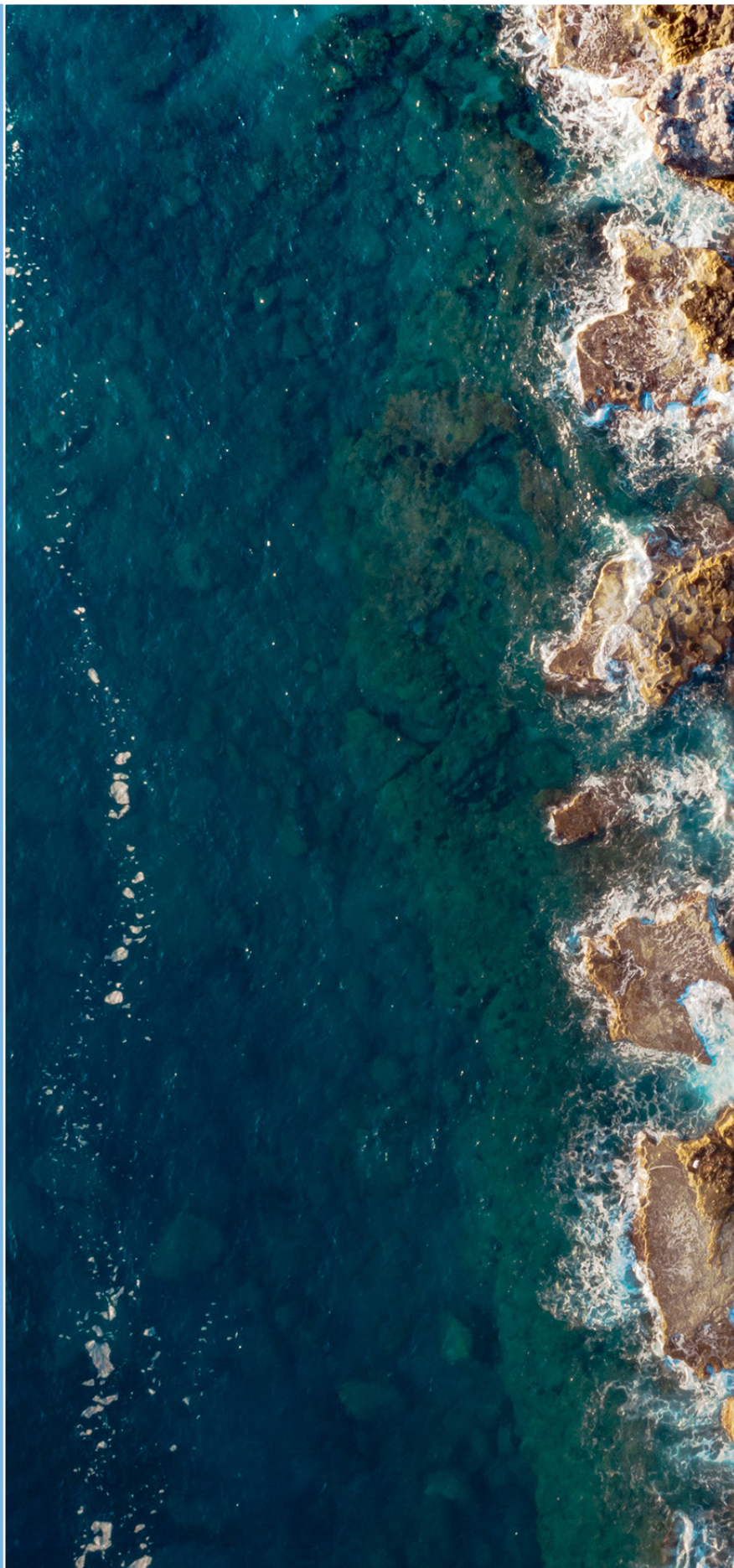




# Acque marino costiere della Toscana: monitoraggio 2023 e proposta di classificazione provvisoria 2022-2023



Acque  
marino costiere  
della Toscana:  
monitoraggio 2023  
e proposta di  
classificazione  
provvisoria  
2022-2023

Firenze, 2025

## Acque marino costiere della Toscana: monitoraggio 2023 e proposta di classificazione provvisoria 2022-2023

### Autori :

Antonio Melley e Daniela Verniani - *ARPAT, Settore Mare*

### Referenti su singole tematiche

- Fitoplancton: Daniela Verniani - *ARPAT, Settore Mare*
- Macrozoobenthos: Ornella Bresciani, Giulio Busoni, Arcangela Pavia - *ARPAT, Laboratorio Area Vasta Costa, U.O. Biologia*
- *Posidonia oceanica*: Cecilia Mancusi, Giacomo Marino, Andrea Nicastro, Ilaria Dalle Mura - *ARPAT, Settore Mare*
- Macroalghe: Enrico Cecchi, Michela Ria - *ARPAT, Settore Mare*
- Coralligeno: Enrico Cecchi, Andrea Nicastro - *ARPAT, Settore Mare*

*Si ringrazia tutto il personale che ha effettuato i sopralluoghi, i campionamenti e tutte le analisi previste dal programma di monitoraggio delle acque marino costiere della Toscana*

Editing e copertina:

ARPAT, Settore Comunicazione, informazione e documentazione

Immagini di copertina: elaborazione ARPAT da immagine di ArthurHidden (freepik.com)



