



VALUTAZIONE AMBIENTALE

Art. 8 del D.lgs. 190/2010



MSFD

MARINE STRATEGY
FRAMEWORK DIRECTIVE

SUMMARY REPORT

D5 – Eutrofizzazione

Inviato alla Commissione Europea il 10 ottobre 2024

Autori

Coordinamento

Erika Magaletti (ISPRA), Alessandra Nguyen Xuan (ISPRA)

Carichi di nutrienti da fonti fluviali

Nicoletta Calace (ISPRA), Daniela Berto (ISPRA)

Carichi di nutrienti da acque reflue

Massimo Peleggi (ISPRA), Maria Camilla Mignuoli (ISPRA), Silvana Salvati (ISPRA)

Carichi di nutrienti da acquacoltura

Giovanna Marino (ISPRA), Matteo Ciani (ISPRA)

Valutazione dello stato ambientale

Erika Magaletti (ISPRA), Alessandra Nguyen Xuan (ISPRA), Pasquale Lanera (ISPRA), Patrizia Borrello (ISPRA), Emanuela Spada (ISPRA)

in collaborazione con Vinko Bandelj (OGS), Fabrizio Gianni (OGS), Alberto Ghedin (OGS), Marina Lipizer (OGS), Damiano Baldan (OGS), Gianpiero Cossarini (OGS)

Tendenze decadali della clorofilla 'a' nei mari italiani da analisi di dati satellitari (Box di approfondimento)

Simone Colella (CNR-ISMAR), Federico Falcini (CNR-ISMAR), Maria Rita Maggi (CNR-ISMAR)

Indice

1	Introduzione.....	4
2	Articolo 8 del D.lgs. 190/2010 - Valutazione ambientale	9
2.1	Carichi di nutrienti.....	9
2.1.1	Carichi di nutrienti da fonti fluviali	9
2.1.2	Carichi nutrienti da acque reflue	14
2.1.3	Carichi nutrienti da fonti d'acquacoltura.....	15
2.2	Valori soglia per la valutazione ambientale	21
2.3	Valutazione dello stato ambientale secondo i criteri primari e applicazione valori soglia.....	25
2.3.1	Concentrazione di nutrienti (D5C1)	25
2.3.2	Concentrazione di clorofilla 'a' (D5C2)	32
2.3.3	Concentrazione di ossigeno disciolto (D5C5)	36
2.3.4	Valutazione del raggiungimento del GES per il descrittore 5 sulla base di un indice multiparametrico.....	40
2.4	Analisi del raggiungimento dei Target ambientali	41
3	Sintesi.....	49
4	ALLEGATO 1 - BOX di approfondimento: tendenze decadali della clorofilla 'a' nei mari italiani da analisi di dati satellitari.....	51

Descrittore 5 - Eutrofizzazione

1 Introduzione

Descrittore 5. “È ridotta al minimo l'eutrofizzazione di origine umana, in particolare i suoi effetti negativi, come perdite di biodiversità, degrado dell'ecosistema, proliferazione dannosa di alghe e carenza di ossigeno nelle acque di fondo”.

L'eutrofizzazione è un processo causato dall'arricchimento in nutrienti, in particolare composti dell'azoto e/o del fosforo, che determina un incremento della produzione primaria e della biomassa algale con conseguente alterazione delle comunità bentoniche e, in generale, diminuzione della qualità delle acque. L'immissione nell'ambiente marino e costiero di azoto e fosforo può derivare da fonti puntuali (quali scarichi di trattamento delle acque reflue, di processi industriali e di impianti di acquacoltura e maricoltura) e da fonti diffuse (ad esempio il dilavamento delle superfici agricole e le emissioni dei trasporti).

La Decisione della Commissione Europea del 17 maggio 2017 (Decisione UE 2017/848) sui criteri e gli standard metodologici per la definizione del Buono Stato Ambientale (*Good Environmental Status* o GES) riporta che la valutazione dell'eutrofizzazione delle acque marine per la Direttiva 2008/56/EC (*Marine Strategy Framework Directive* o MSFD) deve essere in linea con quanto definito per le acque costiere dalla Direttiva 2000/60/EC (*Water Framework Directive* o WFD) in modo da garantire la comparabilità di approcci e traguardi, nonché presentare una combinazione di informazioni su livelli dei nutrienti (concentrazioni nell'ambiente marino), effetti primari dell'arricchimento in nutrienti (concentrazione di clorofilla 'a' quale indicatore di biomassa algale) ed effetti secondari dell'arricchimento in nutrienti (impatti sugli organismi causati da fenomeni di ipossia e/o anossia delle acque di fondo) che siano ecologicamente rilevanti.

I criteri utilizzati nella valutazione del Descrittore 5 sono i criteri primari indicati nella Decisione UE 2017/48 della Commissione Europea, di seguito riportati (**Tabella 1**).

Tabella 1. Criteri e i parametri utilizzati per il D5, in linea con la Decisione UE 2017/848 sui criteri e gli standard metodologici per la definizione del Buono Stato Ambientale.

Elemento	Criterio	Parametro
Concentrazione dei nutrienti	D5C1 — Primario: I livelli di concentrazione dei nutrienti non indicano la presenza di effetti negativi dovuti all'eutrofizzazione. I valori di soglia sono i seguenti: a) per quanto riguarda le acque costiere, i valori fissati a norma della direttiva 2000/60/CE; b) al di fuori delle acque costiere, si tratta di valori coerenti con quelli per le acque costiere ai sensi della direttiva 2000/60/CE. Gli Stati membri stabiliscono questi valori attraverso la cooperazione regionale o sottoregionale.	Concentrazione superficiale di DIN (N-NO ₃ + N-NO ₂ + N-NH ₄) e TP in µmol/L
Concentrazione di clorofilla 'a'	D5C2 — Primario: Le concentrazioni di clorofilla a non sono a livelli che indicano effetti negativi dovuti ad eccesso di nutrienti. I valori di soglia sono i seguenti: a) per quanto riguarda le acque costiere, i valori fissati a norma della direttiva 2000/60/CE; b) al di fuori delle acque costiere, si tratta di valori coerenti con quelli per le acque costiere ai sensi della direttiva 2000/60/CE. Gli Stati membri stabiliscono questi valori attraverso la cooperazione regionale o sottoregionale.	Concentrazione superficiale di clorofilla 'a' in µg/L
Ossigeno disciolto nelle acque di fondo	D5C5 — Primario: Nonostante l'eccesso di nutrienti, la concentrazione dell'ossigeno disciolto non è ridotta a livelli che indicano effetti negativi sugli habitat bentonici (compresi le specie mobili e il biota associati) o altri effetti dovuti all'eutrofizzazione. I valori di soglia sono i seguenti: a) per quanto riguarda le acque costiere, i valori fissati a norma della direttiva 2000/60/CE; b) al di fuori delle acque costiere, si tratta di valori coerenti con quelli per le acque costiere ai sensi della direttiva 2000/60/CE. Gli Stati membri stabiliscono questi valori attraverso la cooperazione regionale o sottoregionale.	Concentrazione di ossigeno disciolto (mg/L) nelle acque di fondo e osservazioni su fenomeni di morie di pesci e/o stati di sofferenza di organismi bentonici

I dati di monitoraggio utilizzati per la valutazione relativa ai criteri D5C1, D5C2 e D5C5 sono quelli derivanti dal monitoraggio effettuato dalle Regioni ai sensi del D.Lgs. 152/2006 nei corpi idrici marino costieri nell'ambito della WFD (banca dati EIONET, anni 2016-2021) e al monitoraggio condotto ai sensi dell'art 11 del D.Lgs. 190/2010 effettuato dalle ARPA (ARPA-MSFD Modulo 1; anni 2016-2021).

In **Figura 1** è presentata la distribuzione spaziale delle stazioni nelle tre sottoregioni italiane insieme al *water type* cui si riferiscono, mentre in **Figura 2** è riportata la distribuzione spaziale dei *water type* sulla base dell'integrazione dei dati *in situ* con i dati CMEMS (*Copernicus Marine Services*) nel periodo di riferimento.

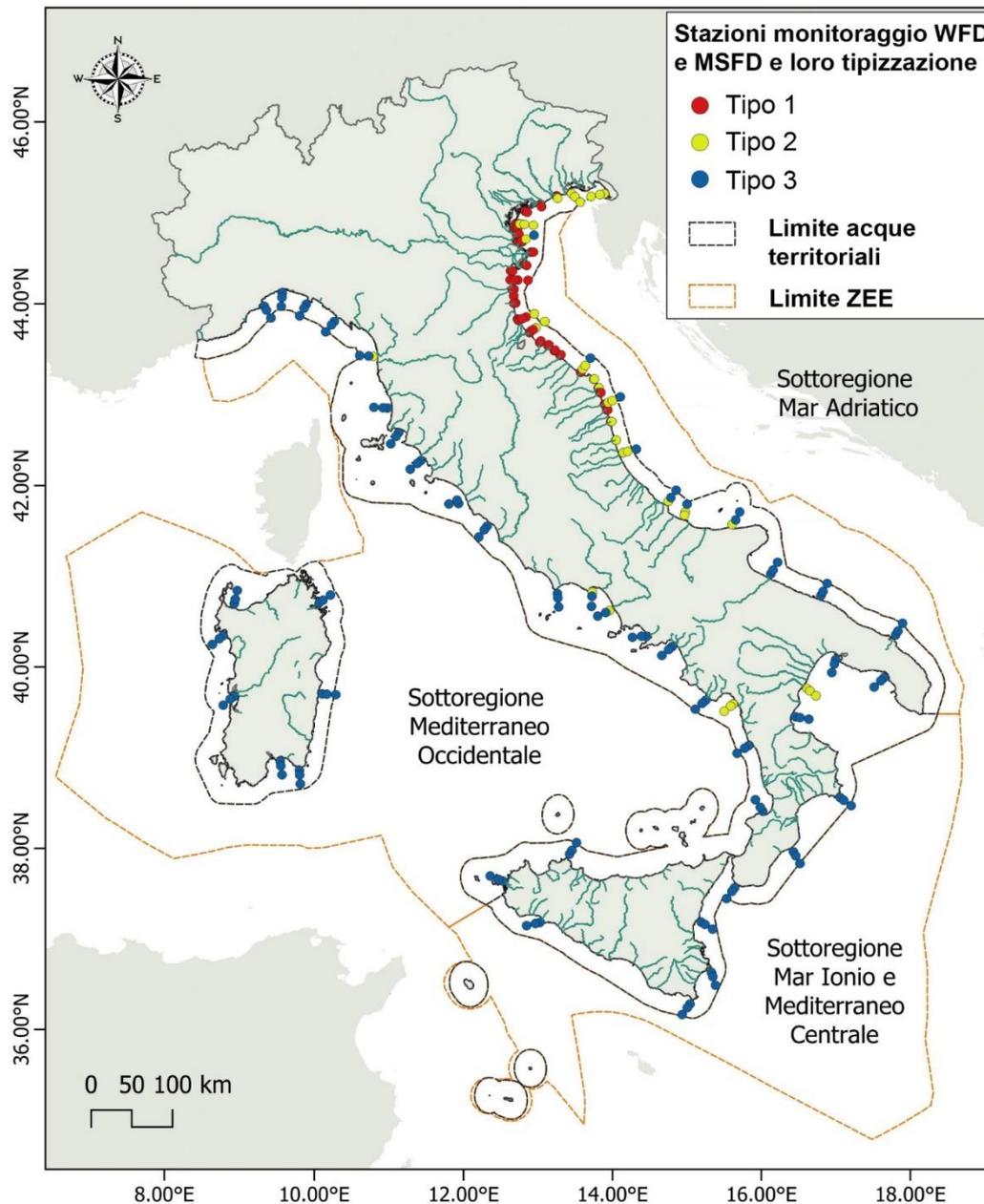


Figura 1. Distribuzione e tipizzazione (tipo 1, 2 o 3 sulla base della stabilità della colonna d'acqua come indicato nel D.M. 260/2010) delle stazioni di monitoraggio della MSFD e della WFD nelle tre sottoregioni marine.

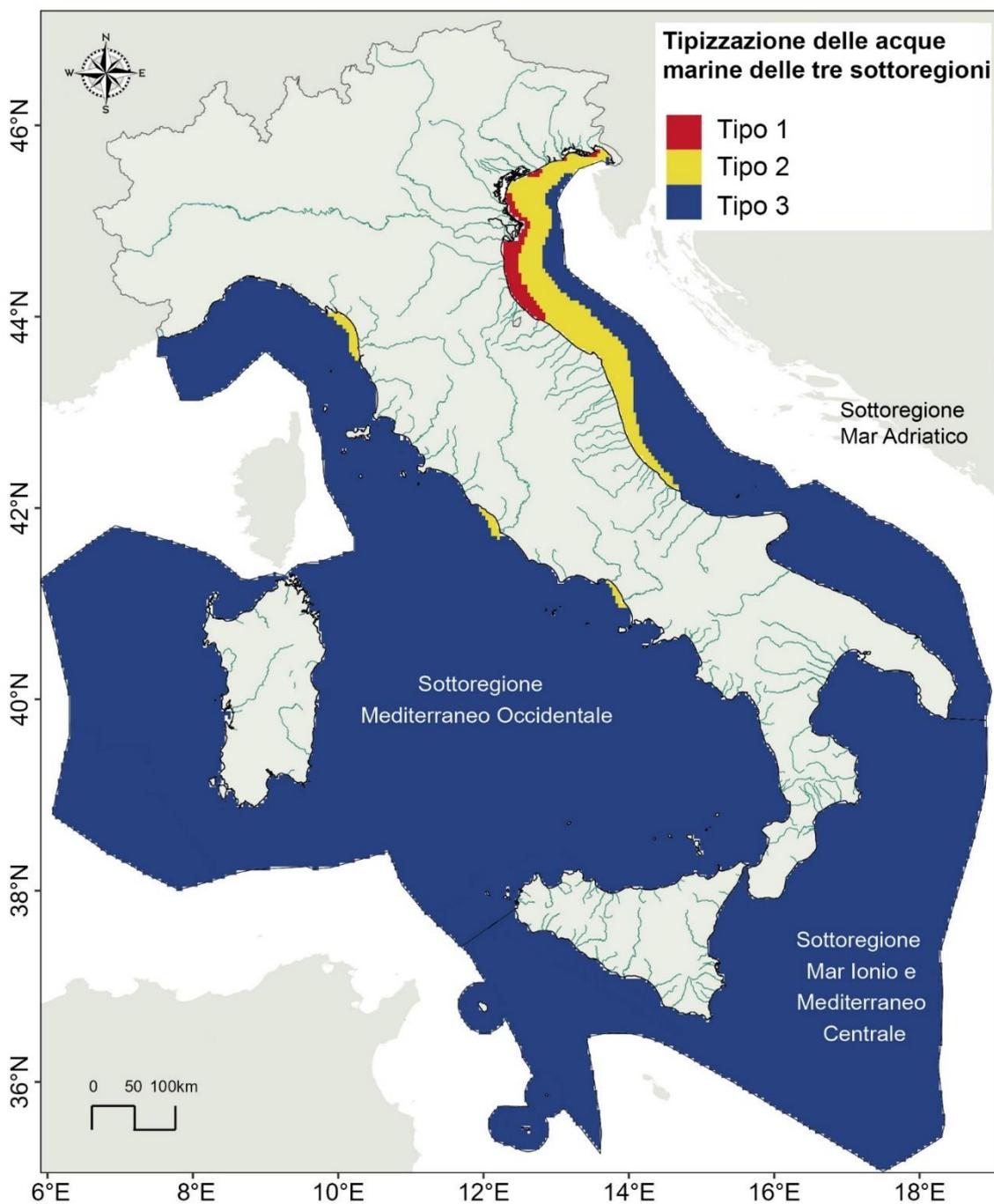


Figura 2. Tipizzazione (tipo 1, 2 o 3 sulla base della stabilità della colonna d'acqua come indicato nel D.M. 260/2010) delle acque marine delle tre sottoregioni in base ai valori medi di salinità derivati dai modelli CMEMS corretti con i dati dei monitoraggi WFD e MSFD.

La tipizzazione delle acque (**Figura 3**) è basata sulla stabilità della colonna d'acqua, riferita ai valori di densità (σ_t) e salinità (S). È il medesimo approccio già adottato dalla Direttiva 2000/60/EC per le acque marine costiere dei Paesi euromediterranei per l'Elemento di Qualità Biologica 'fitoplancton' (cfr. D.M. 260/2010) e successivamente ripreso in ambito Convenzione di Barcellona, *Integrated Monitoring and Assessment Programme* dell'UNEP-MAP, come sotto riportato (per maggiori dettagli si rimanda al documento UNEP(DEPI)/MED WG 417/Inf.15).

Type I	coastal sites highly influenced by freshwater inputs
Type IIA	coastal sites moderately influenced not directly affected by freshwater inputs (Continent influence)
Type IIIW	continental coast, coastal sites not influenced/affected by freshwater inputs (Western Basin)
Type IIIE	not influenced by freshwater input (Eastern Basin)
Type Island	coast (Western Basin)

	Type I	Type IIA, IIA Adriatic	Type IIIW	Type IIIE	Type Island-W
σ_t (density)	<25	25<d<27	>27	>27	All range
salinity	<34.5	34.5<S<37.5	>37.5	>37.5	All range

Figura 3. Tipizzazione delle acque sulla base della stabilità della colonna d'acqua, riferita ai valori di densità (σ_t) e salinità (da Appendix 2, *Integrated Monitoring and Assessment Programme*, UNEP-MAP, 2017¹)

I dati delle variabili chimico-fisiche dei nutrienti derivanti dalle attività di monitoraggio svolte dalle ARPA nell'ambito della Strategia Marina e della WFD sono stati elaborati da ISPRA per le tre sottoregioni marine italiane con il supporto dell'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale).

L'analisi della Clorofilla 'a' da dato satellitare è stata effettuata in collaborazione con il CNR-ISMAR (Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Scienze Marine).

¹ United Nations Environment Programme / Mediterranean Action Plan (UN Environment/MAP) (2017) integrated monitoring and assessment programme of the Mediterranean Sea and coast and related assessment criteria, Athens, Greece.

2 Articolo 8 del D.lgs. 190/2010 - Valutazione ambientale

Per la valutazione ambientale delle acque marine di ognuna delle tre sottoregioni italiane per il periodo 2016-2021, oltre alle pressioni esercitate sull'ambiente marino (§ 3.1 Carichi di nutrienti), nei paragrafi che seguono sono indicati i criteri presi in considerazione come riportati in tabella 1.

I criteri considerati sono tutti criteri primari ma possono essere distinti in funzione del ruolo che rivestono nel quadro concettuale della relazione causa-effetto del fenomeno dell'eutrofizzazione:

- il criterio D5C1, definendo le concentrazioni di nutrienti nella colonna d'acqua, tiene in considerazione le cause dell'eutrofizzazione;
- il criterio D5C2 attiene agli effetti diretti dell'arricchimento di nutrienti, indicando quali impatti i nutrienti esercitano direttamente sull'ambiente marino (ossia un incremento della produzione primaria);
- il criterio D5C5 indicando l'impatto dell'aumento della produzione primaria, rientra tra gli effetti indiretti dell'arricchimento di nutrienti.

2.1 Carichi di nutrienti

Sono stati stimati per il periodo di riferimento i carichi di nutrienti da fonti fluviali, da acque reflue e da acquacoltura.

2.1.1 Carichi di nutrienti da fonti fluviali

I carichi fluviali sono stati stimati come massa annuale di azoto e fosforo (tonn/anno) alle stazioni di chiusura di bacino per il Po - Pontelagoscuro, Tevere – Ripetta e Arno- S. Giovanni alla Vena, moltiplicando la concentrazione media annuale di ciascun nutriente con il valore di portata media annuale. I dati di concentrazione di N e P sono raccolti dalle ARPA in ottemperanza a quanto previsto dalla Direttiva Quadro sulle Acque (WFD) e presenti sul SINTAI (www.isprambiente.it, flusso dati WISE 6 di Eionet SoE); i dati di portata utilizzati sono quelli presenti nell'annuario dei dati ambientali ISPRA (www.isprambiente.it) e forniti dalle ARPA e dai Centri Funzionali della Protezione Civile.

