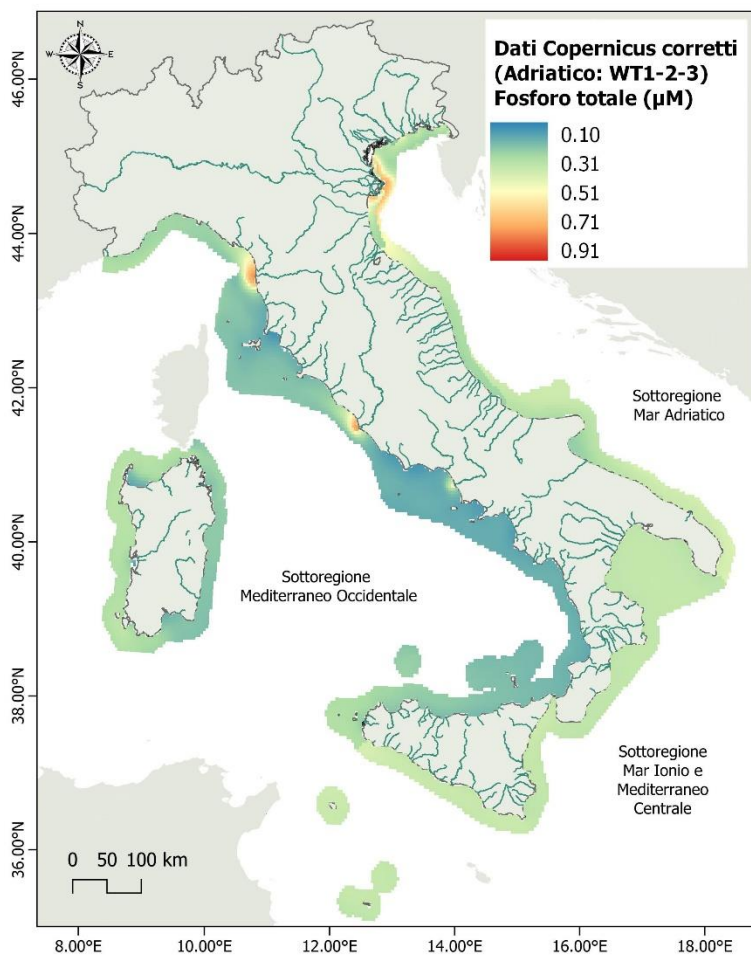


Figura app 12: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati di fosforo totale in superficie con bias correction applicato separatamente ai tre WT nella sottoregione Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT I e WT II, e separatamente a WT III nella sottoregione Adriatico (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