ARPAT 2025

## Indice

1. INTRODUZIONE.....	8
1.1 La Direttiva quadro sulle acque.....	8
1.2 La classificazione delle acque marino costiere.....	9
1.3 Stato Ecologico.....	10
1.3.1 Biomassa fitoplanctonica.....	10
1.3.2 Macrozoobenthos.....	12
1.3.3 Macrofite.....	14
1.3.4 Angiosperme.....	17
1.3.5 Il coralligeno.....	20
1.3.6 Elementi chimico fisici a sostegno (Fase I).....	23
1.3.7 Inquinanti chimici non prioritari (Fase II).....	24
1.4 Stato chimico.....	25
1.5 Struttura della rete di monitoraggio.....	32
2. Risultati e Classificazione.....	35
2.1 Stato ecologico.....	35
2.1.1 I macroinvertebrati bentonici.....	35
2.1.2 Macroalghe.....	38
2.1.3 <i>Posidonia oceanica</i> (angiosperme).....	40
2.1.3.1 Estensione dell'habitat a <i>Posidonia oceanica</i> .....	40
2.1.3.2 Lo stato ecologico delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i> .....	44
2.1.4 Il coralligeno.....	48
2.1.5 I popolamenti fitoplanctonici.....	49
2.1.6 La biomassa fitoplanctonica.....	56
2.1.7 Prima definizione dello stato ecologico.....	59
2.1.8 Elementi di qualità fisico–chimica a sostegno e idromorfologici - Fase I.....	60
Temperatura, salinità e ossigeno disciolto.....	60
Nutrienti.....	61
Indice Trofico TRIX.....	62
2.1.9 Elementi chimici a sostegno – Fase II.....	64
2.2 Stato chimico.....	65
2.2.1 Stato chimico nelle acque costiere.....	65
Mercurio e altri metalli.....	65
2.2.1.1 TBT, IPA e altre sostanze prioritarie.....	67
2.2.2 Stato chimico nel biota.....	69
2.2.2.1 Molluschi.....	69

2.2.2.2 Pesci.....	69
2.3 Sedimenti.....	71
3. Analisi delle Tendenze in sedimenti e biota.....	74
3.1 Sedimenti.....	74
3.2 Biota (pesci).....	76
4. Conclusioni.....	78
4.1 Stato ecologico provvisorio.....	78
4.2 Stato chimico provvisorio.....	80
5. Normativa di riferimento.....	83



## Sintesi

La classificazione dello stato ecologico e chimico dei corpi idrici marino costieri può essere fatta solo al termine di un triennio di monitoraggio: il 2023 è il secondo anno del triennio 2022-24 e può solo fornire alcune indicazioni provvisorie relative al biennio 2022-2023.

Lo **Stato ecologico** descrive la qualità delle acque integrando gli elementi di qualità biologica (EQB: biomassa fitoplanctonica, macroalghe, *Posidonia oceanica* e macrozoobenthos) con quelli chimico-fisici a sostegno (indice trofico TRIX) e con le sostanze chimiche non prioritarie nelle acque (tabella 1/B D.Lgs. 172/2015). Nel 2022 - 2023 solo la biomassa fitoplanctonica è stata monitorata in tutti i 16 corpi idrici toscani, mentre gli altri EQB hanno avuto una copertura parziale (circa un terzo dei corpi idrici). Sulla base dei dati 2022-2023, quindi, lo stato ecologico provvisorio mostrerebbe:

- il **63%** (10) dei corpi idrici toscani in qualità **elevata**;
- il **25%** (4) in qualità **buona**;
- il **12%** (2) in classe **sufficiente**.

Stato ecologico <b>ELEVATO</b>	Stato ecologico <b>BUONO</b>	Stato ecologico <b>SUFFICIENTE</b>
<b>63%</b>	<b>25%</b>	<b>12%</b>

Se queste valutazioni venissero confermate alla fine del triennio 2022-24, la classificazione complessiva dello stato ecologico sarebbe leggermente peggiorata rispetto ai trienni precedenti.

Lo **Stato chimico** viene determinato in base alla presenza di sostanze chimiche nelle acque e nel biota (tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015), distinguendo tra stato “*buono*” ed il “*mancato conseguimento dello stato buono*” (non buono). Il monitoraggio nella colonna d’acqua è stato effettuato su tutti i corpi idrici sia nel 2022 che nel 2023, mentre il biota (pesci e molluschi) è stata analizzato solo in 3 corpi idrici nel 2022 ed in 14 su 16 nel 2023.

Una prima valutazione dello stato chimico nel biennio 2022- 2023 (anche questi dati devono essere valutati su un triennio) sulla base dei superamenti degli standard di qualità ambientale (SQA) nelle acque evidenzia che:

- nel caso dei metalli, il mercurio risulta superiore alla concentrazione massima ammissibile (>SQA-CMA) in 3 casi (Giglio nel 2022, Rosignano ed Elba Nord nel 2023), mentre il nicel risulta superiore alla media annuale (>SQA-MA) in 4 corpi idrici (Costa livornese, Costa dell’Uccellina, Costa dell’Argentario e Arcipelago Isole Minori), in 2 dei quali (Costa livornese e Costa dell’Argentario) anche della SQA-CMA;
- in Costa del Serchio sono state rilevate concentrazioni di TBT superiori alla media annuale (SQA-MA) nel 2022 e nel 2023;
- in costa Pisana e Costa del Serchio le concentrazioni di benzo[ghi]perilene nel 2022 risultano eccedere la concentrazione massima (SQA-CMA);
- a Carbonifera (Costa di Follonica) il benzo[a]pirene supera lo SQA-MA ed altri 3 IPA (benzo[k]fluorantene, benzo[b]fluorantene e benzo[ghi]pirilene) in uno stesso campione (26 luglio) risultano eccedere la concentrazione massima (SQA-CMA) nel 2022;

- tutte le altre sostanze dell'elenco di priorità risultano inferiori agli standard ambientali e spesso del limite di quantificazione.