Si riportano di seguito le rappresentazioni grafiche dei carichi fluviali stimati per i fiumi Po (**Figura 4 e Figura 5**), Tevere (**Figura 6 e Figura 7**) e Arno (**Figura 8 e Figura 9**). I dati si riferiscono al sessennio 2016-2021. In analogia con quanto elaborato nel precedente sessennio, anche per il periodo in esame 2016-2021 i carichi seguono l'andamento del ciclo di portata idrologica senza discostarsene in modo significativo. L'analisi delle tendenze temporali nel sessennio evidenzia nel caso del fiume Po un incremento di entrambi i nutrienti, nel

Tevere un decremento del carico di azoto mentre l'andamento del carico di fosforo è costante, per il fiume Arno si è registrato un incremento del carico di azoto e un decremento di quello del fosforo.

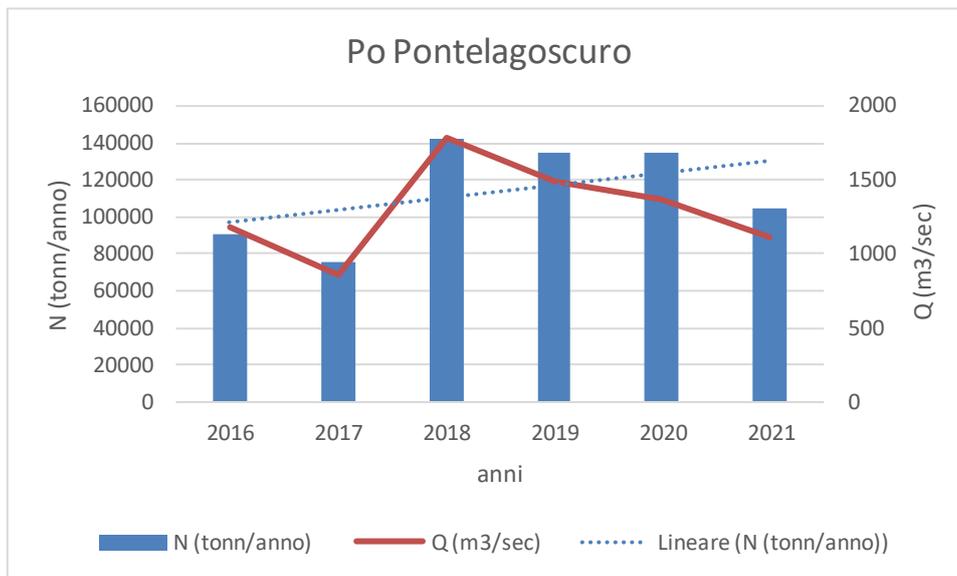


Figura 4. Andamento del carico di azoto sversato in mare dal Fiume Po e delle portate medie annuali. La linea tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei carichi tra gli anni 2016 e 2021.

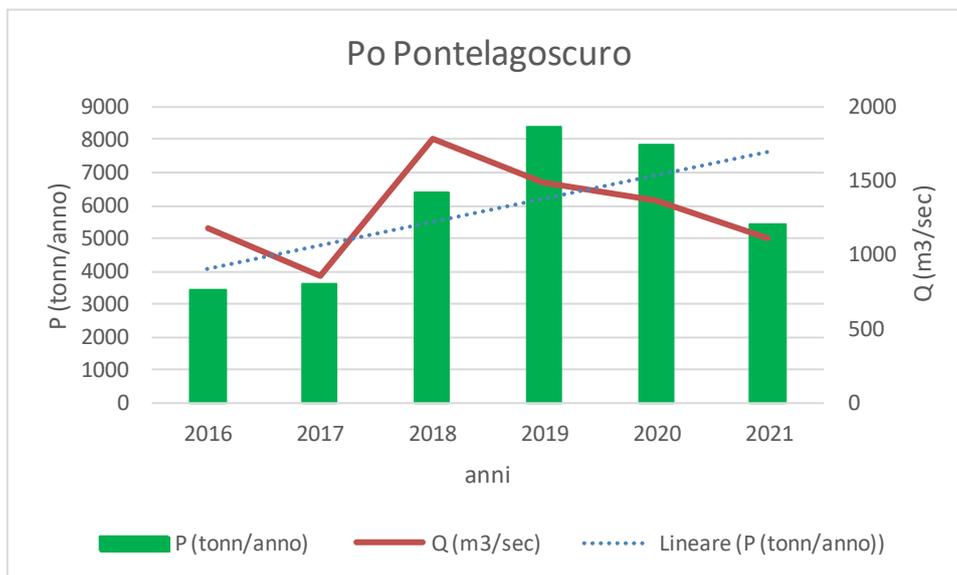


Figura 5. Andamento del carico di fosforo sversato in mare dal Fiume Po e delle portate medie annuali. La linea tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei carichi tra gli anni 2016 e 2021.

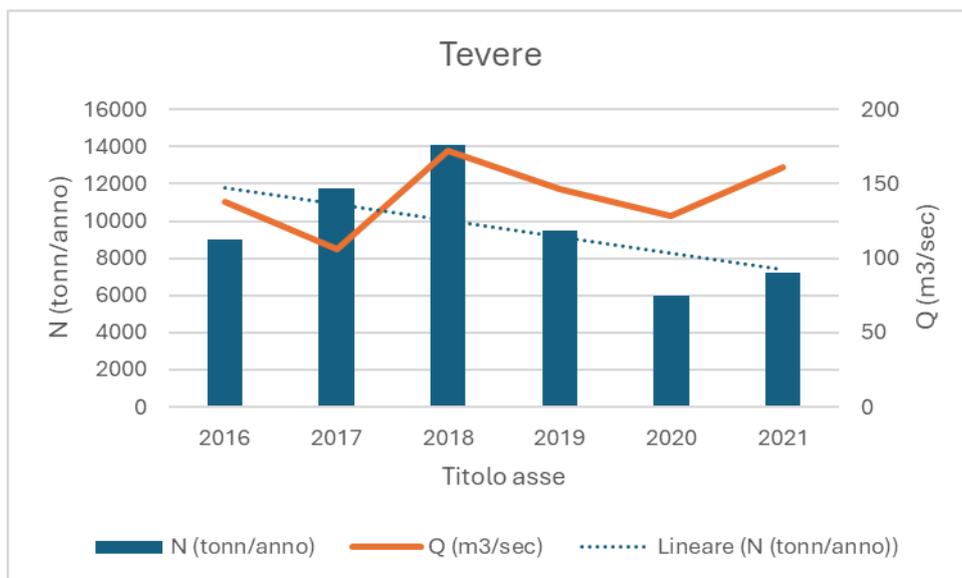


Figura 6. Andamento del carico di azoto sversato in mare dal Fiume Tevere e delle portate medie annuali. La linea tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei carichi tra gli anni 2016 e 2021.

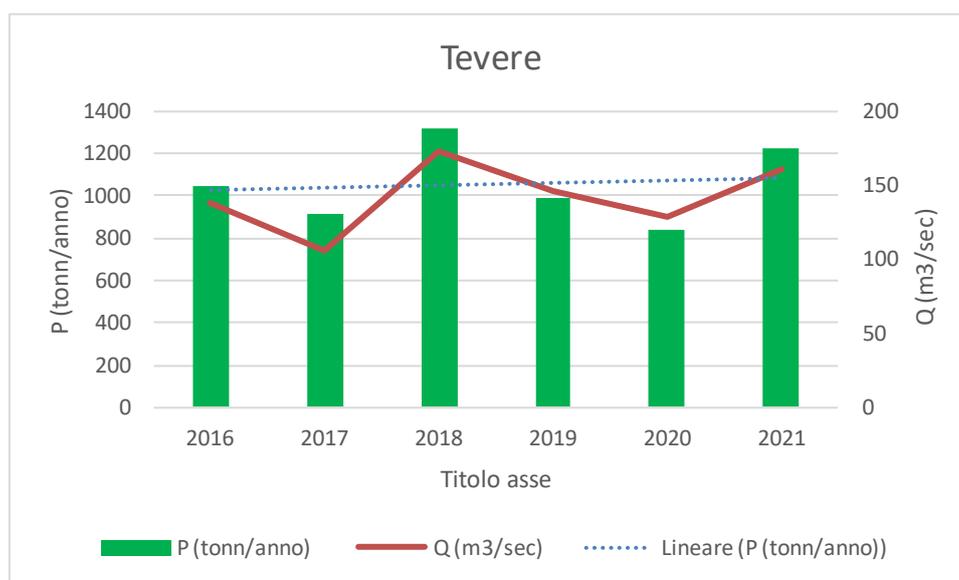


Figura 7. Andamento del carico di fosforo sversato in mare dal Fiume Tevere e delle portate medie annuali. La linea tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei carichi tra gli anni 2016 e 2021.

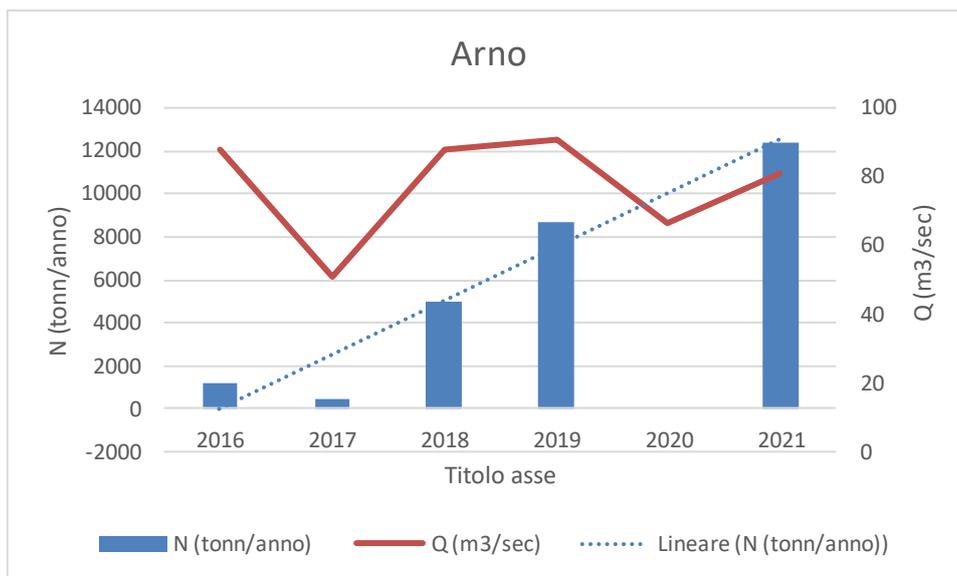


Figura 8. Andamento del carico di azoto sversato in mare dal Fiume Arno e delle portate medie annuali. La linea tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei carichi tra gli anni 2016 e 2021.

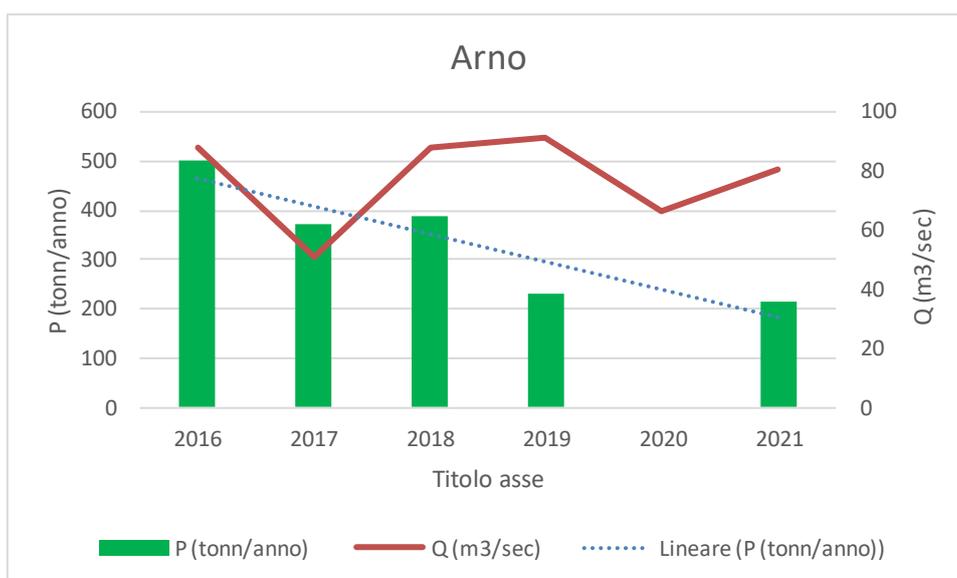


Figura 9. Andamento del carico di fosforo sversato in mare dal Fiume Arno e delle portate medie annuali. La linea tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei carichi tra gli anni 2016 e 2021.

L'andamento dei rapporti molari N/P calcolato sulla base dei carichi annuali immessi in mare nell'area del bacino idrografico del Po evidenzia un trend in diminuzione nel sessennio di riferimento (**Figura 10**). Ciononostante, si evidenzia la presenza di uno sbilanciamento del rapporto a carico dell'azoto rispetto a rapporto di Redfield (N:P=16:1) considerato il valore ottimale per il buon stato della comunità fitoplanctonica e riferimento per lo studio della limitazione dei nutrienti.

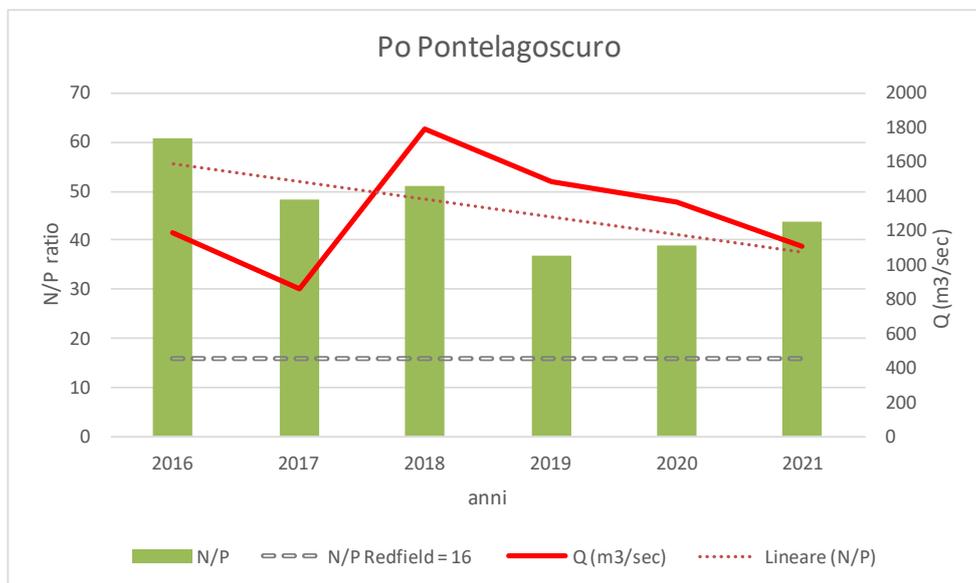


Figura 10. Andamento dei rapporti molari N/P calcolato sulla base dei carichi annuali immessi in mare nell'area del bacino idrografico del Po e andamento delle portate medie annuali. La linea rossa tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei rapporti molari N/P tra gli anni 2016 e 2021.

Nel caso del bacino idrografico del Fiume Tevere, si evidenzia uno sbilanciamento del rapporto N/P a favore dell'azoto meno marcato rispetto al Po e un trend in diminuzione nel sessennio con il raggiungimento del rapporto di Redfield nel 2021 (**Figura 11**).

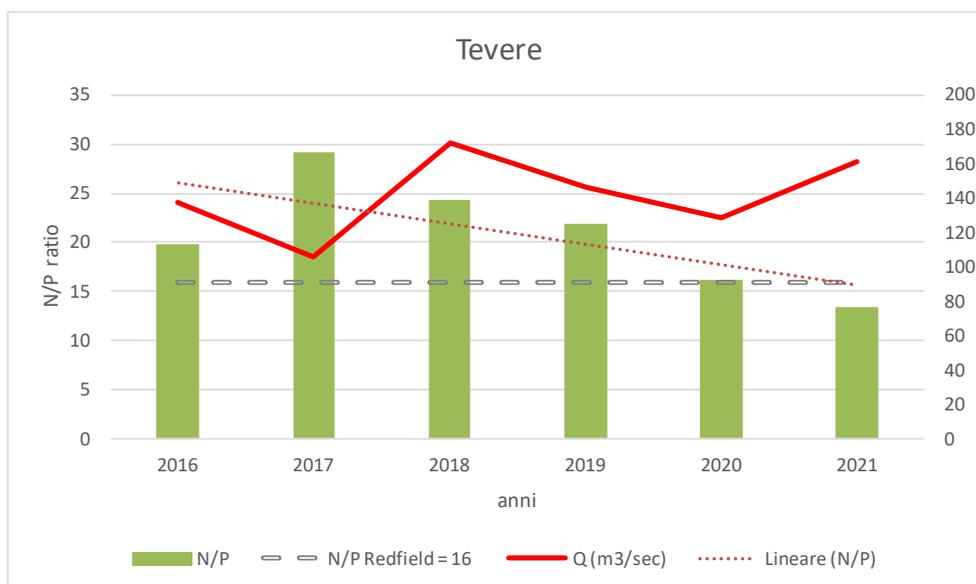


Figura 11. Andamento dei rapporti molari N/P calcolato sulla base dei carichi annuali immessi in mare nell'area del bacino idrografico del Tevere e andamento delle portate medie annuali. La linea rossa tratteggiata rappresenta la linea di tendenza dei rapporti molari N/P tra gli anni 2016 e 2021.

Per quanto riguarda il bacino idrografico dell'Arno l'andamento del rapporto N/P ha evidenziato uno sbilanciamento nell'azoto rispetto al fosforo.

2.1.2 Carichi nutrienti da acque reflue

I carichi da acque reflue urbane sono stati stimati utilizzando i dati relativi ai depuratori censiti in ottemperanza alla direttiva 91/271/CE (attività di reporting 2020). In analogia con quanto effettuato nel precedente report MSFD, sono stati considerati solo gli impianti di depurazione aventi punti di scarico nelle acque interne entro un buffer di 20 km dalla linea di costa o con scarico diretto a mare. Sono stati esclusi i depuratori aventi punti di scarico all'interno dei bacini idrografici del Po, Tevere e Arno in quanto già computati nella stima dei carichi fluviali.

Per tutti gli impianti di depurazione, la stima dei carichi di N e P in entrata agli impianti è stata ottenuta utilizzando per l'azoto un fattore di conversione pari a 12 g/giorno per abitanti equivalenti (AE) e per il fosforo un fattore pari a 2 g/giorno per AE; tali fattori sono quelli utilizzati più diffusamente per la progettazione degli impianti. Per la stima dei carichi in uscita, le percentuali di abbattimento rispetto al carico in entrata sono stimate sulla base degli abitanti equivalenti e della tipologia di trattamento applicata (trattamento primario, secondario, terziario o più avanzato). I fattori di abbattimento utilizzati sono riportati nella Tabella 2.

Tabella 2. Percentuali di abbattimento utilizzate per la stima dei carichi in uscita dagli impianti di depurazione in funzione del loro dimensionamento teorico.

Tipologia di impianto	N (% abbattimento)	P (% abbattimento)
AE ≥ 10.000	75	80
2.000 ≤ AE < 10.000	70	60
AE < 2.000	60	50

Sulla base di studi effettuati dalla Regione Veneto (Allegato A DGR nr. 1872 del 17 dicembre 2019) è stato attribuito un valore di incertezza associato alle stime dei carichi in uscita di N e di P pari rispettivamente a 18% e 23%. I carichi in uscita di azoto e fosforo sono riportati nella Tabella 3.

Tabella 3. Carichi in uscita di azoto e fosforo stimati (attività di reporting 2020 della direttiva 91/271/CE) con le relative incertezze.

Sottoregione	Carico di N (tonn/anno)	Carico di P (tonn/anno)
Mare Adriatico	10278 ± 1850	1453 ± 334
Mar Mediterraneo Occidentale	6483 ± 1167	938 ± 216
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	3593 ± 647	545 ± 125

I carichi di azoto e fosforo incidenti nella sottoregione Mar Adriatico non si discostano da quelli stimati nel sessennio precedente. Il carico di azoto relativo alle altre sottoregioni diminuisce sensibilmente rispetto al precedente sessennio; il carico di fosforo diminuisce nella sottoregione Mar Mediterraneo Occidentale mentre rimane invariato nella sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale.