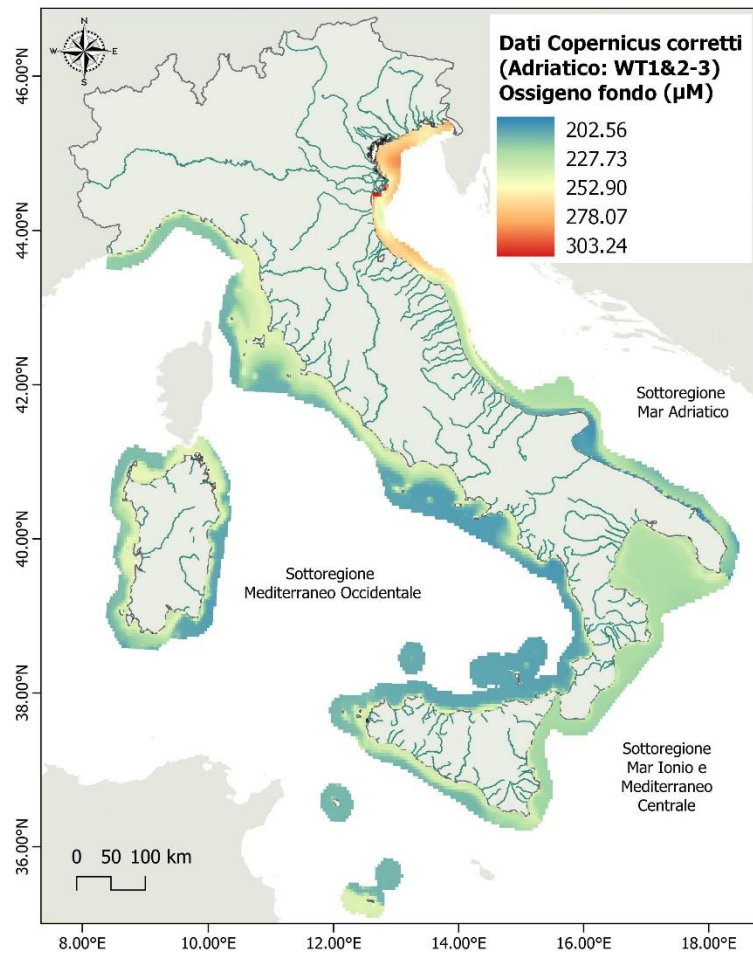
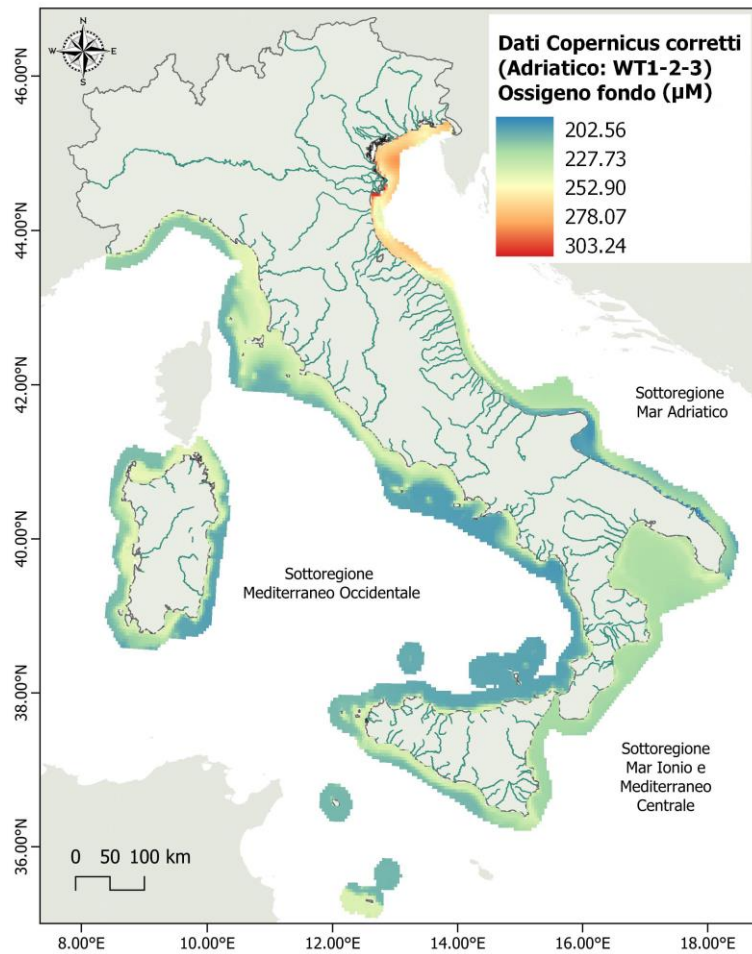


Figura app 13: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati di fondo di ossigeno disciolto con bias correction applicato separatamente ai tre WT nella sottoregione Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT I e WT II, e separatamente a WT III nella sottoregione Adriatico (destra).