Sulla base della sola matrice **acqua** nel biennio 2022-2023, il **44% dei corpi idrici** (9) della Toscana risulta essere in uno **stato chimico buono**.

I dati rilevati nel **biota** indicano alte concentrazioni (>SQA-CMA) di mercurio e PBDE in quasi tutti i corpi idrici, mentre per Costa del Cecina risulta anche il superamento del DDT e l'esaclorobenzene (HCB) in Costa di Follonica e Costa dell'Argentario, determinando il **peggioramento** dello stato chimico di quasi tutti i corpi idrici.

**In definitiva**, integrando i risultati ottenuti dal monitoraggio delle acque e del biota **il 94%** dei corpi idrici della Toscana risulta essere in uno **stato chimico non buono** nel biennio 2022 – 2023, ma la sola eccezione (Foce Ombrone) è dovuta alla mancanza di campioni di biota sia nel 2022 che nel 2023.



Per quanto in Toscana **i sedimenti** non vengano usati per la definizione dello stato chimico, anche nel 2023 si è continuato a monitorare questa matrice, evidenziando che:

- il mercurio presenta valori ampiamente superiori a quelli di fondo naturale nei fondali di Antignano (Costa livornese) e di Rosignano;
- arsenico e cromo risultano presenti in concentrazioni elevate nella maggior parte dei corpi idrici della Toscana, come osservato da almeno 10 anni;
- tra le sostanze di sintesi, nel 2022 oltre ad un leggero superamento per il dieldrin a Piombino, si deve sottolineare la particolare distribuzione dell'esaclorobenzene (HCB), che nel 2023 supera lo standard di qualità ambientale nelle stazioni di Antignano (Costa livornese) e Rosignano (Costa di Rosignano), come accaduto quasi sempre dal 2016.

La presenza di **mercurio** in quantità significative e spesso superiori agli SQA nelle diverse matrici controllate (acqua, pesci e sedimenti) è una caratteristica di molta parte dei corpi idrici costieri della Toscana, ma diventa una costante critica in Costa di Rosignano per la presenza storica dello scarico generale dello stabilimento Solvay, con una tendenza all'aumento nei sedimenti tra 2013 e 2023 ed accoppiato spesso a concentrazioni elevate di esaclorobenzene.

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 La Direttiva quadro sulle acque

La Direttiva Quadro sulle acque 2000/60/CE (Water Framework Directive - WFD), recepita a livello nazionale dal D.Lgs. 152/2006 e dal D.Lgs. 30/2009 (per le acque sotterranee), ha istituito un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque introducendo un approccio innovativo nella legislazione europea in materia di acque, sia dal punto di vista ambientale sia a livello amministrativo-gestionale. La Direttiva persegue obiettivi ambiziosi quali prevenire il deterioramento qualitativo e quantitativo dello stato delle acque e assicurare un utilizzo sostenibile, basato sulla protezione a lungo termine, delle risorse idriche disponibili. Inoltre, si propone di:

- proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici;
- incrementare la protezione delle acque superficiali e sotterranee;
- procedere attraverso un'azione che unisca limiti delle emissioni e standard di qualità;
- rendere partecipi i cittadini delle scelte adottate in materia;
- raggiungere lo stato di "buono" per tutte le acque superficiali e sotterranee e mantenere, dove già esistente, lo stato elevato.

La Direttiva stabilisce che i singoli Stati Membri affrontino la tutela delle acque a livello di "distretto idrografico", cioè un'area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere. In ciascun distretto idrografico gli Stati Membri devono adoperarsi affinché vengano effettuate analisi delle caratteristiche, degli impatti provocati dalle attività umane e valutazioni di tipo economico sull'utilizzo delle risorse idriche. Per ogni distretto, deve essere predisposto un programma di misure (Piano di Gestione) che tenga conto delle analisi effettuate e degli obiettivi ambientali fissati dalla Direttiva, con lo scopo ultimo di raggiungere uno "stato buono".

Per stabilire lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici e valutare il raggiungimento del buono stato ambientale, devono essere attuati programmi di monitoraggio, che il D.Lgs. 152/2006 attribuisce alle Regioni. Il monitoraggio rappresenta uno strumento necessario per conoscere lo stato della risorsa idrica, fornire un supporto alla pianificazione territoriale, prevedere azioni di risanamento e verificarne nel tempo l'efficacia. Le Regioni, per le attività di monitoraggio ambientale dei corpi idrici, si sono affidate, in genere, alle proprie ARPA: ARPAT, per conto della Regione Toscana, svolge da sempre tale compito.

Come detto, il monitoraggio deve consentire la classificazione dello stato di qualità dei corpi idrici e i decreti attuativi del D.Lgs. 152/2006 hanno individuato le modalità con cui effettuare questa valutazione. In particolare, il D.M. 56/2009 ha definito i criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento e, nell'Allegato 1, le modalità per il monitoraggio dei corpi idrici individuando gli elementi qualitativi per la classificazione. Con il



successivo D.M. 260/2010 sono stati stabiliti i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali da effettuare al termine del ciclo di monitoraggio. Questo secondo decreto, a seguito dell'emanazione della Decisione della Commissione europea 2018/229/UE, ha subito modifiche riguardanti i valori di delimitazione delle classi di qualità.