2.1.3 Carichi nutrienti da fonti d'acquacoltura

Le attività di acquacoltura di specie ittiche possono determinare apporti di nutrienti nell'ambiente marino e sono considerate un potenziale fattore di eutrofizzazione. L'apporto di N e P dipende dall'utilizzo di mangimi utilizzati per la crescita delle specie allevate e dai prodotti di escrezione metabolica, feci e mangime non ingerito immessi nell'ecosistema marino.

Il piano monitoraggio di azoto totale, fosforo totale, N-NH₄ e Clorofilla 'a' è stato condotto nell'ambito delle attività MSFD ARPA (modulo 6A) nel periodo 2016-2021 in 12 aree marino costiere e offshore dove sono presenti impianti di maricoltura in gabbie in mare per l'allevamento di spigola (*Dicentrarchus labrax*) e orata (*Sparus aurata*). Non risultano monitoraggi per impianti d'acquacoltura localizzati a terra che scaricano i reflui in acque marino costiere.

Le 12 aree d'indagine sono localizzate nelle acque marino costiere delle 3 sottoregioni, come illustrato in **Figura 12**: 2 aree nella MRU Mar Adriatico (Friuli-Venezia Giulia e Puglia), 2 aree nella MRU Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale (Sicilia), 8 aree nella MRU Mediterraneo Occidentale (Campania, Lazio, Liguria, Sardegna, Toscana). Per ogni area d'indagine sono state individuate un minimo di 3 stazioni di campionamento per la colonna d'acqua, definite con coordinate geografiche e nominate i) stazione d'impatto sita nell'area in concessione per l'allevamento; 2) stazione d'influenza, fuori dal reticolo d'ormeggio e ad una distanza di circa 100 mt dalla stazione d'impatto e iii) stazione di controllo (circa 1 km). Alcuni siti d'allevamento sono stati oggetto di monitoraggi occasionali e mentre in altri siti le stazioni di monitoraggio non sono risultate posizionate in maniera ottimale per le finalità del monitoraggio e sono state pertanto escluse dall'analisi.

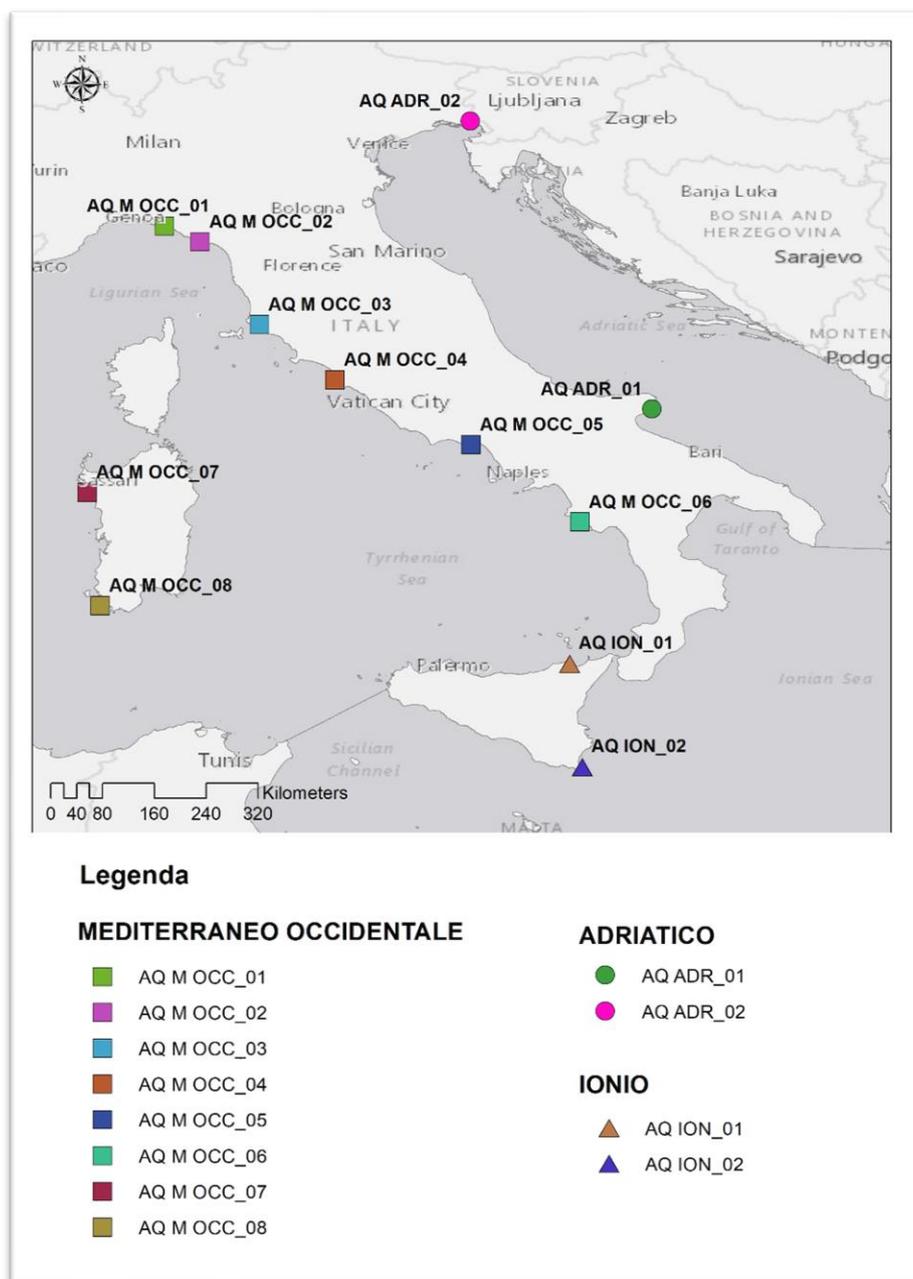


Figura 12. Distribuzione delle aree marino costiere e offshore dove sono presenti impianti di maricoltura in gabbie in mare per l'allevamento di spigola (*Dicentrarchus labrax*) e orata (*Sparus aurata*) in cui le ARPA hanno condotto il monitoraggio di azoto totale, fosforo totale, azoto ammoniacale e Clorofilla 'a' nel periodo 2016-2021.

I dati acquisiti tramite i monitoraggi effettuati dalle ARPA non consentono valutazioni conclusive circa gli effetti delle attività di allevamento ittico sulle concentrazioni nutrienti nelle aree oggetto d'indagine. I valori di N-NH₄, N-tot, P-tot e Chl 'a' (quando disponibili), calcolati come media geometrica per ogni area d'indagine

nei periodi di monitoraggio e per le tre stazioni di campionamento sono sintetizzati in Tabella 4, Tabella 5, Tabella 6 per le tre MRU.

Negli impianti di acquacoltura localizzati in acque marino costiere (a meno di 1 mn dalla linea di base) le concentrazioni di nutrienti nella colonna d'acqua sono più elevate e nel caso del fosforo totale significativamente più alte del valore limite soglia in tutte le stazioni di campionamento. Tuttavia, la vicinanza di strutture portuali al sito d'allevamento e la mancanza di dati sull'idrodinamismo nell'area non consentono di porre in relazione l'arricchimento di fosforo totale misurato nella colonna d'acqua con le attività di maricoltura.

Tabella 4. Valori di azoto ammoniacale (N-NH₄), azoto totale (N-tot), fosforo totale (P-tot) e clorofilla 'a' (Chl 'a') nella colonna d'acqua per le due aree d'indagine e nelle tre stazioni di monitoraggio per la sottoregione Mar Adriatico.

Sottoregione Mar Adriatico						
Annualità	Stazione denominazione	Stazione tipologia	N-NH ₄ μmol/l	N-tot μmol/l	P-tot μmol/l	Chl 'a' μg/l
2016-2021	AQ ADR_01.1	Impatto	47,020	22,343	1,189	/
2016-2021	AQ ADR_01.2	Influenza	46,651	22,024	0,927	/
2016-2021	AQ ADR_01.4	Controllo	46,308	14,195	1,064	/
2021	AQ ADR_02.1	Impatto	0,964	40,143	0,293	/
2021	AQ ADR_02.2	Influenza	0,714	36,768	0,302	/
2021	AQ ADR_02.3	Controllo	0,404	31,088	0,260	/

Tabella 5. Valori di azoto ammoniacale (N-NH₄), azoto totale (N-tot), fosforo totale (P-tot) e clorofilla 'a' (Chl 'a') nella colonna d'acqua per le due aree d'indagine e nelle tre stazioni di monitoraggio per la sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale.

Sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale						
Annualità	Stazione denominazione	Stazione tipologia	N-NH ₄ μmol/l	N-tot μmol/l	P-tot μmol/l	Chl 'a' μg/l
2016-2019	AQ ION_01.1	Impatto	0,995	16,272	0,338	/
2016-2019	AQ ION_01.2	Influenza	1,096	17,945	0,323	/
2016-2019	AQ ION_01.3	Controllo	1,291	18,314	0,410	/
2016-2019	AQ ION_02.1	Impatto	1,060	16,312	0,333	/
2016-2019	AQ ION_02.2	Influenza	1,124	17,329	0,268	/
2016-2019	AQ ION_02.3	Controllo	1,333	15,941	0,294	/

Tabella 6. Valori di azoto ammoniacale (N-NH₄), azoto totale (N-tot), fosforo totale (P-tot) e clorofilla 'a' (Chl 'a') nella colonna d'acqua per le otto aree d'indagine e nelle tre stazioni di monitoraggio per la sottoregione Mar Mediterraneo Occidentale.

Sottoregione Mar Mediterraneo Occidentale						
Annualità	Stazione denominazione	Stazione tipologia	N-NH ₄ μmol/l	N-tot μmol/l	P-tot μmol/l	Chl 'a' μg/l
2016-2021	AQ M OCC_01.3	Impatto	0,638	7,505	0,457	0,351
2016-2021	AQ M OCC_01.4	Influenza	0,500	7,373	0,339	0,357
2018-2021	AQ M OCC_01.5	Controllo	0,562	8,162	0,212	/
2021-2021	AQ M OCC_01.6	Influenza	0,360	7,713	0,104	/
2020_2021	AQ M OCC_02.1	Impatto	4,584	21,133	0,529	/
2020_2021	AQ M OCC_02.2	Influenza	2,055	17,568	0,364	/

Sottoregione Mar Mediterraneo Occidentale						
Annualità	Stazione denominazione	Stazione tipologia	N-NH4 μmol/l	N-tot μmol/l	P-tot μmol/l	Chl 'a' μg/l
2020_2021	AQ M OCC_02.3	Controllo	0,728	13,297	0,370	/
2021	AQ M OCC_03.1	Impatto	2,000	3,575	0,200	/
2021	AQ M OCC_03.2	Influenza	2,000	3,900	0,200	/
2021	AQ M OCC_03.3	Controllo	2,000	3,400	0,200	/
2021	AQ M OCC_04.1	Impatto	0,180	3,540	0,485	/
2021	AQ M OCC_04.2	Influenza	1,100	9,035	0,340	/
2021	AQ M OCC_04.3	Controllo	0,180	3,785	0,745	/
2021	AQ M OCC_05.1	Impatto	17,250	20,050	0,150	/
2021	AQ M OCC_05.2	Influenza	10,500	15,200	0,150	/
2021	AQ M OCC_05.3	Controllo	6,500	11,000	0,150	/
2020_2021	AQ M OCC_06.1	Impatto	1,492	20,605	0,714	/
2020_2021	AQ M OCC_06.2	Influenza	1,380	22,580	1,044	/
2020_2021	AQ M OCC_06.3	Controllo	1,576	19,059	0,521	/
2016-2020	AQ M OCC_07.2	Influenza	0,889	6,138	0,450	0,839
2016-2020	AQ M OCC_07.3	Impatto	0,900	4,841	0,575	0,743
2016-2020	AQ M OCC_07.4	Controllo	1,036	5,241	0,500	0,572
2016-2020	AQ M OCC_08.1	Impatto	0,450	11,184	0,468	0,120
2016-2020	AQ M OCC_08.3	Influenza	0,450	12,903	0,455	0,138
2016-2020	AQ M OCC_08.4	Controllo	0,450	12,660	0,459	0,100

Ai fini della stima del carico di nutrienti d'acquacoltura sono stati utilizzati i dati disponibili nell'Annuario dei Dati Ambientali (ADA) di ISPRA, Tema Acquacoltura, per il periodo di riferimento 2016, 2018, 2019 e 2020, secondo la metodologia ADA (Marino e Tomasetti, 2017).

Tabella 7. Quantità di azoto e fosforo (tonn/anno) da impianti di piscicoltura (2016, 2018-2020), secondo le elaborazioni dell'Annuario Dati Ambientali ISPRA.

Sottoregione	2016		2018		2019		2020	
	Azoto	Fosforo	Azoto	Fosforo	Azoto	Fosforo	Azoto	Fosforo
Mare Adriatico	397,0	69,0	313,55	53,6	117,6	20,2	127,7	21,9
Mar Mediterraneo Occidentale	725,0	126,0	1082,03	185,8	978,3	168,3	884,4	152,1
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	281,0	48,0	214,7	36,9	22,2	3,9	26,4	4,5

2.2 Valori soglia per la valutazione ambientale

I valori soglia *good/not good* per ciascun indicatore/criterio primario sono stati individuati in base alla già citata 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).

Per ogni sottoregione in **Tabella 8** sono riportati valori soglia *good/not good* per ogni criterio considerato e per ogni WT con relativo riferimento bibliografico.

L'indicatore **clorofilla** è il parametro per il quale si è concluso il coordinamento sub-regionale (in ambito WFD) e regionale (in ambito Convenzione di Barcellona) e per il quale vi sono valori soglia concordati e consolidati. Per l'indicatore legato al **fosforo** nella maggior parte degli Stati Membri le soglie sono state identificate in funzione delle concentrazioni di P-PO₄ (ortofosfato) o TP (fosforo totale). 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 e per cui non sono solo le soglie ad essere sensibilmente diverse, ma anche lo specifico parametro a cui sono associate. 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 diversi Stati si fa riferimento al limite tra ipossia e anossia da letteratura scientifica (Diaz &

Rosenberg, 1995²; OC, 2009³). L'Italia già nel report 2018 ha indicato quale valore soglia per l'ossigeno disciolto una concentrazione pari a 3 mg/L nelle acque di fondo convenzionalmente riferibile all'insorgere di condizioni di ipossia.

Ad oggi non vi sono valori soglia stabiliti attraverso la cooperazione regionale (Convenzione di Barcellona) o sub-regionale con riferimento alla concentrazione di nutrienti nelle acque oltre al limite dei corpi idrici costieri della Direttiva 2000/60/EC, né sono stati ancora fissati dall'Italia valori soglia per i nutrienti nelle acque marino-costiere, quali elementi fisico-chimici a supporto della valutazione dell'Elemento di Qualità Biologica (EQB) 'Fitoplancton' della Direttiva 2000/60/EC. Allo stato attuale non vi sono valori soglia per i nutrienti adottati a livello UNEP/MAP.

Per la sottoregione Mar Adriatico e Mar Mediterraneo Occidentale, per la **Clorofilla 'a'** si fa riferimento agli esiti degli Esercizi di Intercalibrazione a livello di Ecoregione Mediterranea per l'Elemento di Qualità Biologica (EQB) 'fitoplancton' della (MED-CIS)⁴ della Direttiva 2000/60/CE pubblicati nella Commission Decision (EU) 2018/229 del 12 febbraio 2018 e riportati anche in Giovanardi *et al.* 2018⁵. Stesso dicasi per il **fosforo totale** (TP) che è strettamente correlato alla produzione primaria in acque ad elevato livello trofico quali quelle dell'Alto Adriatico, ed è stato utilizzato nel processo di intercalibrazione tra i Paesi euro-mediterranei per definire le condizioni di riferimento e i valori limite tra le classi per la classificazione dell'EQB fitoplancton con riferimento alla concentrazione di clorofilla 'a'. L'indicatore **azoto inorganico (DIN)** è quello per il quale vi è minore accordo in bibliografia e nell'applicazione della MSFD tra i diversi paesi membri del Mediterraneo. Per questo indicatore sono quindi proposte per le finalità del presente report le soglie individuate nell'ambito del progetto UE MEDREGION (*Support Mediterranean Member States towards the implementation of the*

² 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.

³ OC, 2009. Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. Second OSPAR Integrated Report. OSPAR Commission.

⁴ Report "Water Framework Directive 3rd Intercalibration Phase, Mediterranean Geographical Intercalibration Group - Coastal waters – BQE "phytoplankton", November 2014

⁵ 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.

Marine Strategy Framework Directive new good environmental status decision and programmes of measures and contribute to regional/subregional cooperation, pubblicate in Giani et al. 2024⁶.

Per la **clorofilla superficiale e la concentrazione di TP** nella sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale sono state applicate le soglie individuate in Giovanardi et al., 2018 per acque di tipo II e III del Mar Tirreno, dal momento che la sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale ha caratteristiche più simili a quelle del Tirreno che a quelle del Mar Adriatico. Mentre per il **DIN**, analogamente a quanto già fatto per il Tirreno, sono state applicate le stesse soglie individuate per Water Type dell'Adriatico nel progetto UE MEDREGION (Giani et al. 2024).

Tabella 8. Valori soglia dello stato (good/not good) per sottoregione e per water type (WT) per ognuno dei criteri primari e relativi parametri della Decisione UE 2017/848.

Sottoregione	Water type	Criterio	Parametro considerato	Valore soglia <i>good/not good</i>	Riferimento
Mar Adriatico	WT I	D5C2	Clorofilla a (CHLA)	6,3 µg/L <i>coastal</i> ; 3,1 µg/L <i>offshore</i>	Giovanardi et al. 2018 e UNEP/MED WG.563/7
Mar Adriatico	WT IIA (Adriatic)	D5C2	Clorofilla a (CHLA)	1,5 µg/L <i>coastal</i>	Giovanardi et al. 2018 e UNEP/MED WG.563/7
Mar Adriatico	WT IIIA (Adriatic)	D5C2	Clorofilla a (CHLA)	0,64 µg/L	Giovanardi et al. 2018 e UNEP/MED WG.563/7
Mar Mediterraneo Occidentale	WT IIW (West)	D5C2	Clorofilla a (CHLA)	1,2 µg/L	Giovanardi et al. 2018 e UNEP/MED WG.563/7
Mar Mediterraneo Occidentale	WT IIIW (West)	D5C2	Clorofilla a (CHLA)	0,48 µg/L	Giovanardi et al. 2018 e UNEP/MED WG.563/7
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	WT II	D5C2	Clorofilla a (CHLA)	1,2 µg/L	WT IIW
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	WT IIIW	D5C2	Clorofilla a (CHLA)	0,48 µg/L	WT IIIW
Mar Adriatico	WT I	D5C1	Fosforo Totale (TP)	0,55 µmol/L	Giovanardi et al. 2018
Mar Adriatico	WT IIA (Adriatic)	D5C1	Fosforo Totale (TP)	0,48 µmol/L	Giovanardi et al. 2018
Mar Adriatico	WT IIIA (Adriatic)	D5C1	Fosforo Totale (TP)	0,26 µmol/L	Giovanardi et al. 2018
Mar Mediterraneo Occidentale	WT IIW (West)	D5C1	Fosforo Totale (TP)	0,76 µmol/L	Giovanardi et al. 2018
Mar Mediterraneo Occidentale	WT IIIW (West)	D5C1	Fosforo Totale (TP)	0,35 µmol/L	Giovanardi et al. 2018

⁶ Giani M., Pavlidou A., Kralj M., Varkitzi M., Borja A., Menchaca I., Lipizer M., Partescano E., Urbini L., Francé J., Magaletti E., Nguyen Xuan A., Lanera P., Skejčić S., Ivanković D., Ninčević Gladan Z., Matijević S., Pantazi M., Pagou K. 2024. Assessment of the eutrophication status at Mediterranean sub-basin scale, within the European Marine Strategy Framework Directive. *Science of the Total Environment* (Accepted).