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

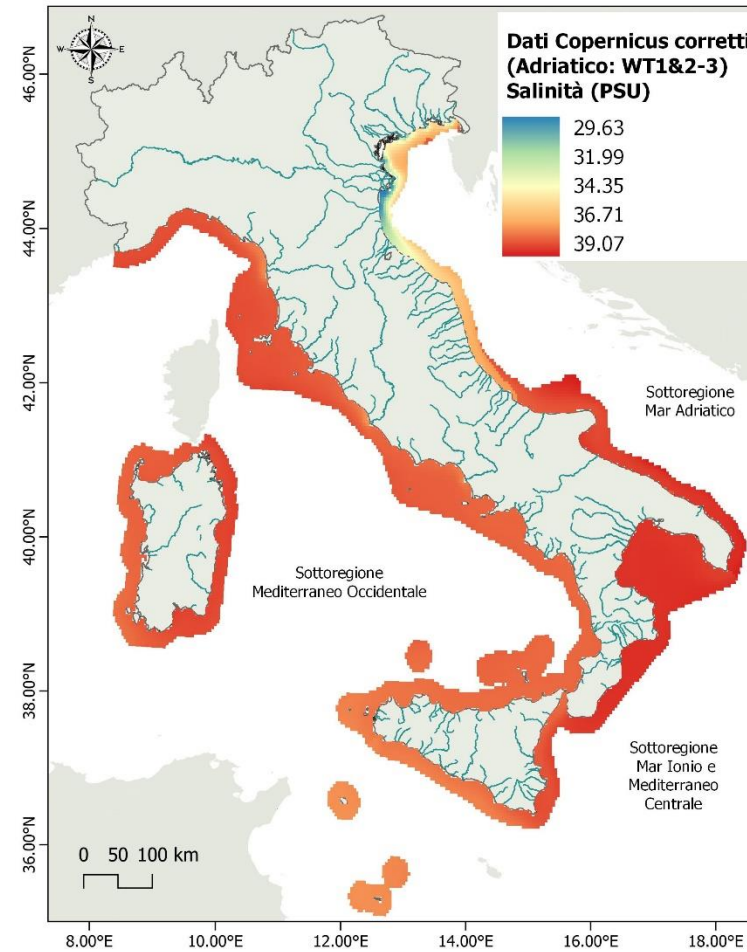
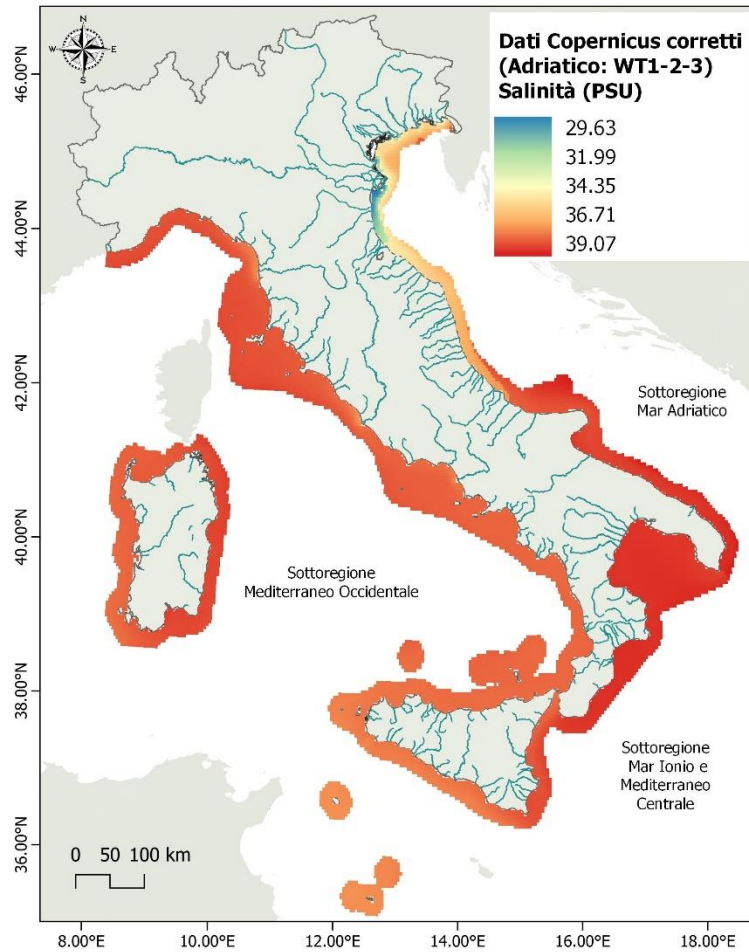


Figura app 14: Valori medi sul periodo 2018-2020 dei dati superficiali di salinità con bias correction applicato separatamente ai tre WT nella sottoregione Adriatico (sinistra), e con bias correction unico applicato insieme a WT I e WT II, e separatamente a WT III nella sottoregione Adriatico (destra).