## 1.2 La classificazione delle acque marino costiere

La classificazione dei corpi idrici costieri viene determinata in base allo “stato ecologico” ed allo “stato chimico” (Figura 1):

- lo stato ecologico è dato dagli esiti dei monitoraggi degli elementi di qualità biologica (EQB), di qualità fisico-chimica a sostegno e degli inquinanti specifici non appartenenti all'elenco di priorità (tabella 1/B del D.Lgs. 172/2015);
- lo stato chimico è determinato dai risultati delle analisi delle sostanze chimiche condotte su acqua e biota in base a quanto stabilito dal D.Lgs. 172/2015 e, per la Toscana, alla DGRT 264/2018.

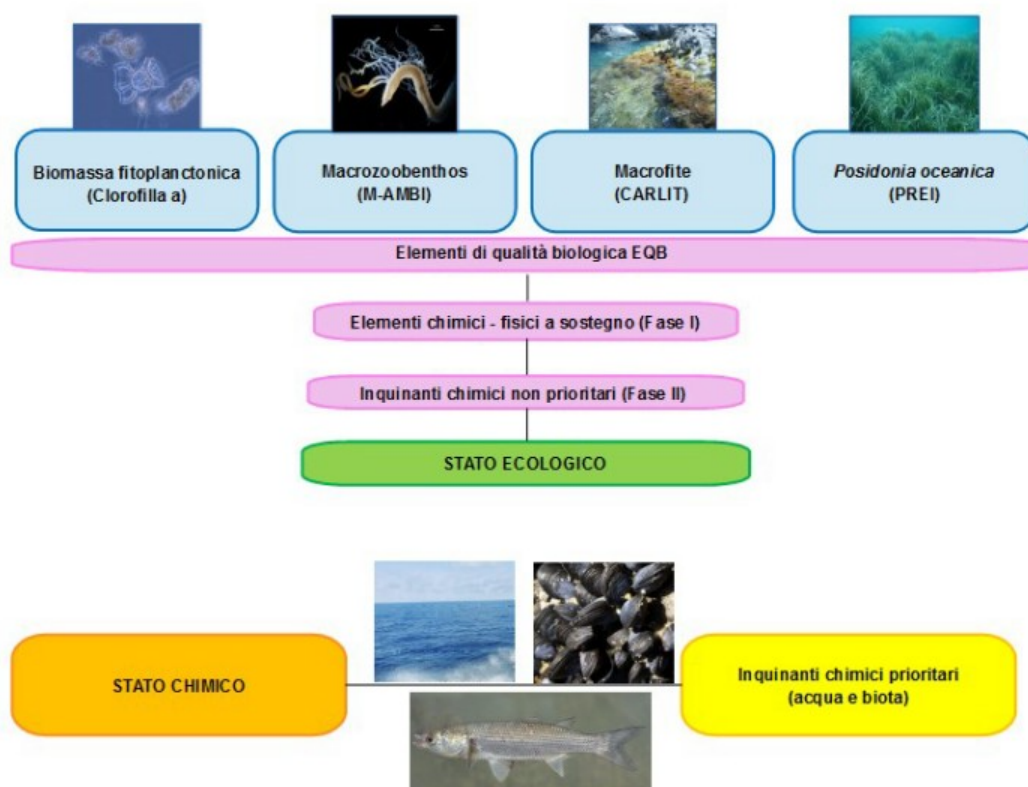


Figura 1: classificazione dei corpi idrici

I rilevamenti per giungere alla definizione dello stato ecologico e chimico (monitoraggi) si diversificano per matrici, parametri, indici, frequenze, ecc., ma i risultati devono essere sempre confrontati con i valori di riferimento stabiliti dalle norme per determinare una classe di qualità.

## 1.3 Stato Ecologico

La classificazione dello stato ecologico viene determinata al termine di un ciclo triennale di campionamenti per il monitoraggio operativo, e i diversi elementi di qualità biologica (EQB) devono essere confrontati con i valori di riferimento, espressi in concentrazione o direttamente come Rapporto di Qualità Ecologica (RQE), cioè il rapporto (tra 0 e 1) tra il valore misurato e quello previsto dal D.M. 260/2010 e ss.mm.ii.

Lo stato ecologico del corpo idrico è attribuito in base alla classe più bassa dei diversi EQB, eventualmente modificata dai dati di altri parametri così come elencato di seguito:

- classe più bassa risultante dall'incrocio degli EQB
- FASE I - integrazione tra gli elementi biologici e fisico-chimici a sostegno
- FASE II - integrazione con i dati degli inquinanti chimici non prioritari

Gli elementi di qualità biologica per le acque marino costiere italiane sono la biomassa fitoplanctonica, il macrozoobenthos (o macroinvertebrati bentonici), le macrofite (macroalghe) e le angiosperme (*Posidonia oceanica*).

### 1.3.1 Biomassa fitoplanctonica

Il fitoplancton rappresenta la parte vegetale del plancton, cioè di quell'insieme di organismi non autonomi nel movimento che fluttuano nelle acque e sono trasportati dalle correnti. La componente vegetale, composta da alghe unicellulari e batteri fotosintetici, è in grado di produrre sostanza organica a partire da sostanze inorganiche disciolte utilizzando come fonte di energia la radiazione solare (fotosintesi). Questi microrganismi sono i principali produttori di ossigeno negli ecosistemi marini e stanno alla base della rete trofica.



Figura 2: esempio di popolamento fitoplanctonico osservato al microscopio ottico

Il monitoraggio del fitoplancton comprende due tipi di valutazione: l'analisi quali-quantitativa delle specie che lo compongono e la stima della biomassa prodotta, calcolata in base alla

quantità di clorofilla-*a* presente in superficie. La clorofilla *a* (chl-*a*) è, infatti, un pigmento determinante per la fotosintesi clorofilliana e la sua concentrazione nelle acque è direttamente correlata alla quantità di microalghe presenti e alla produzione primaria di sostanza organica di tutto l'ecosistema marino. Per ciascun corpo idrico vengono quindi analizzati:

- la composizione in specie del fitoplancton o in gruppi tassonomici superiori;
- la densità di ciascuna specie o gruppo (in numero di cellule per litro);
- la biomassa totale di fitoplancton (in mg di clorofilla *a* per m<sup>3</sup>).