Sottoregione	Water type	Criterio	Parametro considerato	Valore soglia <i>good/not good</i>	Riferimento
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	WT II	D5C1	Fosforo Totale (TP)	0,76 µmol/L	WT IIW
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	WT III	D5C1	Fosforo Totale (TP)	0,35 µmol/L	WT IIIW
Mar Adriatico	WT I	D5C1	Azoto inorganico (DIN)	15,6 µmol/L	Giani <i>et al.</i> 2024
Mar Adriatico	WT IIA (Adriatic)	D5C1	Azoto inorganico (DIN)	6,9 µmol/L	Giani <i>et al.</i> 2024
Mar Adriatico	WT IIIA (Adriatic)	D5C1	Azoto inorganico (DIN)	1,6 µmol/L	Giani <i>et al.</i> 2024
Mar Mediterraneo Occidentale	WT IIW (West)	D5C1	Azoto inorganico (DIN)	6,9 µmol/L	Giani <i>et al.</i> 2024
Mar Mediterraneo Occidentale	WT IIIW (West)	D5C1	Azoto inorganico (DIN)	1,6 µmol/L	Giani <i>et al.</i> 2024
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	WT II	D5C1	Azoto inorganico (DIN)	6,9 µmol/L	Giani <i>et al.</i> 2024
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	WT III	D5C1	Azoto inorganico (DIN)	1,6 µmol/L	Giani <i>et al.</i> 2024
Mar Adriatico	WT I, WTIIA (Adriatic) WT IIIA (Adriatic)	D5C5	Ossigeno disciolto al fondo	3 mg/L	Italy MSFD Report 2018
Mar Mediterraneo Occidentale	WT IIW (West) WT IIIW (West)	D5C5	Ossigeno disciolto al fondo	3 mg/L	Italy MSFD Report 2018
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	WT II WT III	D5C5	Ossigeno disciolto al fondo	3 mg/L	Italy MSFD Report 2018

2.3 Valutazione dello stato ambientale secondo i criteri primari e applicazione valori soglia

La valutazione dello stato ambientale secondo i criteri primari è stata effettuata attraverso l'integrazione dei dati *in situ* acquisiti tramite il Monitoraggio WFD e MSFD con quanto reso disponibile dal *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) dell'Unione Europea. Tale integrazione è specificatamente riferita all'estensione spaziale coperta dai dati monitorati dai campionamenti MSFD e WFD, quindi entro le 12 miglia dalla costa. Per la valutazione dello stato ambientale delle acque marine oltre le 12 mn dalla costa e fino alla Zona Economica Esclusiva (EEZ) sono stati utilizzati i dati messi a disposizione dal servizio CMEMS.

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

2.3.1 Concentrazione di nutrienti (D5C1)

Criterio D5C1 della Decisione (UE) 2017/848 della Commissione Europea — Primario: I livelli di concentrazione dei nutrienti non indicano la presenza di effetti negativi dovuti all'eutrofizzazione.

I **valori soglia** indicati dalla Decisione (UE) 2017/848 sono i seguenti e sono riportati per le finalità del presente report in **Tabella 8**.

- a) per quanto riguarda le acque costiere, i valori fissati a norma della direttiva 2000/60/CE;
- b) al di fuori delle acque costiere, si tratta di valori coerenti con quelli per le acque costiere ai sensi della direttiva 2000/60/CE.

Il **GES** di riferimento da D.M. 17 ottobre 2014 a cui è collegato il criterio è il seguente: “Nelle acque oltre il limite dei corpi idrici costieri della Direttiva 2000/60/CE e fino al limite delle acque sottoposte alla giurisdizione nazionale, la concentrazione superficiale di nutrienti non deve superare valori soglia specifici in ciascuna delle aree o sotto-aree di valutazione”.

I limiti per il parametro **azoto** del criterio D5C1 nutrienti del descrittore D5 sono espressi in termini di **DIN**. Il DIN è calcolato come somma delle tre forme di azoto inorganico presenti in acqua, cioè ione ammonio NH_4 , ione nitrato NO_3 e ione nitrito NO_2 . Tuttavia, il modello biogeochimico del CMEMS non contiene una formulazione esplicita dello ione nitrito. Si è quindi proceduto a stimare dai dati disponibili la percentuale mediana della concentrazione di NO_2 sul DIN totale in modo da poterla derivare anche dai dati CMEMS.

I limiti per il parametro **fosforo** del criterio nutrienti del descrittore D5 sono espressi in termini di fosforo totale (**TP**). Le equazioni selezionate per convertire TP da PO₄ si basano esclusivamente su dati MSFD 2016-2021 e sono state derivate separatamente per ogni sottoregione escludendo i dati sotto il limite di quantificazione analitica e i dati outlier rispetto alla distribuzione statistica.

Si riportano di seguito (**Figura 13 e Figura 14**) le elaborazioni cartografiche delle concentrazioni di nutrienti in mare (DIN e TP, rispettivamente) utilizzando i dati CMEMS corretti con i dati *in situ* (MSFD e WFD) per le acque entro le 12 mn.

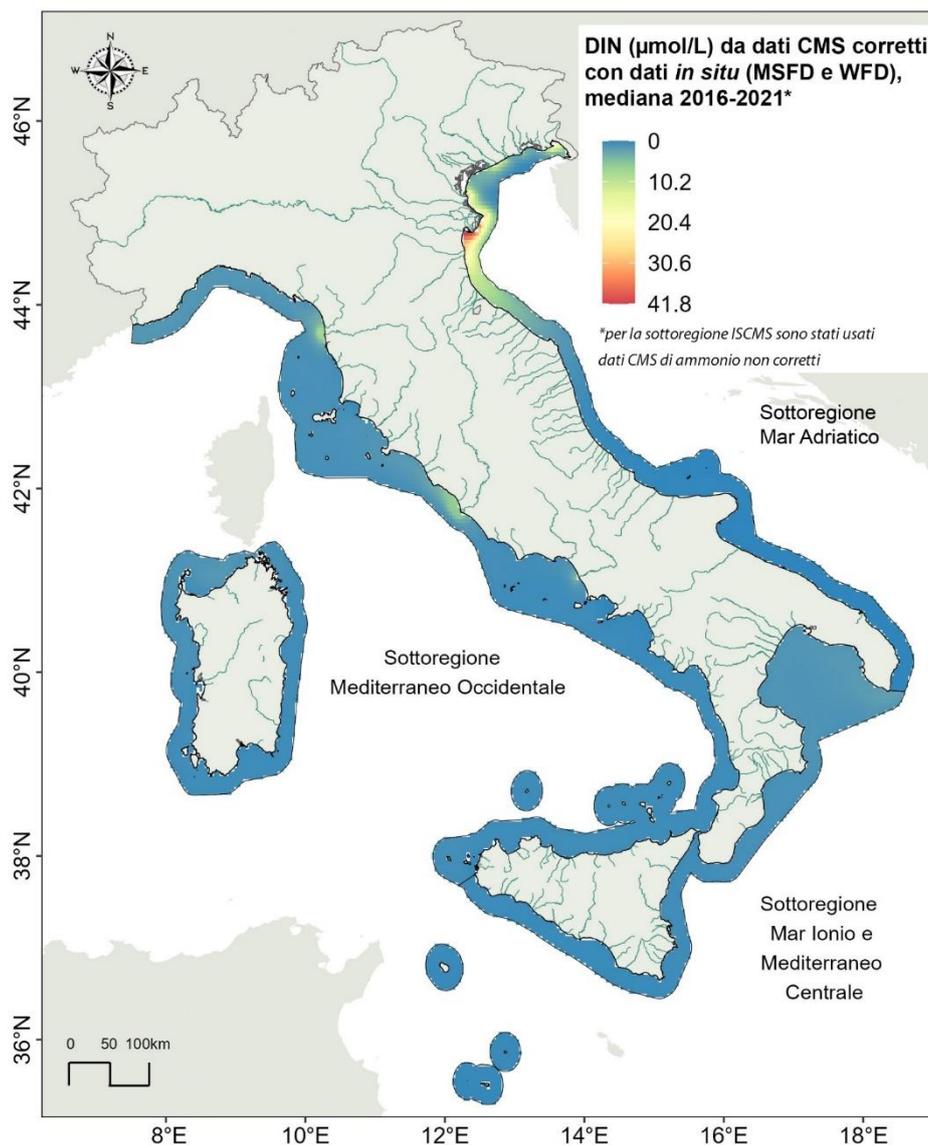


Figura 13. Concentrazione di Azoto Inorganico Dissolto (DIN) nelle acque marine entro le 12 mn per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS corretti con i dati *in situ* (monitoraggi MSFD e WFD).

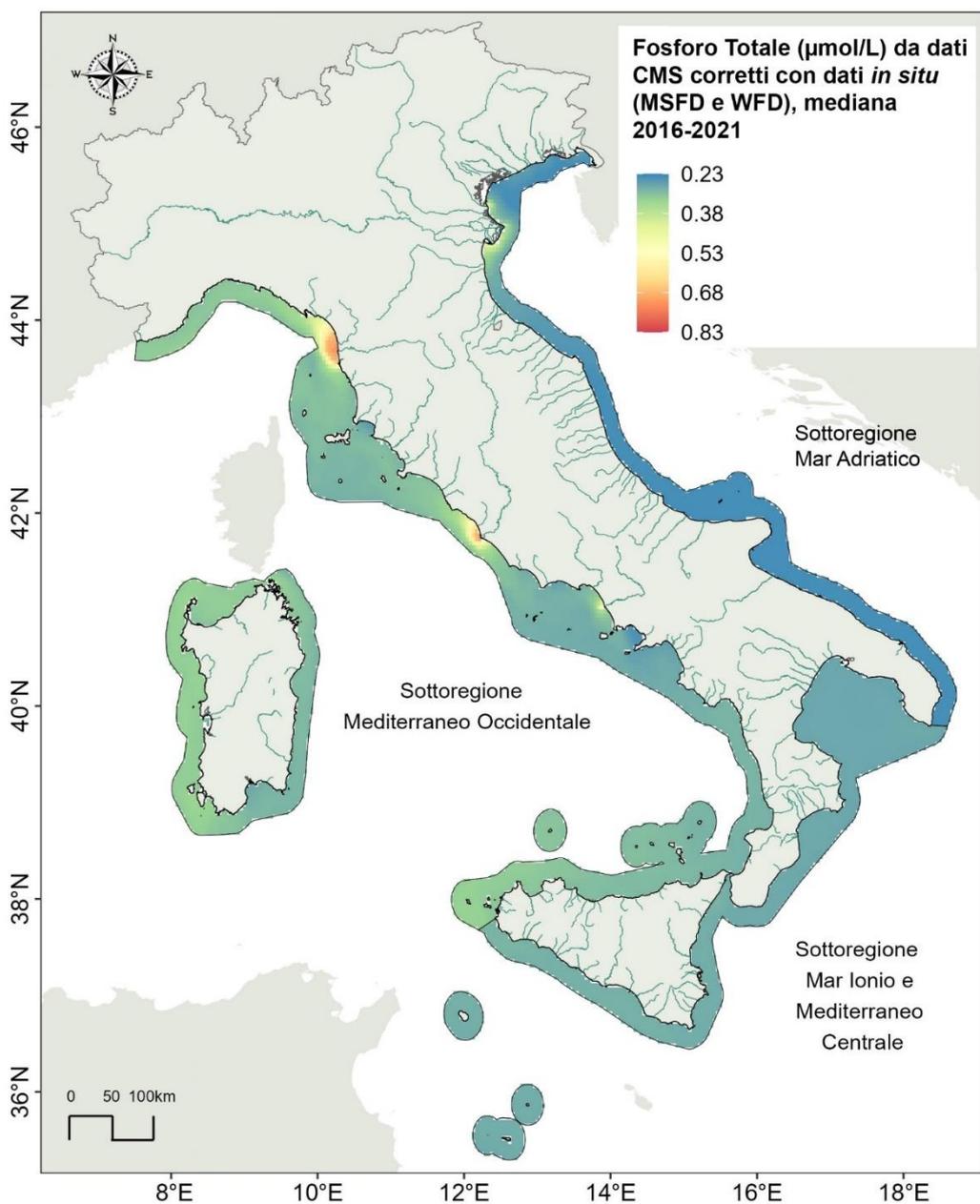


Figura 14. Concentrazione di Fosforo Totale (TP) nelle acque marine entro le 12 mn per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS corretti con i dati *in situ* (monitoraggi MSFD e WFD).

Si riportano di seguito (**Figura 15** e **Figura 16**) le elaborazioni cartografiche delle concentrazioni di nutrienti in mare (DIN e TP, rispettivamente) utilizzando i dati CMEMS per le acque oltre le 12 nm e fino al limite della EEZ (Zona Economica Esclusiva).

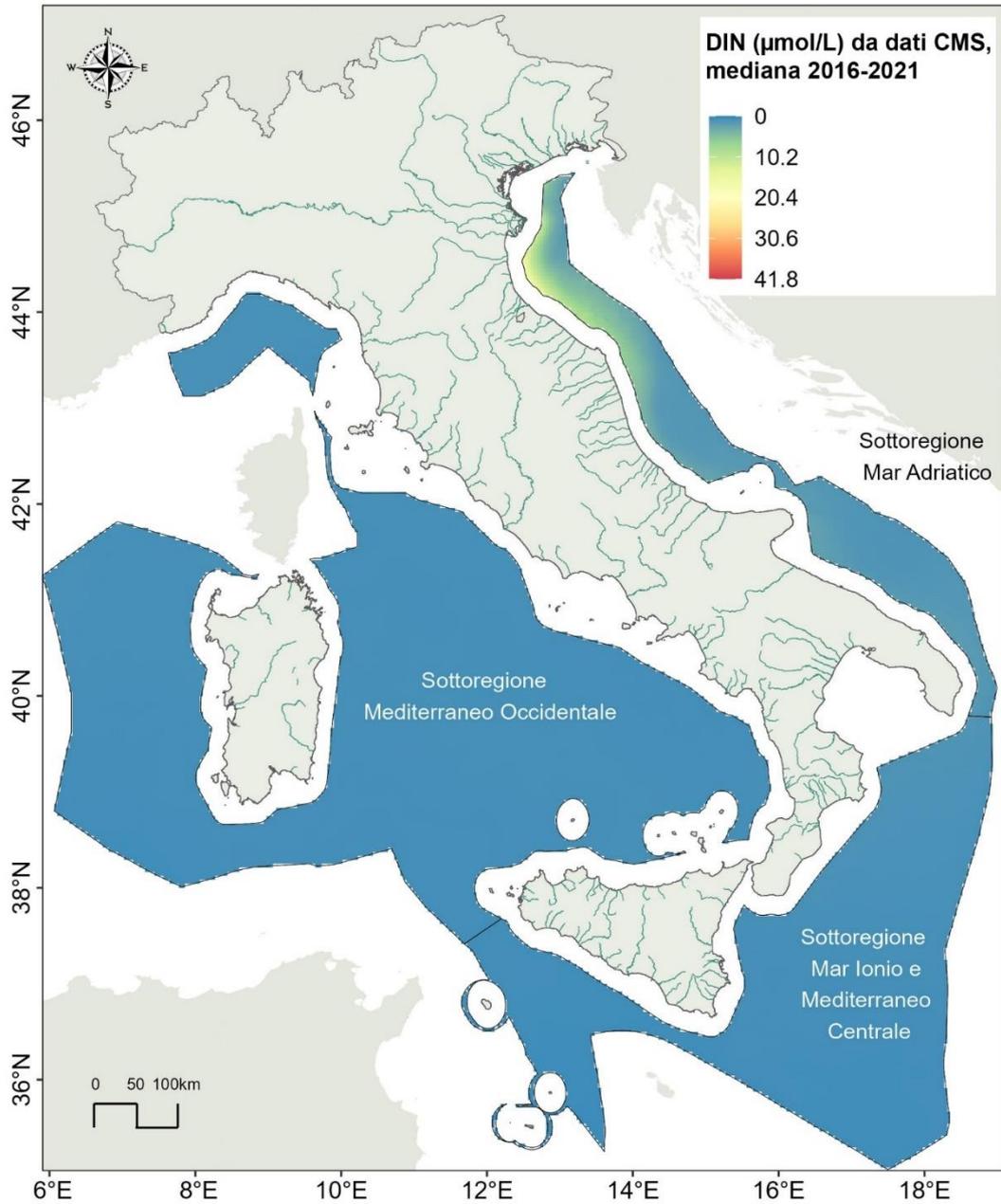


Figura 15. Concentrazione di Azoto Inorganico Dissolto (DIN) nelle acque marine tra il limite delle 12 nm e il limite della ZEE di competenza per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS.

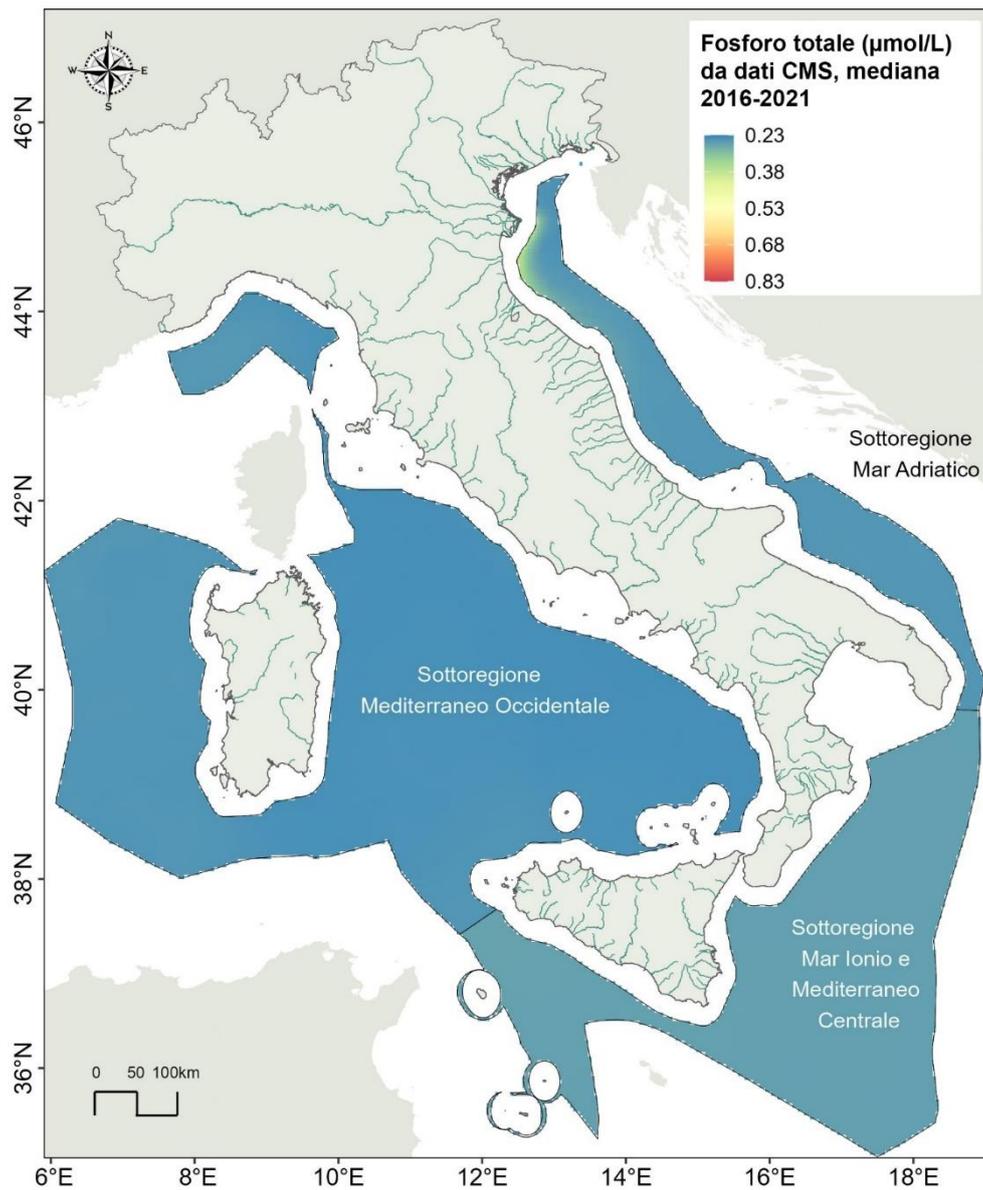


Figura 16. Concentrazione di Fosforo Totale (TP) nelle acque marine tra il limite delle 12 nm e il limite della ZEE di competenza per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS.

Si riportano di seguito (**Figura 17** e **Figura 18**) le elaborazioni cartografiche relative al raggiungimento o meno dello stato *good/not good* per i nutrienti (DIN e TP) nelle acque italiane.

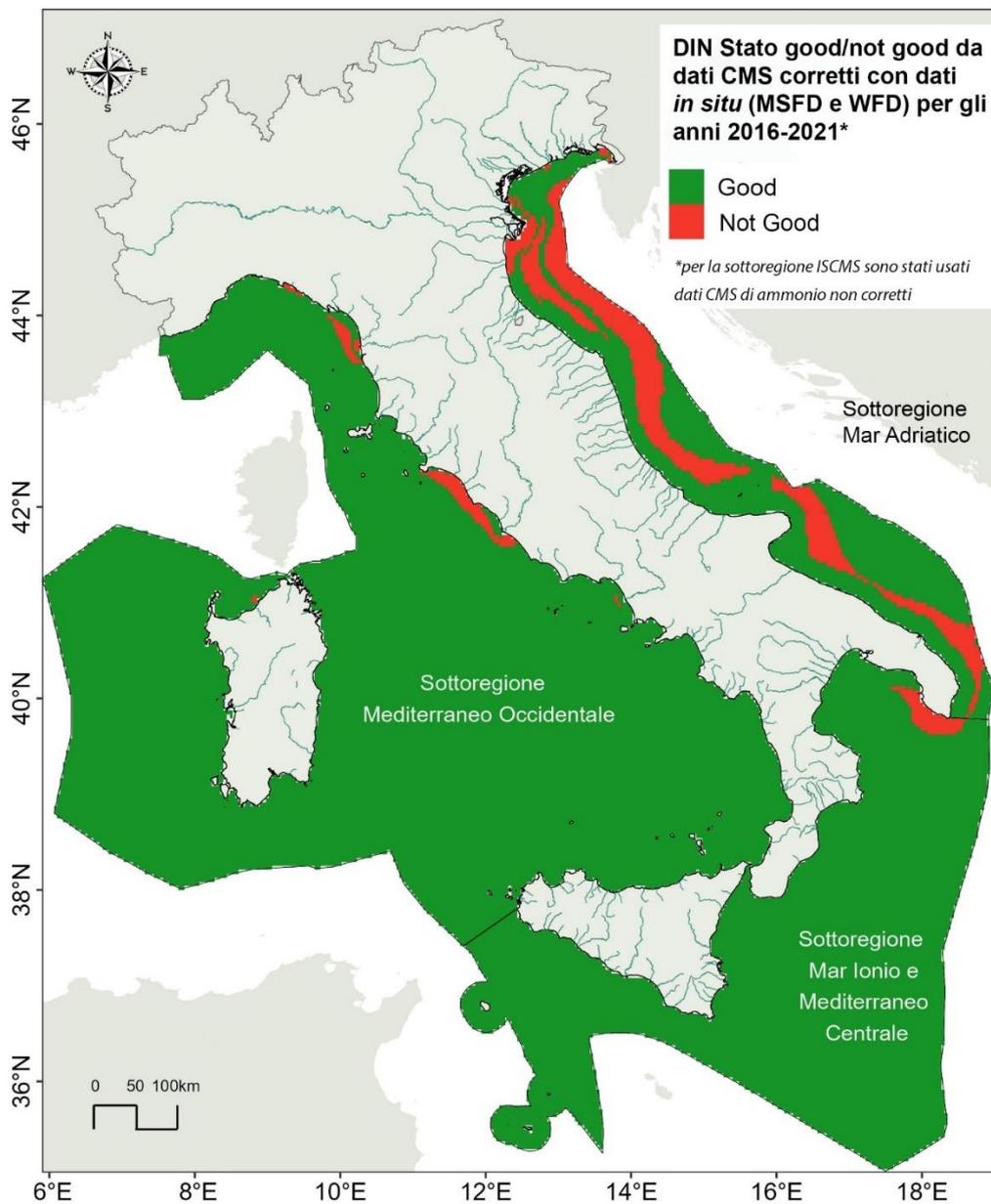


Figura 17. Valutazione dello stato (*good/not good*) dell'indicatore DIN a seguito dell'applicazione dei valori soglia del criterio D5C1 Nutrienti di cui alla **Tabella 8**.

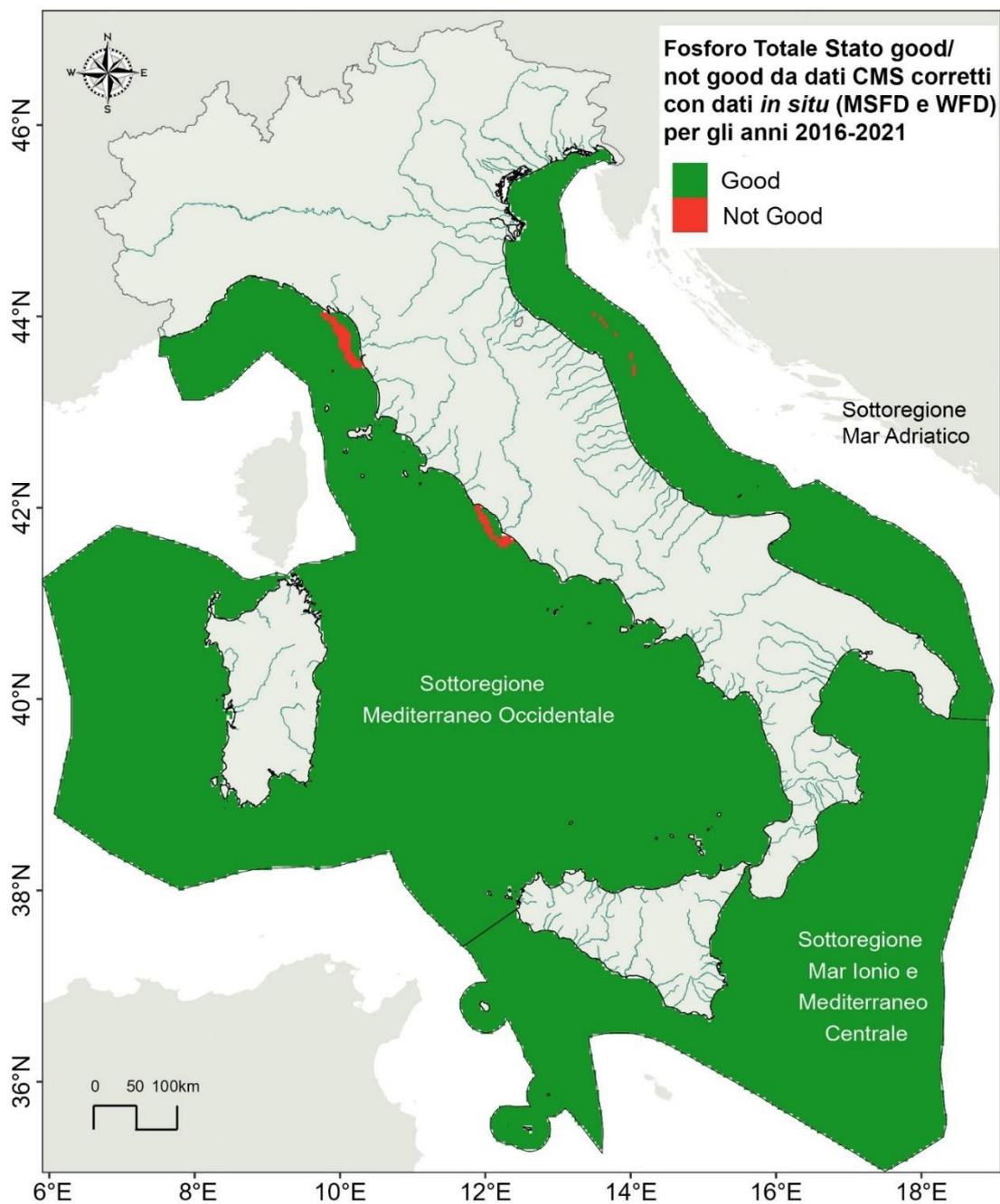


Figura 18. Valutazione dello stato (*good/not good*) dell'indicatore TP del criterio D5C1 Nutrienti a seguito dell'applicazione dei valori soglia del criterio D5C1 Nutrienti di cui alla **Tabella 8**.

2.3.2 Concentrazione di clorofilla 'a' (D5C2)

Criterio D5C2 della Decisione (UE) 2017/848 della Commissione Europea — Primario: Le concentrazioni di clorofilla 'a' non sono a livelli che indicano effetti negativi dovuti ad eccesso di nutrienti.

I **valori di soglia** indicati dalla Decisione (UE) 2017/848 sono i seguenti e sono riportati per le finalità del presente report in **Tabella 8**:

- a) per quanto riguarda le acque costiere, i valori fissati a norma della direttiva 2000/60/CE;
- b) al di fuori delle acque costiere, si tratta di valori coerenti con quelli per le acque costiere ai sensi della direttiva 2000/60/CE. Gli Stati membri stabiliscono questi valori attraverso la cooperazione regionale o sottoregionale.

Esistono valori soglia tipo-specifici di clorofilla 'a' formalmente adottati in ambito Direttiva 2000/60/EC (intesi come media geometrica annuale, calcolata su un periodo di 5 anni, della concentrazione superficiale di clorofilla 'a' nei corpi idrici marino-costieri), riportati in **Tabella 8**. Gli stessi valori soglia sono stati adottati a livello mediterraneo dall'UNEP/MAP e sono riportati nel documento IMAP (2017).

Il **GES** di riferimento da D.M. 17 ottobre 2014 a cui è collegato il criterio D5C2 è il seguente: "I corpi idrici costieri della Direttiva 2000/60/CE devono essere almeno in stato 'Buono' per l'**Elemento di Qualità Biologica 'Fitoplancton'**'; nelle acque oltre il limite dei corpi idrici e fino al limite delle acque sottoposte alla giurisdizione nazionale la concentrazione superficiale di clorofilla 'a' non deve superare valori soglia da definire per ciascuna delle aree o sotto-aree di valutazione".

Si riporta di seguito (**Figura 19**) l'elaborazione cartografica dell'andamento della clorofilla 'a' prodotta utilizzando i dati CMEMS corretti con i dati *in situ* (MSFD e WFD) per le acque entro le 12 mn.

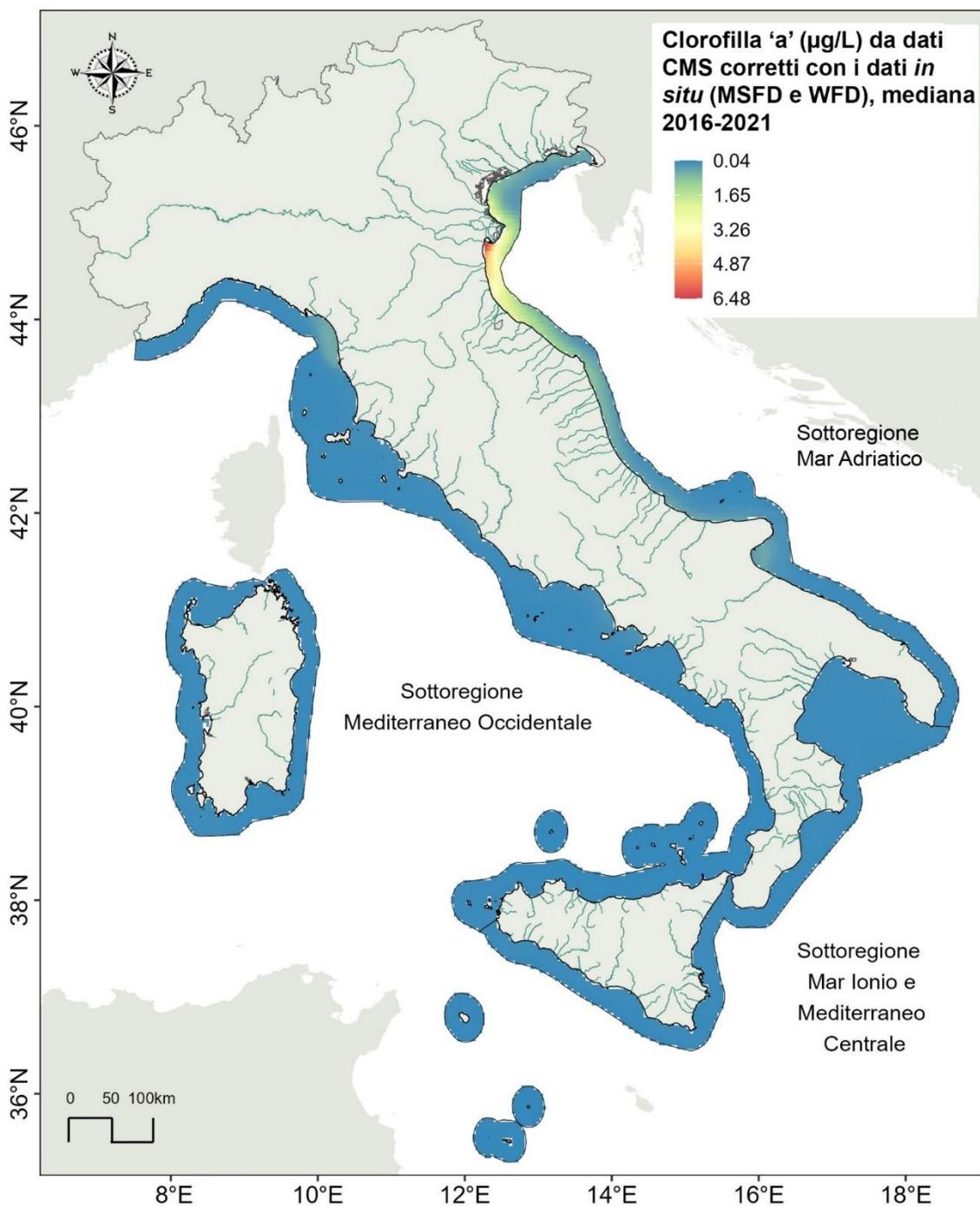


Figura 19. Concentrazione di Clorofilla 'a' nelle acque marine entro le 12 mn per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS corretti con i dati *in situ* (monitoraggi MSFD e WFD).

Si riporta di seguito (**Figura 20**) l'elaborazione cartografica dell'andamento della clorofilla prodotta utilizzando i dati CMEMS per le acque oltre le 12 nm e fino al limite della ZEE (Zona Economica Esclusiva).

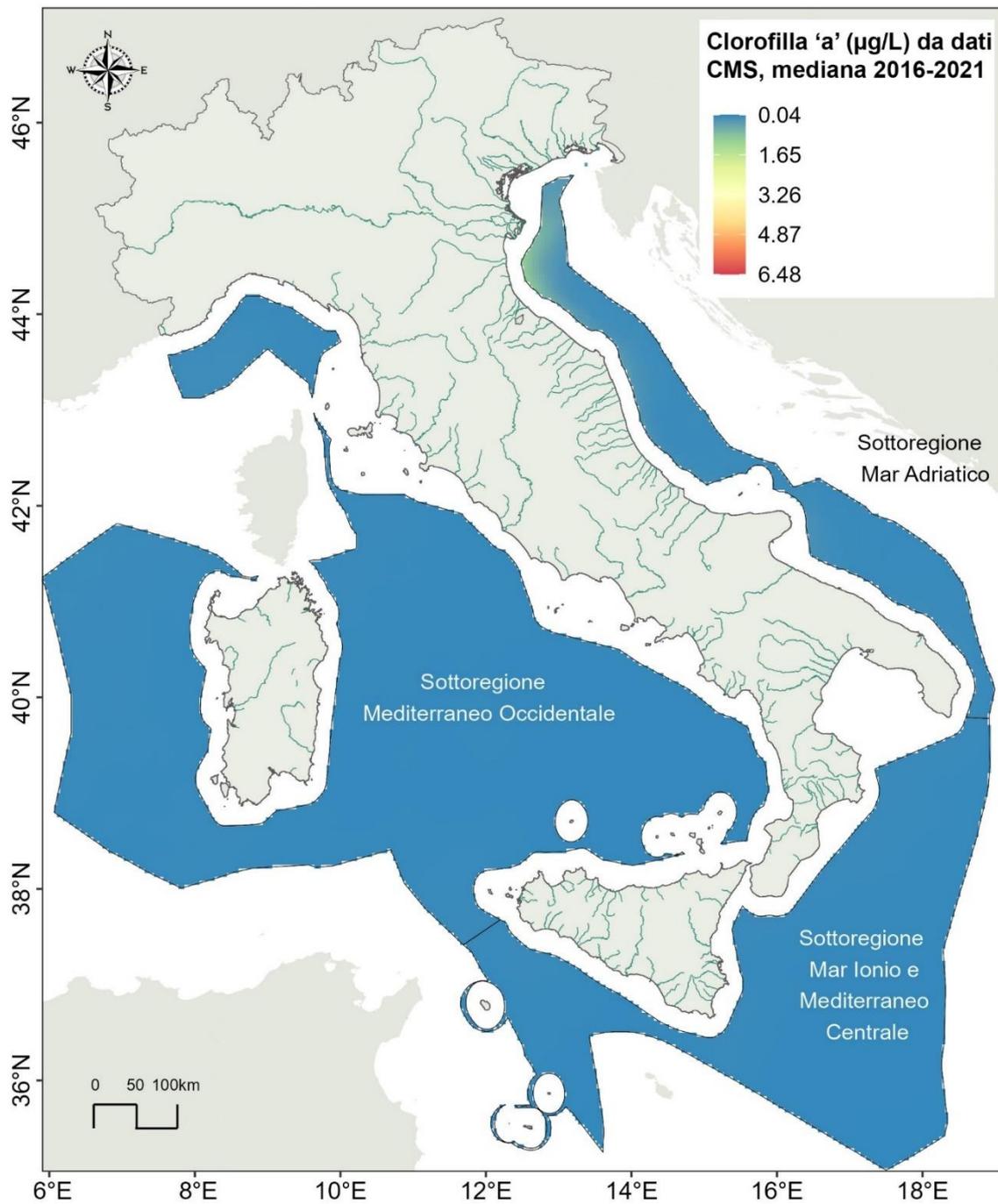


Figura 20. Concentrazione di Clorofilla 'a' nelle acque marine tra il limite delle 12 nm e il limite della ZEE di competenza per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS.

Si riporta di seguito (**Figura 21**) l'elaborazione cartografica relativa al raggiungimento o meno dello stato *good/not good* per la Clorofilla nelle acque italiane.