Parte delle analisi viene svolta direttamente dall'imbarcazione di appoggio, tramite un'apposita sonda multiparametrica (batisonda CTD) in grado di registrare, alle diverse profondità, sia il contenuto in clorofilla *a* sia i valori di temperatura, salinità, torbidità, pH e ossigeno disciolto. In superficie, vengono raccolti anche campioni d'acqua per le successive analisi di laboratorio: concentrazioni dei nutrienti (vedi par. 1.3.6), identificazione delle specie di fitoplancton presenti e stima della loro densità numerica. Sia le misure tramite batisonda CTD che i prelievi delle acque superficiali vengono eseguiti in tutte le stazioni di monitoraggio con frequenza bimestrale. L'analisi dei campioni di fitoplancton viene effettuata utilizzando il metodo di Uthermöl, con volumi di sedimentazione in genere di 25ml (raramente e solo per le stazioni di Nettuno e Fiume Morto sono usate camere da 10ml) e i conteggi delle cellule sono stati condotti sulla base delle norme UNI EN 15204 del 2006 e UNI EN 15972 del 2012. Il popolamento fitoplanctonico, sulla base di una prima classificazione tassonomica<sup>1</sup>, viene suddiviso in 3 principali categorie, calcolando anche la relativa abbondanza (cell/L):

- diatomee (*phylum* Bacillariophyta);
- dinoflagellati (*phylum* Miozoa, superclasse Dinoflagellata);
- altro fitoplancton: fitoflagellati e non, appartenente a vari *phyla* (Cyanobacteria, Chlorophyta/Charophyta, Cryptophyta, Ochrophyta, Haptophyta, Euglenophyta e Cercozoa) o di inquadramento tassonomico indeterminato, principalmente della classe dimensionale del nano-fitoplancton (2-20µm), che spesso può rappresentare una frazione elevata della popolazione microalgale totale.

Sebbene ciascun indicatore (composizione, abbondanza o densità e biomassa) sia in grado di fornire informazioni sullo stato ecologico delle acque marine, la classificazione dei corpi idrici viene effettuata soltanto in base ai valori di clorofilla *a* (paragrafo C.2.2.1 del D.M. 260/2010).

Sulla base delle concentrazioni di clorofilla *a* (chl *a*) rilevate in 1 anno di monitoraggio, dopo aver normalizzato i singoli dati tramite Log-trasformazione, viene calcolato il 90°percentile. Se in un corpo idrico vi è più di una stazione di monitoraggio, lo stato di qualità sarà dato dalla media dei dati delle stazioni che lo compongono. Alla fine del monitoraggio operativo triennale, il valore da attribuire al corpo idrico è dato dalla media dei 3 valori annuali.

Tali valori (annuali e media triennale) vengono confrontati con quelli riportati dalla tabella 4.3.1/a del D.M. 260/2010 per la specifica tipologia di corpo idrico costiero (in Toscana sono tutti compresi nel "macrotipo 3") che definiscono le 3 classi del Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) e, quindi, dello Stato Ecologico basato su questo EQB (Tabella 1).

<sup>1</sup> Per la tassonomia del fitoplancton si fa riferimento a quanto riportato nel sito [www.algaebase.ORG](http://www.algaebase.ORG)

*Tabella 1: limiti di classe per l'EQB Fitoplancton nei corpi idrici costieri di macrotipo 3 (valore di riferimento 0,9 mg/m<sup>3</sup> di chl-a) e relativo Stato Ecologico*

Biomassa fitoplanctonica (mg/m <sup>3</sup> di chl-a)	RQE	Stato ecologico
≤ 1,1	≥ 0,8	Elevato
1,1 - 1,8	0,8 - 0,5	Buono
> 1,8	< 0,5	Sufficiente

### 1.3.2 Macrozoobenthos

Il macrozoobenthos comprende tutte le specie di invertebrati di dimensioni sufficienti (superiori a 0,5mm) per essere visibili a occhio nudo (macroinvertebrati), che vivono in stretta relazione con i fondali (bentonici) degli ambienti acquatici, sia marini che di acque interne.

Le specie più abbondanti sono solitamente anellidi, molluschi, crostacei e, in misura minore, echinodermi.

Il macrozoobenthos è un anello essenziale della catena alimentare marina: molte specie di invertebrati bentonici si alimentano di fitoplancton (filtratori) e sono a loro volta fonte di nutrimento per un gran numero di specie di pesci ed altri organismi marini, svolgendo un importante ruolo di collegamento fra la produzione vegetale e i livelli trofici superiori. Inoltre, le specie che si nutrono di detrito (detritivori) sono fondamentali per la decomposizione della sostanza organica, che agevola il processo di mineralizzazione da parte dei batteri ed il riciclo degli elementi. Infine, la maggior parte delle specie bentoniche vive all'interno della sabbia ed il continuo movimento degli animali, solitamente nei primi 20 cm di spessore, contribuisce a ossigenare la sabbia, favorendo l'insediamento di altre specie.