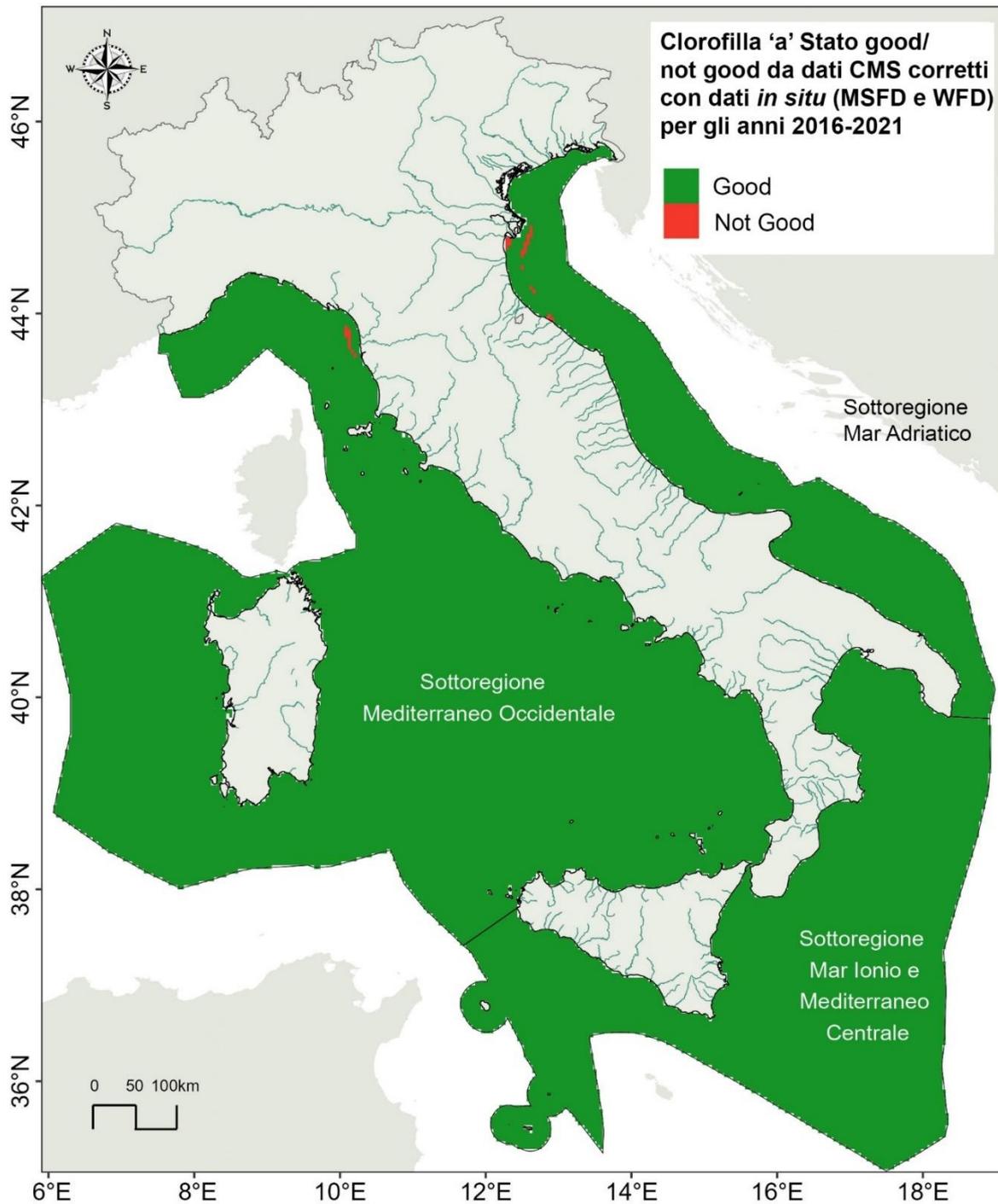


Figura 21. Valutazione dello stato (good/not good) dell'indicatore Clorofilla 'a' a seguito dell'applicazione dei valori soglia del criterio D5C2 Clorofilla di cui alla **Tabella 8**.

2.3.3 Concentrazione di ossigeno disciolto (D5C5)

Criterio D5C5 della Decisione (UE) 2017/848 della Commissione Europea — Primario: Nonostante l'eccesso di nutrienti, la concentrazione dell'ossigeno disciolto non è ridotta a livelli che indicano effetti negativi sugli habitat bentonici (compresi le specie mobili e il biota associati) o altri effetti dovuti all'eutrofizzazione.

I **valori di soglia** indicati dalla Decisione (UE) 2017/848 sono i seguenti e sono riportati per le finalità del presente report in **Tabella 8**:

- a) per quanto riguarda le acque costiere, i valori fissati a norma della direttiva 2000/60/CE;
- b) al di fuori delle acque costiere, si tratta di valori coerenti con quelli per le acque costiere ai sensi della direttiva 2000/60/CE. Gli Stati membri stabiliscono questi valori attraverso la cooperazione regionale o sottoregionale.

Non vi sono valori soglia per l'ossigeno disciolto stabiliti ai sensi della Direttiva 2000/60/EC per le acque marino costiere italiane né vi sono valori soglia stabiliti in ambito di Convenzione di Barcellona (UNEP/MAP). I Paesi OSPAR considerano un *range* di concentrazione pari a 3-6 mg/L nelle acque di fondo quale valore soglia tra *'problem area'* e *'non problem area'* con riferimento all'eutrofizzazione e un valore soglia pari a 2 mg/L nelle acque di fondo come condizioni *'tossiche'* (i.e. anossiche). La Francia, per la sottoregione Mar Mediterraneo occidentale, utilizza quale valore soglia una concentrazione pari a 3 mg/L. Come già indicato dall'Italia nel Summary report 2018 viene utilizzato un valore soglia corrispondente a concentrazioni pari o inferiori a 3 mg/L nelle acque di fondo, sia per le acque costiere sia per le acque offshore, analogamente a quanto stabilito dalla Francia nel Mediterraneo occidentale e in linea con l'approccio OSPAR.

Il **GES** di riferimento da D.M. 17 ottobre 2014 a cui è collegato il criterio è il seguente: "Non vi sono fenomeni di sofferenza degli organismi bentonici né morie di pesci riconducibili a ipossia e/o anossia delle acque di fondo".

Si riporta di seguito (**Figura 22**) l'**elaborazione cartografica** delle concentrazioni di ossigeno disciolto nelle acque di fondo **prodotta utilizzando i dati *in situ* (MSFD e WFD) e i dati CMEMS per le acque entro le 12 mn.**

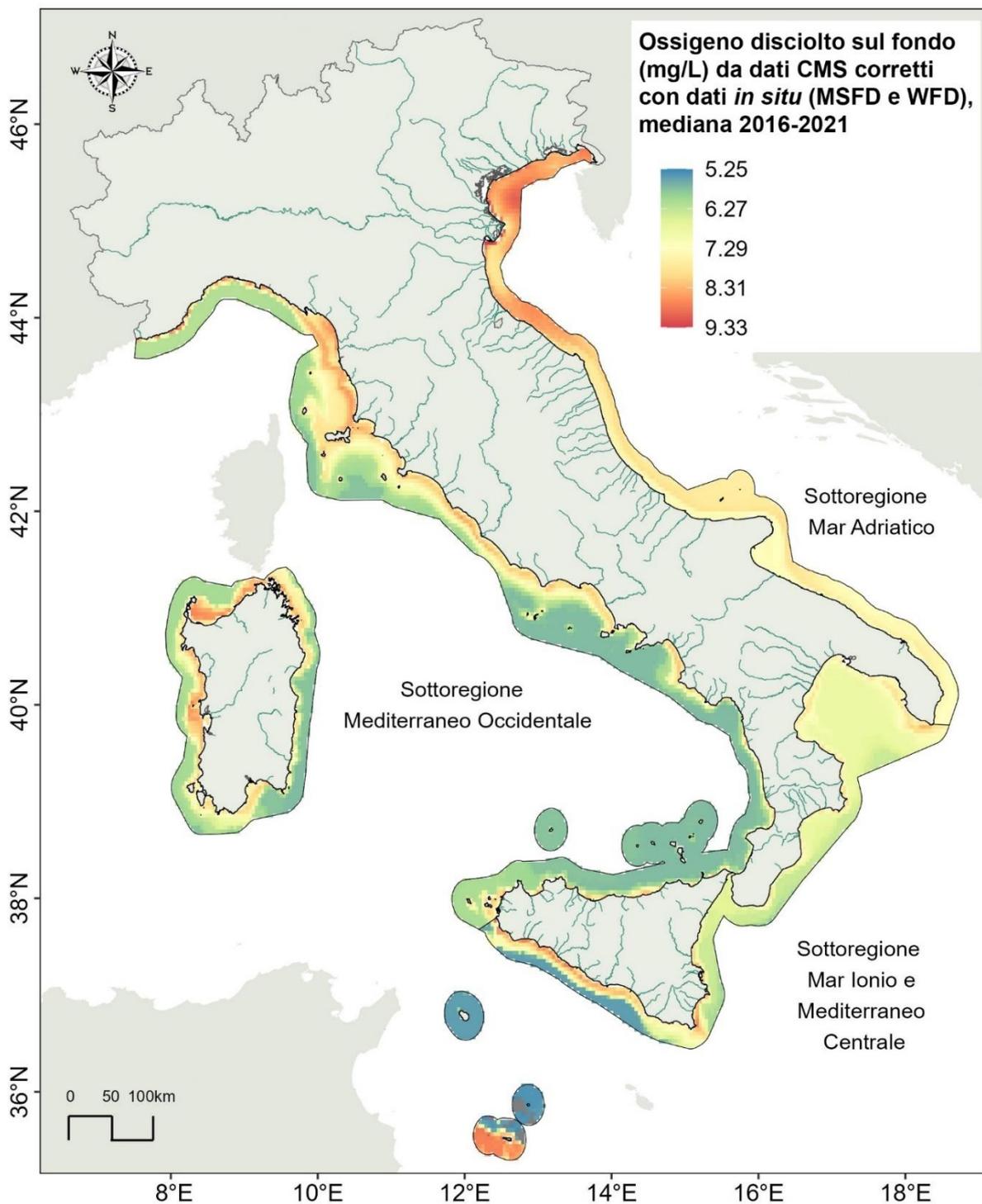


Figura 22. Concentrazione di Ossigeno disciolto sul fondo nelle acque marine entro le 12 mn per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS corretti con i dati *in situ* (monitoraggi MSFD e WFD).

Si riporta di seguito (**Figura 23**) l'elaborazione cartografica della concentrazione di ossigeno disciolto sul fondo prodotta utilizzando i dati CMEMS per le acque oltre le 12 nm e fino al limite della EEZ (Zona Economica Esclusiva).

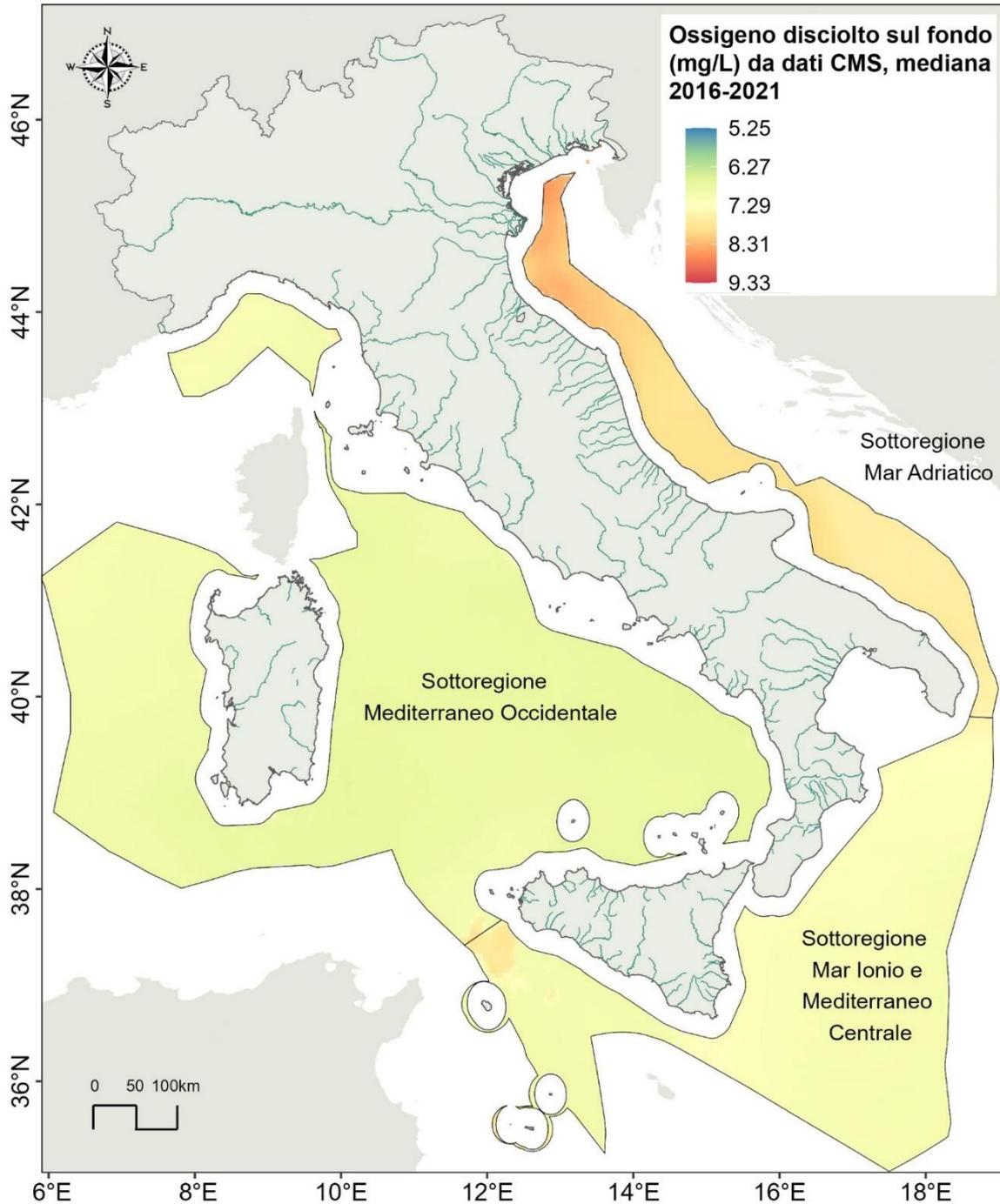


Figura 23. Concentrazione di Ossigeno disciolto sul fondo nelle acque marine tra il limite delle 12 nm e il limite della EEZ di competenza per il periodo 2016-2021 ottenuta utilizzando i dati CMEMS.

Si riporta di seguito (**Figura 24**) l'elaborazione cartografica relativa al raggiungimento o meno dello stato *good/not good* per l'ossigeno disciolto al fondo nelle acque italiane.

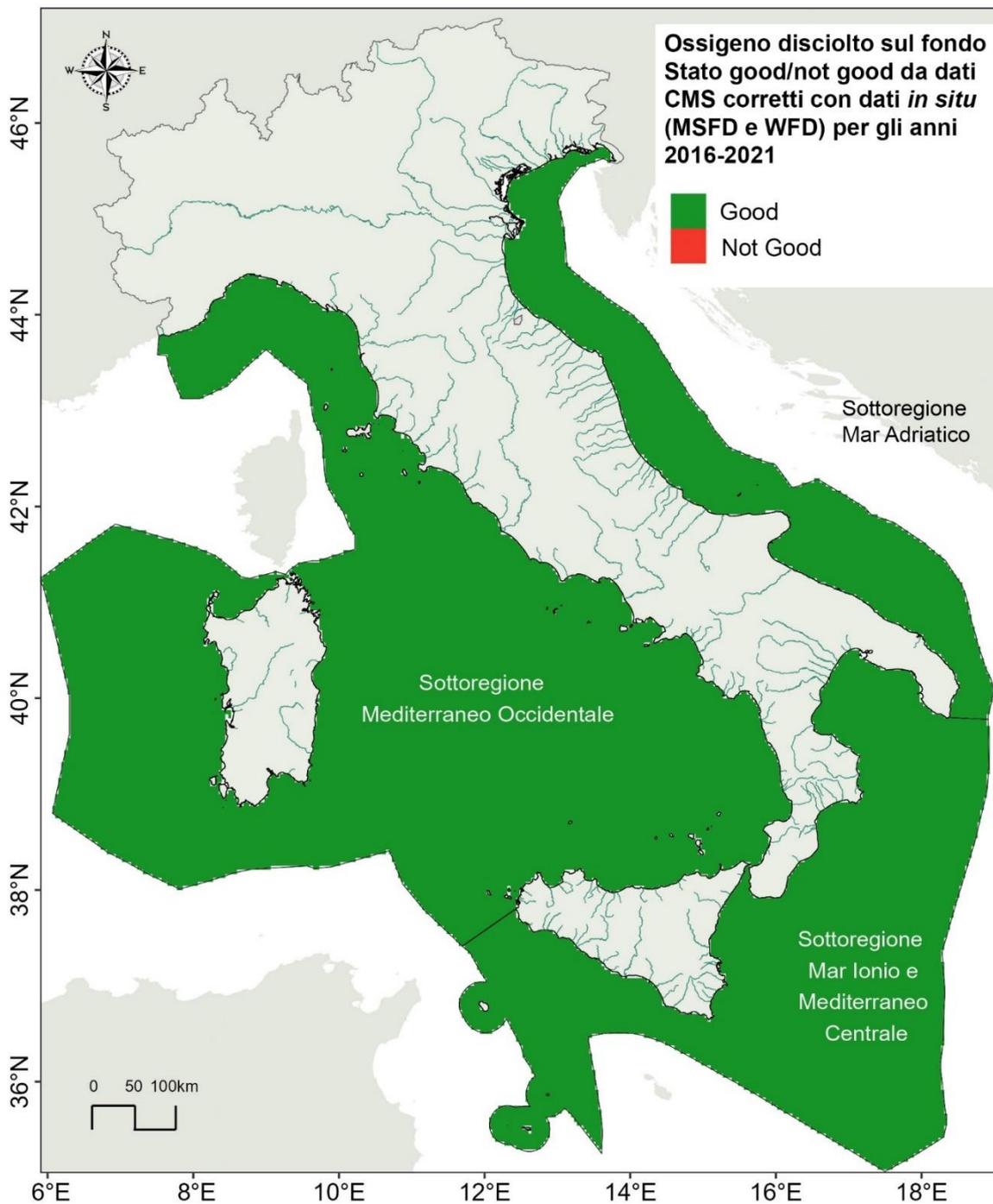


Figura 24. Valutazione dello stato (good/not good) dell'indicatore Ossigeno disciolto sul fondo a seguito dell'applicazione del valore soglia per il criterio D5C5 Ossigeno disciolto di fondo di cui alla **Tabella 8**.

2.3.4 Valutazione del raggiungimento del GES per il descrittore 5 sulla base di un indice multiparametrico

La MSFD (2008/56/EC) prevede che per i descrittori multiparametrici si giunga ad una valutazione complessiva GES/no GES a livello di descrittore per ciascuna MRU basata su tutti i criteri considerati.

L'indice complessivo multiparametrico (**Figura 25** e **Tabella 9**) è stato calcolato pesando allo stesso modo i tre criteri primari del descrittore 5, cioè la clorofilla 'a', l'ossigeno di fondo ed i nutrienti. I due indicatori considerati per il criterio nutrienti sono stati pesati per 4/7 il DIN e per 3/7 il TP, per riflettere il grado di incertezza derivante dalla modellizzazione operata.

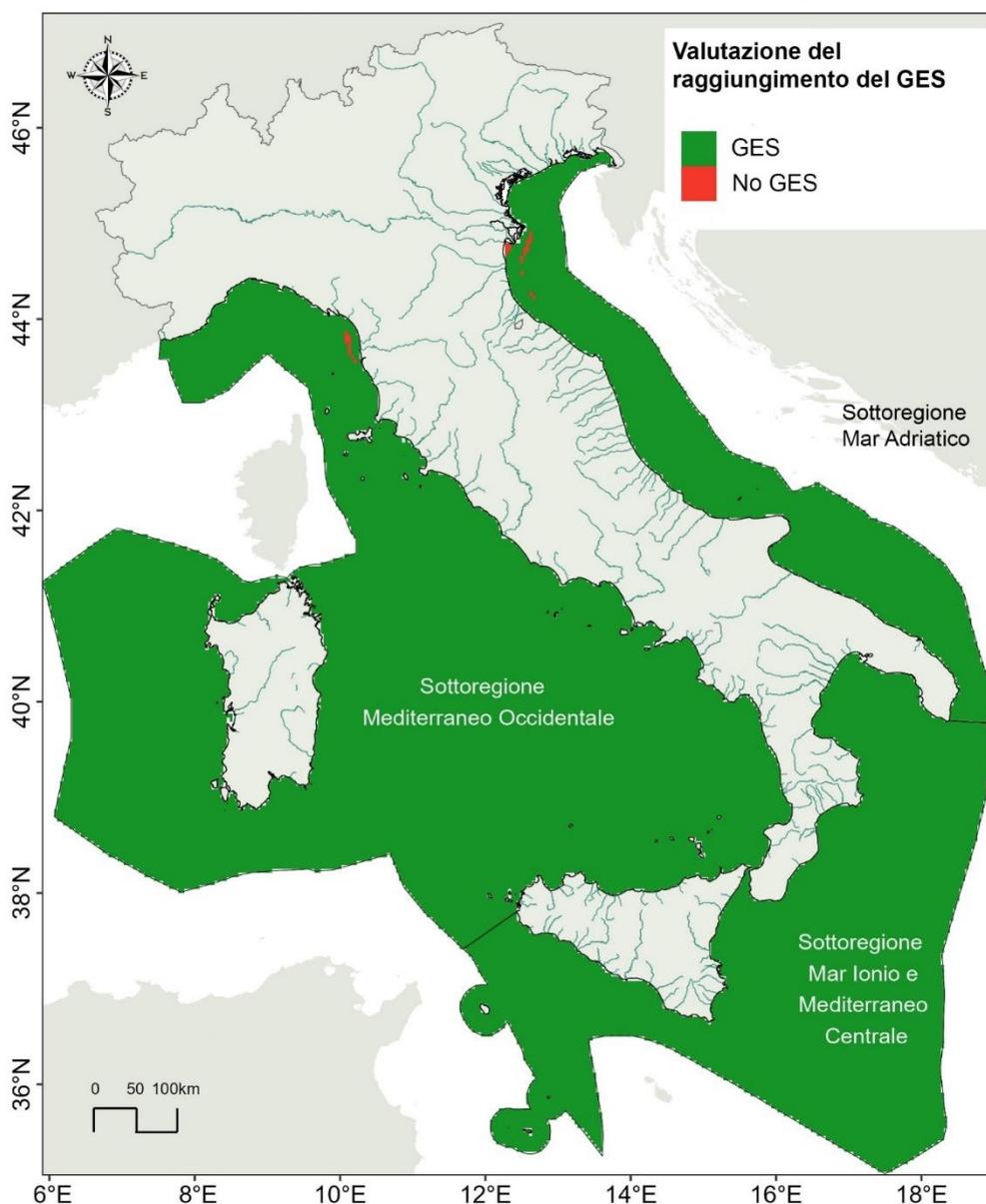


Figura 25. Valutazione complessiva dello stato GES/noGES per le acque italiane per il periodo 2016-2021.

Tabella 9. Indicazione in km² di superficie e in percentuale rispetto all'area totale di ogni sottoregione dell'estensione delle aree in stato ambientale GES/no GES rispetto all'indice multiparametrico per il descrittore 5 della MSFD.

Sottoregione	Area tot (km ²)	No GES (km ²)	GES (km ²)	No GES (%)	GES (%)
Mar Adriatico	62478	275	62203	2.11%	97.89%
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	160142	0	160142	0.00%	100.00%
Mar Mediterraneo Occidentale	313070	155	312915	0.05%	99.95%

2.4 Analisi del raggiungimento dei Target ambientali

Target 5.1 Il 100% degli agglomerati con carico generato a) superiore a 2.000 abitanti equivalenti e aventi punto di scarico in acque interne, b) superiore a 10.000 abitanti equivalenti e aventi punto di scarico in acque marino-costiere, è fornito da un sistema di trattamento secondario delle acque reflue¹.

Indicatore 5.1.1 (D.M. 2 marzo 2015). Percentuale degli agglomerati con carico generato: a) superiore a 2.000 abitanti equivalenti e aventi punto di scarico in acque interne; b) superiore a 10.000 abitanti equivalenti e aventi punto di scarico in acque marino costiere, fornito da un sistema di trattamento secondario delle acque reflue.

Il target non è stato raggiunto. Il documento di riferimento è il Tenth report on the implementation status and programmes for implementation (as required by Article 17 of Council Directive 91/271/EEC, concerning urban waste water treatment) { COM(2020) 492 final } relativo ai dati di monitoraggio al 31/12/2020 (https://environment.ec.europa.eu/topics/water/urban-wastewater_en).

Sulla base dei dati disponibili al 31/12/2020 sono state compilate le seguenti tabelle per valutare il raggiungimento del Target 5.1.

Tabella 10. Valutazione del raggiungimento del Target 5.1 sulla base dell'indicatore 5.1.1.

Target 5.1	Numero totale impianti	Numero impianti con sistema di trattamento secondario	Percentuale impianti con sistema di trattamento secondario	
Indicatore 5.1.1 a)	2999	2626	89%	Target non raggiunto
Indicatore 5.1.1 b)	194	158	81%	

Tabella 11. Confronto delle percentuali di conformità degli agglomerati rispetto agli articoli 3, 4 e 5 della Direttiva 91/271/EEC tra i dati di monitoraggio al 31/12/2014 e 31/12/2020.

Indicatore 5.1.1	31/12/2014	31/12/2020
% conformità Art.3 Dir.91/271/EEC (collettamento)	93,8 %	94,3 %
% conformità Art.4 Dir.91/271/EEC (trattamento secondario)	71,9 %	75,6 %
% conformità Art.5 Dir.91/271/EEC (aree sensibili)	65,1 %	69,8 %

Seppure il traguardo ambientale 5.1 non sia stato raggiunto, da un confronto con i dati del precedente report si rileva un miglioramento.

Target 5.2 Le acque reflue urbane provenienti da agglomerati con oltre 10.000 abitanti equivalenti, che scaricano in acque recipienti individuate quali aree sensibili, sono sottoposte ad un trattamento più spinto di quello previsto dall'art. 105 c.3², secondo i requisiti specifici indicati nell'allegato 5 parte III del D.lgs 152/2006 ovvero dovrà essere dimostrato che la percentuale minima di riduzione del carico complessivo in ingresso a tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane è pari almeno al 75% per il fosforo totale e almeno al 75% per l'azoto totale.

Indicatore 5.2.1 (D.M. 2 marzo 2015). Percentuale di abbattimento del carico di azoto e fosforo presente nelle acque reflue coltate mediante impianti di trattamento nei bacini drenanti afferenti alle aree sensibili. La percentuale può essere calcolata a livello di bacino drenante o a livello di singoli scarichi individuati dalle Regioni in funzione del raggiungimento dell'obiettivo di qualità dei corpi idrici recettori.

La **Tabella 12** riporta le percentuali di riduzione di azoto e fosforo per le aree sensibili/bacini drenanti in aree sensibili per le quali viene applicato il criterio della percentuale minima di riduzione del carico pari almeno al 75% riportate nel *Tenth report on the implementation status and programmes for implementation (as required by Article 17 of Council Directive 91/271/EEC, concerning urban waste water treatment) { COM(2020) 492 final }* relativo ai dati di monitoraggio al 31/12/2020. (https://environment.ec.europa.eu/topics/water/urban-wastewater_en)

Tabella 12. Valutazione del raggiungimento del Target 5.2 con riferimento ai dati di monitoraggio della Direttiva 91/271/EEC al 31/12/2020.

Denominazione Area sensibile/Bacino drenante in area sensibile	Codice Area sensibile/Bacino drenante in area sensibile	Percentuale riduzione carico di azoto (N)	Percentuale riduzione carico di fosforo (P)	Raggiungimento del Target del 75% di riduzione del carico
BACINO DRENANTE DELL' ARNO	IT09CSA000000012	78,35 %	81,84 %	Target raggiunto
ARNO	IT09SA0000000006	71,35 %	80,68 %	Target non raggiunto per l'azoto
AREA_COSTIERA_DELL_ADRIATICO_SETTENTRIONALE_CENTRO	ITCA99Q15SA004	76,07 %	78,97 %	Target raggiunto
CATCHMENT_OF_AREA_COSTIERA_DELL_ADRIATICO_SETTENTRIONALE_CENTRO	ITCM99CSA10000004	75,52 %	77,01 %	Target raggiunto
CATCHMENT_DISTRETTO_PADANO	ITCM99CSAQ15001	70,80 %	73,71 %	Target non raggiunto per l'azoto e per il fosforo

Il target non è stato raggiunto per l'Arno e per il bacino drenante del distretto Padano.

Target 5.3 Sono ridotti i carichi di nutrienti, derivanti da fonti diffuse, afferenti all'ambiente marino mediante apporti fluviali e fenomeni di dilavamento.

Indicatore 5.3.1 (D.M. 2 marzo 2015). Percentuale di riduzione dei carichi di nutrienti da fonti diffuse afferenti all'ambiente marino mediante apporti fluviali e fenomeni di dilavamento.

Il target 5.3.1 risulta raggiunto. I carichi fluviali sono stati stimati come massa annuale di azoto e fosforo (tonn/anno). Per tali valori stimati (quindi potenziali) sono state calcolate le percentuali di riduzione per le tre sottoregioni (**Tabella 13**).

Tabella 13. Percentuali di riduzione dei carichi di azoto e fosforo calcolate sui valori stimati di azoto e fosforo come massa annuale (tonn/anno).

	riduzione N	riduzione P
Mare Adriatico	26 %	48 %
Mar Mediterraneo Occidentale	24 %	54 %
Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale	35 %	13 %

I carichi di nutrienti da fonti diffuse derivanti da apporti fluviali e da depuratori recapitanti direttamente a mare o a 20 km dalla costa in acque interne risultano caratterizzati da una diminuzione rispetto al sessennio precedente.

Target 5.4 Per i corpi idrici marino costieri appartenenti ai **Macrotipi I e II** (D.M. 260/2010): è decrescente la tendenza della **concentrazione di azoto inorganico disciolto e di fosforo totale**, derivante dalla diminuzione degli input antropici di nutrienti, calcolata per un periodo di 6 anni (media geometrica + errore standard). Per i **corpi idrici marino costieri** appartenenti ai **Macrotipi III** (D.M. 260/2010): non vi è alcun incremento nella concentrazione (media geometrica + errore standard) di azoto inorganico disciolto e di fosforo totale, calcolata per un periodo di 6 anni, derivante dagli input antropici di nutrienti.

Indicatore 5.4.1 (D.M. 2 marzo 2015). Riduzione percentuale della concentrazione di azoto inorganico disciolto e fosforo totale per i corpi idrici marino costieri appartenenti ai **Macrotipi I e II** e che non raggiungono lo stato buono a causa di questi elementi (D.M. 260/2010) calcolata per un periodo di 6 anni.

Indicatore 5.4.2 (D.M. 2 marzo 2015). Variazione percentuale della concentrazione di azoto inorganico disciolto e fosforo totale per i corpi idrici marino costieri appartenenti ai **Macrotipi III** (D.M. 260/2010) calcolata su un periodo di 6 anni.

Nella maggior parte dei casi il raggiungimento del target non può essere valutato. Nel solo caso in cui è stato possibile valutare il target (DIN - Mar Ionio e il Mar Mediterraneo Centrale – Macrotipo III) il target non è stato raggiunto.

In **Tabella 14** sono riportati gli indici statistici associati alla regressione lineare utilizzata per analizzare gli andamenti delle medie geometriche annuali per il DIN per i macrotipi I, II e III. Si osserva che le rette di regressione presentano valori non significativi (NS) per il coefficiente di regressione. Questo significa che non si osservano trend significativi crescenti o decrescenti nel periodo selezionato. Unica eccezione è

rappresentata dall'andamento del DIN per il Macrotipo III nella sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale per il quale il trend crescente è significativo e pertanto il Target non risulta raggiunto (v. **Figura 26**).

Tabella 14. Indici statistici delle rette di regressione lineare usate per la stima del trend lineare delle medie geometriche annuali per l'azoto inorganico disciolto (DIN).

Azoto inorganico disciolto (DIN)	R ²	adjR ²	Intercetta (Dev. Std.)	p-value	Coefficiente (Dev. Std.)	p-value	Dati disponibili (2016-2021)	Trend	Target
Macrotipo I e II Mar Adriatico	0,003	-0,33	8.53 (3.19)	NS	0.09 (0.96)	NS	5 su 6	Non è possibile individuare trend	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo II Mar Med Occ	0,005	-0,32	3.83 (1.51)	NS	0.05 (0.45)	NS	5 su 6	Non è possibile individuare trend	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Adriatico	0,75	0,5	2.61 (0.03)	<0.01	-0.02 (0.01)	NS	3 su 6	Non è possibile individuare trend	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Med Occ	0,07	-0,24	1.84 (0.26)	<0.01	0.03 (0.08)	NS	5 su 6	Non è possibile individuare trend	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Ionio e Mar Med Centr	0,98	0,98	2.14 (0.12)	<0.01	0.50 (0.05)	<0.01	4 su 6	Trend crescente	NON RAGGIUNTO

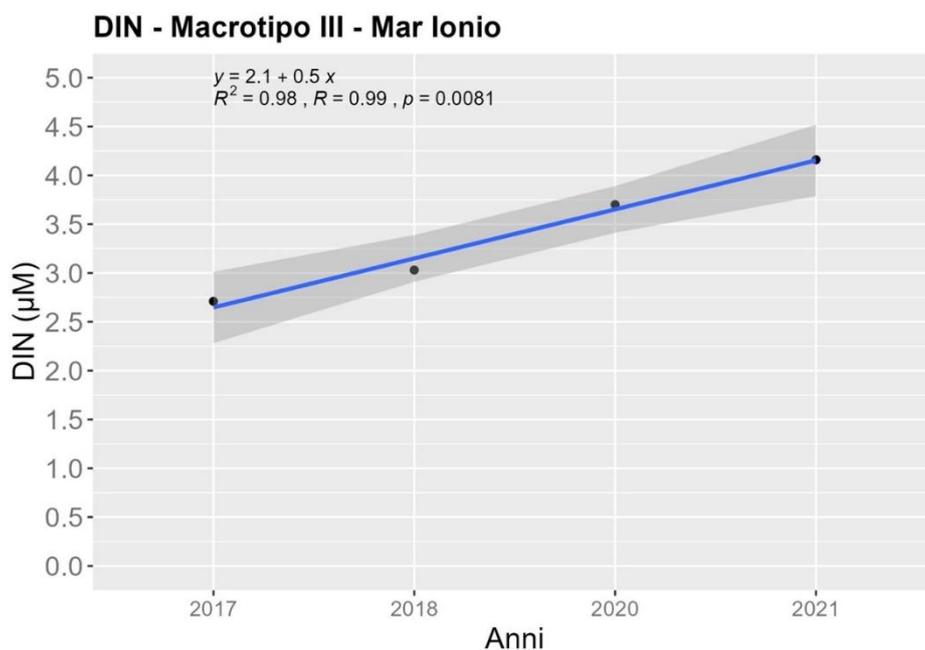


Figura 26. Andamento della concentrazione di azoto inorganico disciolto calcolata per un periodo di 6 anni (media geometrica + errore standard) per il Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale per il Macrotipo III.

In **Tabella 15** sono riportati gli indici statistici associati alla regressione lineare utilizzata per analizzare gli andamenti delle medie geometriche annuali il TP per i macrotipi I, II e III. Si osserva che le rette di regressione presentano tutte valori non significativi (NS) per il coefficiente di regressione. Questo significa che non si osservano trend significativi crescenti o decrescenti nel periodo selezionato per tale parametro.

Tabella 15. Indici statistici delle rette di regressione lineare usate per la stima del trend lineare delle medie geometriche annuali per il fosforo totale (TP).

Fosforo totale (TP)	R ²	adjR ²	Intercetta (Dev. Std.)	p-value	Coefficiente (Dev. Std.)	p-value	Dati disponibili (2016-2021)	Trend	Target
Macrotipo I e II Mar Adriatico	0,05	-0,27	0.48 (0.08)	<0.01	0.009 (0.02)	NS	5 su 6	Non è possibile individuare trend	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo II Mar Med Occ	0,23	-0,03	0.44 (0.11)	<0.05	-0.03 (0.03)	NS	5 su 6	Trend leggermente e decrescente	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Adriatico	0,62	0,25	0.48 (0.19)	NS	-0.12 (0.09)	NS	3 su 6	Non è possibile individuare trend	Non valutabile
Macrotipo III Mar Med Occ	0,5	0,33	0.34 (0.05)	<0.01	-0.02 (0.01)	NS	5 su 6	Trend leggermente e decrescente	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Ionio e Mar Med Centr	0,03	-0,46	0.39 (0.2)	NS	-0.02 (0.07)	NS	4 su 6	Assenza di trend (trend non crescente)	Non valutabile (p-value non significativo)

Target 5.5 Per i corpi idrici marino costieri appartenenti ai Macrotypi I e II (D.M. 260/2010): è decrescente la tendenza della media geometrica + errore standard, calcolata su base annuale per un periodo di 6 anni, della concentrazione di **clorofilla 'a'**, legata alla riduzione di input di nutrienti di origine antropica. **Per i corpi idrici marino costieri appartenenti ai Macrotypi III (D.M. 260/2010):** non vi è alcun aumento della media geometrica + errore standard, calcolata su base annuale per un periodo di 6 anni, della concentrazione di clorofilla 'a' derivante dagli input antropici di nutrienti.

Indicatore 5.5.1 (D.M. 2 marzo 2015). Riduzione percentuale della concentrazione di **clorofilla 'a'** per i corpi idrici marino costieri appartenenti ai **Macrotypi I e II** e che non raggiungono lo stato buono a causa di questo elemento (D.M. 260/2010) calcolata per un periodo di 6 anni.

Indicatore 5.5.2 (D.M. 2 marzo 2015). Variazione percentuale della concentrazione di **clorofilla 'a'** per i corpi idrici marino costieri appartenenti ai **Macrotypi III** (D.M. 260/2010) calcolata su un periodo di 6 anni.

In tutti i casi il raggiungimento del target non può essere valutato.

In **Tabella 16** sono riportati gli indici statistici associati alla regressione lineare utilizzata per analizzare gli andamenti delle medie geometriche annuali la clorofilla 'a' per i macrotipi I, II e III. Si osserva che le rette di regressione presentano tutte valori non significativi (NS) per il coefficiente di regressione. Questo significa che non si osservano trend significativi crescenti o decrescenti nel periodo selezionato.

Tabella 16. Indici statistici delle rette di regressione lineare usate per la stima del trend lineare delle medie geometriche annuali per la Clorofilla 'a'.

Clorofilla 'a'	R2	adjR ²	Intercetta (Dev. Std.)	p-value	Coefficiente (Dev. Std.)	p-value	Dati disponibili (2016-2021)	Trend	Target
Macrotipo I e II Mar Adriatico	0,23	0,03	1 (0.90)	NS	0.25 (0.23)	NS	6 su 6	Trend crescente	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo II Mar Med Occ	0,54	0,42	1 (0.22)	<0.01	-0.12 (0.05)	NS	6 su 6	Trend decrescente	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Adriatico	0,67	0,33	0.18 (2.998e-17)	<0.001	-2.404e-17 (1.388e-17)	NS	3 su 6	Assenza di trend (trend non crescente)	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Med Occ	0,59	0,49	0.43 (0.07)	<0.01	-0.04 (0.02)	NS	6 su 6	Trend decrescente	Non valutabile (p-value non significativo)
Macrotipo III Mar Ionio e Mar Med Centr	0,22	-0,17	0.38 (0.15)	NS	-0.04 (0.06)	NS	4 su 6	Non è possibile individuare trend	Non valutabile (p-value non significativo)

Target 5.6 Sono ridotti i fenomeni di sofferenza degli organismi bentonici e/o di morie di pesci riconducibili a ipossia e/o anossia delle acque di fondo.

Indicatore 5.6.1 (D.M. 2 marzo 2015). Estensione (km²) e durata (giorni) di fenomeni di ipossia e/o anossia delle acque di fondo che comportano sofferenza di organismi bentonici e/o morie di pesci.

Non è possibile valutare il raggiungimento di questo target con i dati del monitoraggio ARPA-MSFD in quanto nel ciclo di monitoraggio precedente non è stata condotta una attività di monitoraggio dedicata a popolare l'indicatore 5.6.1. Tuttavia, una analisi dei rapporti annuali redatti dall'ARPA-ER sulla Qualità ambientale delle acque marine in Emilia-Romagna sembrerebbe indicare una riduzione, nel periodo in esame, dell'estensione e durata di fenomeni di ipossia/anossia rispetto al ciclo di reporting precedente.

Nel periodo temporale 2016-2021 fenomeni di ipossia e/o anossia sono stati registrati nelle acque marine dell'Emilia-Romagna. Di seguito viene riportato il dettaglio degli eventi, ossia l'anno di riferimento, la durata e l'estensione del fenomeno.

Tabella 17. Sintesi dei fenomeni di ipossia e/o anossia registrati nelle acque marine dell'Emilia-Romagna negli anni 2016-2021.

Anno	2018		Totale 2018	2020		Totale 2020
	Luglio	Agosto		Agosto	Settembre	
Durata (giorni)	10	10		15	15	30
Estensione (km ²)	70+18*	150**	238	30°	250°°	280

* 70 km² di estensione davanti a Cesenatico e 18 km² di estensione davanti a Lido delle Nazioni

** 150 km² di estensione davanti a Porto Garibaldi

° 30 km² di estensione davanti a Lido delle Nazioni

°° 250 km² di estensione nell'area Centro nord (da costa fino a 20 km al largo)

3 Sintesi

Il fenomeno dell'eutrofizzazione consiste in un arricchimento delle acque in nutrienti, in particolare composti dell'azoto e/o del fosforo, che determina un aumento della produzione primaria e della biomassa algale, con conseguente accumulo di sostanza organica, ipossia/anossia delle acque di fondo, possibili stati di sofferenza delle comunità bentoniche e morie di pesci.