La distribuzione delle specie varia sensibilmente nel tempo e nello spazio, in funzione del loro ciclo vitale e, soprattutto, dei parametri chimico-fisici che definiscono l'habitat: disponibilità di materia organica, regime idrodinamico, dimensione e tipo di sedimenti presenti, influenzati, a loro volta, dalle condizioni meteomarine. Di conseguenza, la composizione di queste comunità è molto variabile, anche in assenza di particolari stress ambientali: l'inquinamento delle acque e la modifica della costa dovuta alla realizzazione di opere di difesa costiera, di porti e porticcioli, ecc. possono determinare alterazioni particolarmente importanti, talvolta con conseguenti effetti negativi anche su una scala più ampia. Essendo, quindi, particolarmente sensibili alle pressioni antropiche, gli invertebrati bentonici vengono considerati dei buoni bioindicatori, in grado di fornire informazioni integrate sullo stato dell'ambiente, anche sul lungo periodo.



Figura 3: esempio di macrozoobenthos marino di fondi mobili: *Echinocardium cordatum* (Pennant, 1777)

Nelle acque costiere del Mediterraneo vengono presi in considerazione i macroinvertebrati di fondo mobile, cioè quelli che abitano i fondali marini costituiti da sedimenti di natura prevalentemente fangosa e/o sabbiosa, che sono quelli più comuni nella fascia costiera.

Ogni corpo idrico viene esaminato con cadenza triennale: la fase di campionamento prevede il prelievo, tramite strumenti come la benna Van Veen (volume di 18 litri e superficie di presa di circa 0,1 m<sup>2</sup>), di 3 campioni (repliche). Il sedimento viene, quindi, sottoposto ad analisi granulometrica<sup>2</sup> e del contenuto in carbonio organico totale (TOC), mentre gli organismi, dopo setacciatura, vengono fissati con etanolo al 90% ed avviati al laboratorio. Il primo smistamento (*sorting*) degli organismi avviene mediante utilizzo di stereomicroscopio per suddividerli nei principali taxa animali e raccolti in differenti contenitori. In seguito si procede con l'identificazione fino al livello di specie, quando possibile.

I dati così raccolti sono elaborati mediante l'utilizzo del software AMBI 6.0 (AZTI's Marine Biotic Index) per il calcolo degli indici AMBI (Borja et al., 2000) e M-AMBI o Multivariate AMBI (Muxika et al., 2007). L'AMBI è un indice che suddivide le varie specie in 5 gruppi in base alla loro sensibilità dalle specie più sensibili che non sopportano minimi livelli di inquinamento (GI) a specie opportunistiche, estremamente tolleranti ad apporti organici (GV):

Gruppo (G)	Tipo di specie
I	sensibili
II	sensibili/tolleranti
III	tolleranti

Gruppo (G)	Tipo di specie
IV	opportuniste (primo ordine)
V	opportuniste (secondo ordine)

Il valore dell'indice AMBI va da 0 (comunità bentoniche non soggette ad alcun tipo di disturbo) a 6 (comunità fortemente alterate e sottoposte a un disturbo estremo).

2 La suddivisione del sedimento in classi dimensionali (granulometria) dei fondali marini è utile per confrontare i risultati delle analisi sui popolamenti di macrozoobenthos e sulla prateria di posidonia, a parità di composizione percentuale: ghiaia (granuli con diametro > 2mm); sabbia (diametro tra 2 e 0,0625 mm); peliti (diametro < 0,0625 mm)



Per i macroinvertebrati bentonici si applica l'Indice M-AMBI, una evoluzione dell'indice AMBI integrato con l'Indice di diversità di Shannon-Wiener ed il numero di specie (S), elaborando le suddette 3 componenti con tecniche di analisi statistica multivariata: il valore dell'M-AMBI varia tra 0 ed 1 e corrisponde al RQE (Tabella 2).

*Tabella 2: limiti di classe per l'EQB macroinvertebrati bentonici nei corpi idrici costieri e relativo Stato Ecologico*

RQE (M-AMBI)	Stato ecologico
$\geq 0,81$	Elevato
0,8 - 0,6	Buono
$< 0,6$	Sufficiente

### 1.3.3 Macrofite

Le macrofite marine sono alghe pluricellulari (macroalghe), ben visibili a occhio nudo, aderenti ad un substrato roccioso e, insieme alle piante acquatiche (posidonia, ecc.), svolgono un ruolo importante per l'ossigenazione delle acque e la produzione di sostanza organica. In base al tipo di pigmento fotosintetico dominante sono suddivise in alghe verdi, brune e rosse e ciascun gruppo di specie è distribuito lungo fasce diverse di profondità, fino a circa -150 m.



*Figura 4: esempio di comunità macroalgale nella fascia litorale mediterranea*

Le specie utilizzate nel monitoraggio marino sono quelle che vivono nella fascia litorale in cui si ha un'alternanza di emersione e immersione, dovuta all'escursione di marea e all'azione del moto ondoso (zona intertidale). Questa fascia di confine tra gli habitat marini e terrestri è quella più sensibile alle pressioni antropiche e nel Mediterraneo va da 20 cm sopra il livello medio del mare fino a circa -50 cm di profondità.

Ciascuna specie ha uno specifico intervallo di tollerabilità ai diversi fattori ambientali (luce, umidità, salinità, temperatura, ecc.) e cambiamenti drastici possono stravolgere gli equilibri di tutta la comunità macroalgale, alterando la composizione in specie.

In condizioni di equilibrio ambientale, su scogliere a forte pendenza ed elevato moto ondoso, la fascia subito al di sopra del livello medio del mare è normalmente colonizzata da alcune specie

di alghe, dette corallinacee, il cui accrescimento determina la formazione di strutture simili a veri e propri marciapiedi costieri, denominati “trottoir”. Nei nostri mari, le specie dominanti di queste strutture sono *Lithophyllum byssoides* e *Lythophyllum trochanter*.