La Direttiva richiede per il Descrittore 5 che sia ridotta al minimo l'eutrofizzazione di origine umana, in particolare i suoi effetti negativi, come perdita di biodiversità, degrado dell'ecosistema, fioriture algali nocive e carenza di ossigeno nelle acque di fondo. La normativa indica come la valutazione dell'eutrofizzazione nelle acque marine debba tenere conto della valutazione delle acque costiere ai sensi della direttiva 2000/60/CE e relativi orientamenti in modo da garantire la comparabilità. La valutazione deve combinare le informazioni sui livelli di nutrienti e quelle relative agli effetti diretti (concentrazione di clorofilla 'a' quale indicatore di biomassa algale) ed indiretti (conseguenze negative sugli organismi causate da ipossia o anossia) che un arricchimento in nutrienti può determinare negli ambienti marini.

Sono stati presi in considerazione ai fini della valutazione i carichi di nutrienti da fonti urbane (acque reflue), da fonti fluviali e da acquacoltura.

I risultati hanno mostrato come i carichi di nutrienti da fonti diffuse derivanti da apporti fluviali e da depuratori recapitanti direttamente a mare o a 20 km dalla costa in acque interne risultano caratterizzati da una diminuzione rispetto al sessennio precedente.

Relativamente alla valutazione art. 8 del D.Lgs. 190/2010, nel periodo in esame si è registrata complessivamente una riduzione della concentrazione superficiale di clorofilla 'a' in tutte le sottoregioni italiane. La riduzione è stata particolarmente marcata nell'Alto Adriatico, area tradizionalmente caratterizzata da elevati livelli trofici a seguito dagli input fluviali di nutrienti derivanti dal bacino padano. La realizzazione di una mirata attività di monitoraggio degli effetti secondari dell'eutrofizzazione in aree ad alto rischio eutrofico, già avviata nel corso del 2021 nell'ambito dell'Accordo triennale 2021-2023 MASE-ISPRA-ARPA e confermata per nell'Accordo triennale vigente (2024-2026), consentirà di affinare ulteriormente, nel prossimo ciclo di attuazione della Direttiva Strategia Marina, la valutazione dello stato ambientale per il D5.

La valutazione complessiva dello stato GES/noGES per le acque italiane per il periodo 2016-2021 è stata effettuata utilizzando un indice multiparametrico che pesa in egual misura i 3 criteri primari della Decisione UE 2017/848 sui criteri e gli standard metodologici per la definizione del Buono Stato Ambientale, ovvero concentrazione di nutrienti, concentrazione superficiale di clorofilla 'a' e concentrazione di ossigeno disciolto

delle acque di fondo. Dalle elaborazioni effettuate risulta che il GES è stato raggiunto in tutte e tre le sottoregioni marine.

Da ultimo, si conferma quanto già evidenziato nei Report precedenti del 2012 e del 2018, ovvero che le misure necessarie al raggiungimento dei traguardi ambientali per il conseguimento del Buono Stato Ambientale (GES) relativamente all'eutrofizzazione, ovvero, nel caso attuale, per il mantenimento del GES, si possono considerare già ricomprese tra le misure da adottare ai sensi della Direttiva 2000/60/EC, della Direttiva sui nitrati e della Direttiva sulle acque reflue urbane, pertanto si ritiene che non vi debbano essere azioni aggiuntive da intraprendere né costi ulteriori imputabili al raggiungimento dei traguardi ambientali proposti.

4 ALLEGATO 1 - BOX di approfondimento: tendenze decadali della clorofilla 'a' nei mari italiani da analisi di dati satellitari

È stata condotta da parte del CNR-ISMAR in Convenzione con ISPRA una analisi sulle tendenze decadali della clorofilla 'a' (CHL) dei mari italiani sulla base dei dati satellitari forniti dal Servizio Copernicus (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service – CMEMS*).

I trend decadali, espressi come variazione % all'anno di clorofilla 'a' nelle acque superficiali dei mari italiani, sono stati calcolati per i periodi 2002-2012 (**Figura 27A**), 2004-2014 (**Figura 27B**), 2006-2016 (**Figura 27C**), 2008-2018 (**Figura 27D**), 2010-2020 (**Figura 27E**), 2012-2022 (**Figura 27F**).

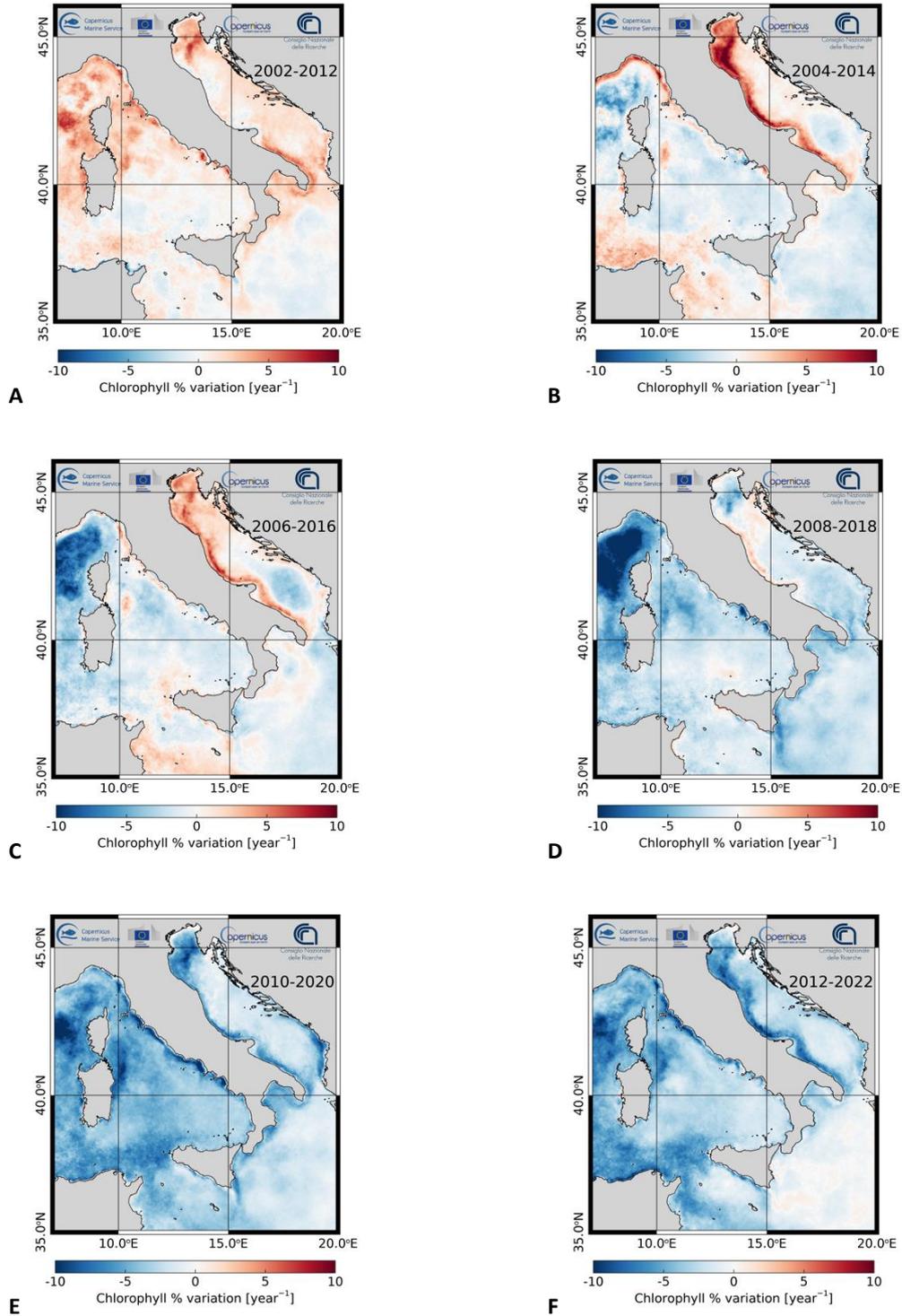


Figura 27. Trend decadali, espressi come variazione percentuale di clorofilla all'anno, nel periodo compreso tra il 2002 e il 2022.

Dall'analisi delle figure si evince come i trend siano inizialmente stati positivi, in particolare lungo la costa Adriatica, e che il sistema si è evoluto progressivamente verso una oligotrofizzazione, particolarmente marcata lungo la fascia costiera adriatica laddove in passato è stato registrato uno stato trofico particolarmente elevato.

In **Figura 28** sono stati messi a confronto i trend espressi come variazione percentuale di CHL in periodi sessennali assimilabili, sebbene non del tutto coincidenti (2004-2010, 2012-2017 e **2017-2022**), con quelli dei report MSFD (ossia Report 2012, 2018 e **2024**). Analizzando questi dati si evince che nel periodo quasi sovrapponibile al report MSFD 2024 (ossia 2017-2022) il Mar Adriatico presenti ancora, se confrontato con i periodi precedenti, tendenze fortemente negative soprattutto nella regione centro settentrionale. Anche nel Mar Tirreno i trend negativi sono predominanti ma si notano delle zone con trend positivi nel Golfo di Salerno e Golfo di Gaeta. Il Mar Ionio presenta invece trend positivi soprattutto nella zona a sud-est della Sicilia e nel canale di Sicilia

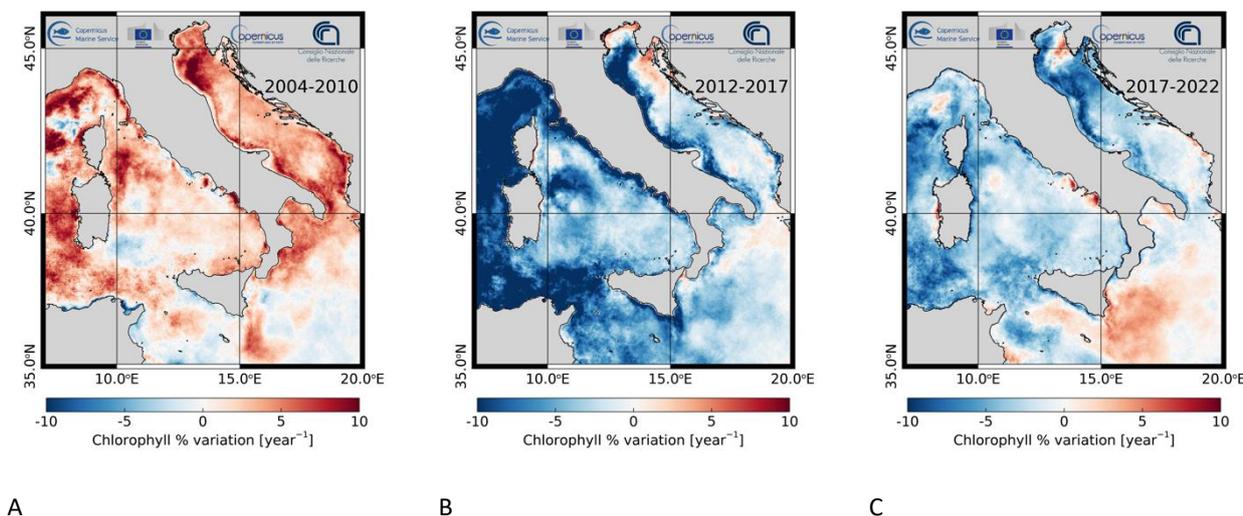


Figura 28. Trend, espressi come variazione percentuale di clorofilla all'anno, per periodi assimilabili a quelli dei report MSFD: 2004-2010 (A), 2012-2017 (B) e 2017-2022 (C).

Sono state infine esaminate le **anomalie stagionali** della clorofilla 'a' per i mari italiani per il periodo **2017-2022**, in termini di variazione percentuale della concentrazione di clorofilla superficiale stagionale per gli anni 2017-2022, **rispetto alle stagioni climatologiche calcolate per il periodo 1998-2021**. Come si può vedere in **Figura 29** le anomalie negative sono dominanti per tutte e 4 le stagioni. Anomalie positive sono visibili solamente in primavera (Aprile - Maggio - Giugno; AMJ), lungo la costa nord del Mar Adriatico e a largo nel Mar Ionio, e in autunno (Ottobre – Novembre - Dicembre; OND), attorno alla Sicilia, soprattutto nel comparto occidentale, e nel Golfo di Gaeta.

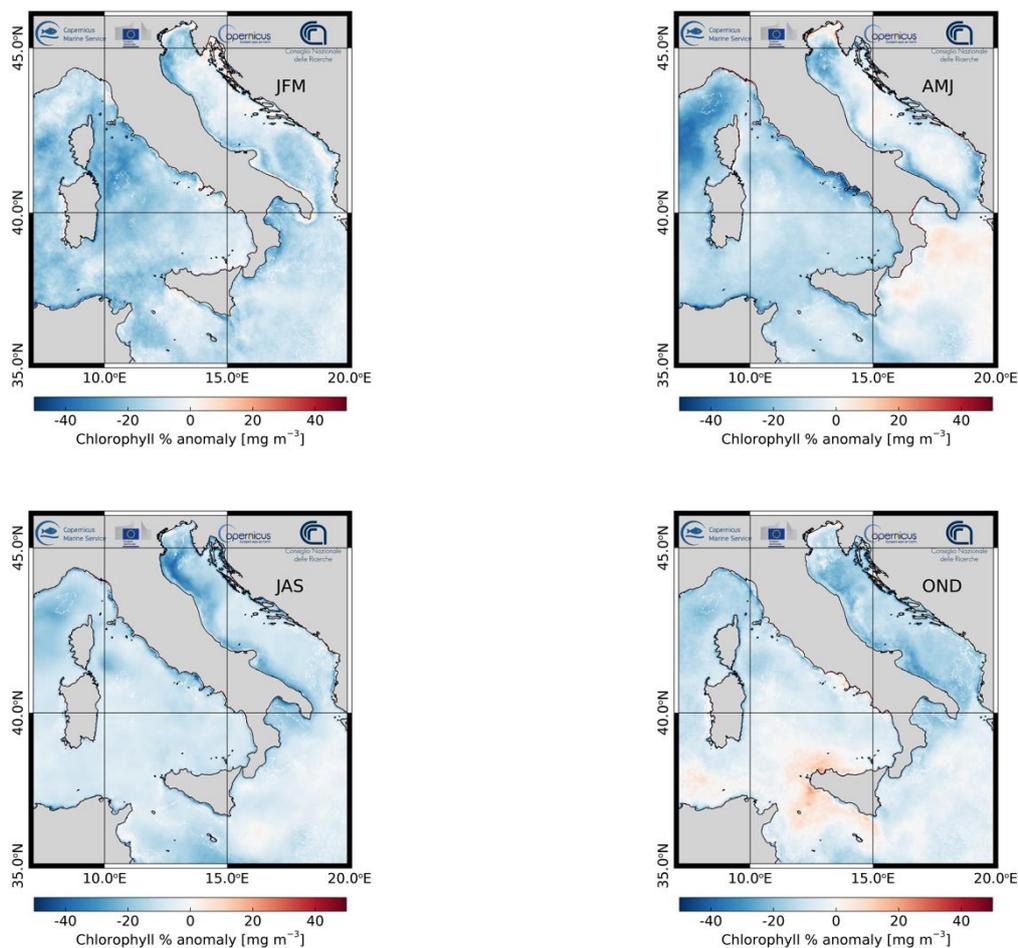


Figura 29. Anomalie stagionali della concentrazione di clorofilla. JFM indica il periodo Gennaio-Febbraio-Marzo (inverno), AMJ indica il periodo Aprile-Maggio-Giugno (primavera), JAS indica il periodo Luglio-Agosto-Settembre (estate) e OND indica il periodo Ottobre-Novembre-Dicembre (autunno). La climatologia di riferimento si basa sugli anni 1998-2021

In generale si nota come il trend (positivo o negativo) del Mar Adriatico abbia delle oscillazioni nette bi-decadali relativamente marcato ed omogeneo lungo tutta la costa italiana, a parte per la decade 2008-2018, dove il trend a largo della foce del Po differisce dal resto del bacino (**Figura 27**). Il trend nel Mar Tirreno risulta invece essere meno marcato, con oscillazioni più rapide ed irregolari, e presenta delle disomogeneità lungo la costa (**Figura 27**). Tale differenza sembrerebbe mettere in evidenza il ruolo della Corrente Costiera dell'Adriatico Occidentale che, scorrendo omogeneamente verso sud, agirebbe da nastro trasportatore per l'apporto biogeochimico del grande bacino idrico del fiume Po e degli altri bacini minori adriatici; una condizione per cui la presenza di una corrente costiera a larga scala, unita ai runoff fluviali renderebbe il pattern biogeochimico (ed il relativo trend) molto omogeneo e stabile nel tempo. Tale situazione non viene

riscontrata nel bacino tirrenico probabilmente a causa di una minore regolarità dei bacini idrografici e delle condizioni idrologiche di questo versante, unitamente alla mancanza di una unica corrente costiera che agisce su scala dell'intero bacino.

In **Figura 30** sono riportate le portate medie annuali del fiume Po degli ultimi cinquant'anni. Per le loro caratteristiche morfologiche, gli ecosistemi costieri di bassa profondità, come quelli presenti nel Mar Adriatico soprattutto nella parte più settentrionale, sono gli ambienti più precari e suscettibili alle pressioni esterne e agli apporti fluviali. È quindi intuibile come l'andamento dei trend e anomalie di clorofilla 'a' siano influenzati dall'afflusso di acqua proveniente dal bacino idrografico del più grande fiume italiano e dalla capacità della Corrente Costiera dell'Adriatico Occidentale di redistribuire l'apporto biogeochimico in modo omogeneo lungo tutta la costa occidentale adriatica.

Analizzando il grafico si può notare come ci sia una buona corrispondenza tra la diminuzione della portata media del fiume e trend di clorofilla 'a' negativi del Mar Adriatico nelle decadi analizzate. Nelle decadi 2000-2010, 2002-2012 e 2004-2014, in cui si passa da trend negativi a trend positivi, il grafico **Figura 30** mostra un aumento della portata media del Po. Al contrario, nelle decadi 2008-2018, 2010-2020 e 2012-2022, quando predominano i trend negativi in Mar Adriatico, si osserva una diminuzione delle portate medie che culminano con il minimo assoluto degli ultimi cinquant'anni nel 2022.

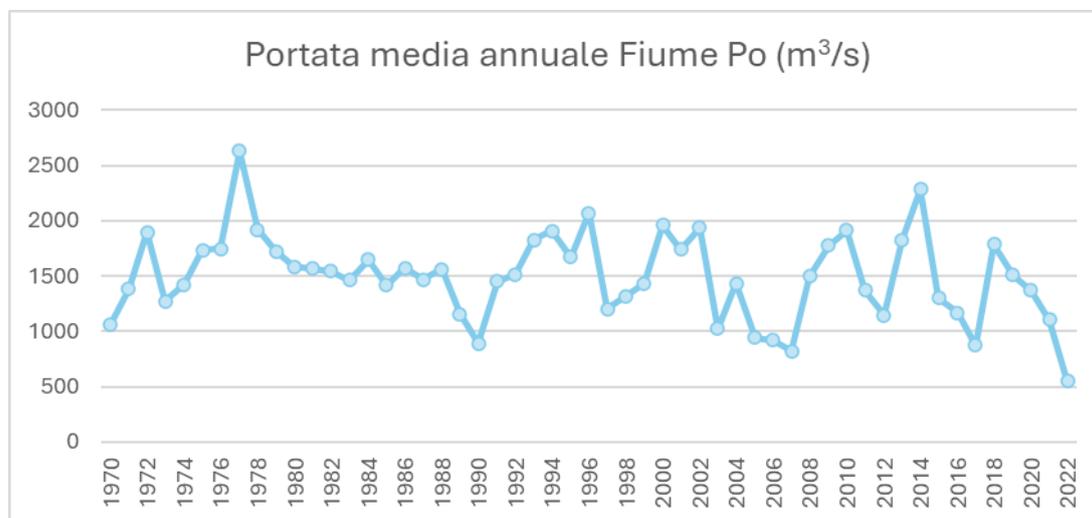


Figura 30. Portata media annuale (m³/s) del Fiume Po.