Tabella 3: descrizione delle comunità di macroalghe litorali e rispettivi Sensitivity Level (SL) associati

Categoria		Descrizione	SL
Trottoir (concrezioni a marciapiede)		Trottoir di <i>Lithophyllum byssoides</i> (L. <i>trochanter</i> e <i>Dendropoma</i> <sup>3</sup> )	20
Con popolamenti a <i>Cystoseira</i>	<i>C. brachycarpa/ crinita/ elegans</i>	Popolamenti a <i>C. brachycarpa/crinita/elegans</i>	20
	<i>Cystoseira</i> in zone riparate	Popolamenti a <i>C. barbata/fonculacea/humilis/spinosa</i>	20
	<i>C. amentacea/mediterranea</i> 5	Cinture continue a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	20
	<i>C. amentacea/mediterranea</i> 4	Cinture quasi continue a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	19
	<i>C. amentacea/mediterranea</i> 3	Popolamenti abbondanti a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	15
	<i>C. amentacea/mediterranea</i> 2	Popolamenti scarsi a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	12
	<i>Cystoseira</i> compressa	Popolamenti a <i>C.compressa</i>	12
<i>Cystoseira amentacea/mediterranea</i> 1		Rare piante isolate di <i>C.amentacea/mediterranea</i> <sup>4</sup>	10
Senza popolamenti a <i>Cystoseira</i>	Dictyotales/Stypocaulaceae	Popolamenti a <i>Padina/ Dictyota/ Dictyopteris/ Taonia/ Stypocaulon</i>	10
	Corallina	Popolamenti a <i>Corallina elongata</i>	8
	Corallinales incrostanti	Popolamenti a <i>Lithophyllum incrustans, Neogoniolithon brassica-florida</i> e altre Corallinales incrostanti	6
	Mitili	Popolamenti a <i>Mitilus galloprovincialis</i>	6
	Pterocladia/Ulva/Schizymenia	Popolamenti a <i>Pterocladia/ Ulva/ Schizymenia</i>	6
	Ulva/Cladophora	Popolamenti a <i>Ulva</i> e/o <i>Cladophora</i>	3
	Cianobatteri/ <i>Derbesia</i>	Popolamenti dominati da <i>Cyanobacteria</i> e/o <i>Derbesia tenuissima</i>	1
Fanerogame	Posidonia – récif	Praterie affioranti di <i>Posidonia oceanica</i> (récif)	20
	<i>Cymodocea nodosa</i>	Praterie superficiali di <i>Cymodocea nodosa</i>	20
	<i>Nanozostera noltii</i>	Praterie superficiali di <i>Nanozostera noltii</i>	20

La zona sommersa delle scogliere è invece normalmente dominata da varie specie di alghe brune appartenenti al genere *Cystoseira* che crescono in modo fitto e rigoglioso, creando fasce di vegetazione molto dense, alte fino a 40 cm (cistoseireti).

Oltre alla produzione primaria e all’ossigenazione delle acque (organismi fotosintetizzanti), le macroalghe, insieme al fitoplancton, sono fonte di nutrimento per molte altre specie, soprattutto di pesci e crostacei, ma possono avere anche un ruolo “strutturale”, formando un complesso di

3 Formazioni organogene tipiche della Sicilia e di altre regioni dell’Italia meridionale

4 In caso di presenza di rare piante isolate di *Cystoseira amentacea/mediterranea*, si annota anche la comunità dominante (valore di sensibilità risultante: valore medio)

microhabitat diversi, che forniscono riparo dalle correnti e dai predatori a molti animali di piccole dimensioni. I cistoseireti e i trottoir sono, quindi, ambienti marini con un grado di biodiversità molto elevato, ma estremamente sensibili alle perturbazioni antropiche (urbanizzazione, scarichi, opere costiere, ecc.) e, come tali, sono degli ottimi bioindicatori.

Per la valutazione dello stato ecologico sulla base dell'EQB macrofite nei corpi idrici costieri, viene utilizzato l'indice CARLIT (CARTografia LITorale) che considera le comunità di macroalghe presenti nella fascia intertidale delle scogliere rocciose. Questo indice si basa sul principio secondo cui, all'aumentare delle perturbazioni antropiche, alcune specie di macroalghe, definite "sensibili", tendono a scomparire e a essere sostituite da specie con livelli di tolleranza crescenti allo stress ambientale.

In realtà, nel CARLIT non vengono prese in considerazione tutte le specie ma solo le cosiddette "associazioni" vegetali, ovvero gruppi di specie che mostrano un livello simile di tolleranza alle condizioni ambientali e che solitamente crescono insieme in una determinata zona. Tali associazioni possono essere individuate in modo abbastanza rapido, anche a distanza (direttamente da un'imbarcazione, ad esempio), grazie alla presenza di una o più specie caratteristiche, dominanti per numero o dimensioni.

Il piano di campionamento può essere "continuo" o "a settori" e ad ogni unità minima di campionamento (50 metri) viene assegnato un certo valore di Sensibilità (SL), definito dalla presenza di associazioni vegetali a particolare valenza ecologica, alla rarefazione della vegetazione a *Cystoseira* spp. (Tabella 3), perchè le specie appartenenti al genere *Cystoseira* sono molto sensibili alle variazioni (unica eccezione *Cystoseira compressa* considerata più tollerante) e la loro presenza è associata ad una elevata qualità ecologica (SL massimi).

I rilievi vengono svolti una sola volta nel triennio di monitoraggio, a una distanza di circa 3-4 metri dalla riva, ma in certi casi può essere necessario avvicinarsi a nuoto alla riva o effettuare dei piccoli prelievi, per un'analisi più dettagliata.

La media pesata dei valori di sensibilità della vegetazione (SL), in funzione della lunghezza della costa, corrisponde a un Valore di qualità ecologica (VQE) che viene confrontato con quello di riferimento per la regione mediterranea, ottenendo il RQE, che, a sua volta determina lo stato ecologico di questo EQB (Tabella 4).

Tabella 4: limiti di classe per l'EQB macrofite nei corpi idrici costieri e relativo Stato Ecologico

RQE (CARLIT)	Stato ecologico
≥ 0,75	Elevato
0,74 - 0,60	Buono
< 0,60	Sufficiente

### 1.3.4 Angiosperme

Le angiosperme sono piante “superiori”, ma solo poche specie vivono sui fondali marini (fanerogame marine). Nel Mar Mediterraneo sono rappresentate principalmente dalla *Posidonia oceanica*, una pianta vascolare endemica di questo bacino, ma sono presenti, con caratteristiche e importanza molto diverse, altre specie come *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*, *Nanozostera noltii* e *Halophila stipulacea*.

La posidonia, come tutte le angiosperme, è una pianta dotata di radici, foglie, fusto, fiori e frutti e colonizza i fondali soprattutto sabbiosi, in una fascia generalmente compresa entro i 40 metri di profondità in base alla trasparenza delle acque, costituendo spesso delle vere “praterie” sottomarine, uno tra i popolamenti più studiati e più rappresentativi del piano infralitorale del Mediterraneo.



Figura 5: esempi di fondali colonizzati da *Posidonia oceanica*

Le praterie di posidonia (posidonieti) sono un vero e proprio ecosistema con fondamentali funzioni ecologiche (produzione di ossigeno e sostanza organica, assorbimento della CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, deposito di nutrienti, creazione di microhabitat e incremento biodiversità, ecc.) e di difesa della fascia costiera (attenuazione dell'idrodinamismo costiero, stabilizzazione dei fondali sabbiosi e delle dune, protezione delle spiagge, ecc.). Inoltre, la loro notevole sensibilità ad ogni perturbazione naturale o artificiale in atto nell'ambiente le rende un ottimo indicatore biologico per determinare la qualità delle acque marine costiere.

Il successo evolutivo di questa pianta, in un ambiente instabile e dinamico come il fondale sabbioso, è legato alla contemporanea crescita dei fusti (rizomi) in orizzontale e in verticale. I rizomi orizzontali (plagiotropi) ancorano la pianta al fondale tramite radici lignificate e sono quindi responsabili dell'espansione laterale delle praterie, mentre i rizomi verticali (ortotropi) ne compensano il progressivo insabbiamento, dovuto al continuo apporto di sedimenti.

La struttura a terrazzo che ne deriva (“matte”) agisce come una trappola per la sabbia, tanto da proteggere il fondale dalla forza erosiva delle onde. La crescita verticale della matte è tuttavia estremamente lenta, stimata attorno a 1 cm/anno, fatto che rende particolarmente difficoltoso il recupero biologico dopo eventuali eventi di stress. I rizomi presenti sul margine superiore della matte sviluppano i fasci fogliari, che contengono gruppi di 6-7 foglie, lunghe fino a 1 metro.

Il monitoraggio delle praterie di *P. oceanica* prevede che vengano identificate 2 stazioni, una a circa 15 m di profondità (intermedia) ed una sul limite inferiore, dove i biologi subacquei effettuano una prima serie di misure e stime su:

- tipo di substrato (roccia, sabbia, matte, misto), ricoprimento (percentuale di substrato ricoperto dalle piante di *P. oceanica* o di matte morta) e continuità della prateria;
- presenza (%) di altre fanerogame (*Cymodocea nodosa*) e/o di alghe invasive (*Caulerpa racemosa*, *C. taxifolia*);
- misure (opzionali) di intensità della luce e della temperatura;
- profondità e tipo di limite ed eventuale scalzamento dei rizomi (solo limite inferiore).

Per quanto riguarda, poi, la densità dei fasci fogliari, cioè la conta dei fasci fogliari su una superficie standard di 40X40 cm:

- nella stazione intermedia vengono definite 3 aree, di 400m<sup>2</sup> circa ciascuna e distanziate di 10m tra loro, in ciascuna delle quali effettuare 3 misure (repliche) per un totale di 9 repliche di ogni stazione;
- lungo un transetto orizzontale (di circa 50-60 metri) in corrispondenza del limite inferiore, si effettuano 6 repliche.

In ogni prateria vengono anche prelevati campioni di sedimento per successive analisi granulometriche<sup>2</sup> e fasci ortotropi di *P. oceanica* (6 in ogni area per la intermedia e 6 in totale per il limite inferiore) che vengono misurati (in laboratorio) e analizzati per:

- parametri lepidocronologici (produzione, peso, lunghezza, età del rizoma e altro);
- parametri morfometrici (lunghezza, larghezza, superficie delle foglie adulte, intermedie e giovanili, ecc.);
- biomassa fogliare e degli epifiti, espressa in peso.

A partire dal 2020, poi, sulla base dell'aggiornamento delle schede metodologiche per il Programma di monitoraggio previsto dalla Strategia Marina (D.Lgs. 190/2010), è stato deciso di individuare 3 unità di osservazione ogni 3 km<sup>2</sup> di prateria. In pratica, quindi, per ogni prateria di *P. oceanica* monitorata in Toscana è stata definita 1 area di 3 km<sup>2</sup>, all'interno della quale sono state individuate 3 stazioni intermedie e 3 del limite inferiore, triplicando le misure e le analisi sopra previste.

Lo schema generale di campionamento, come sopra descritto, è riassunto in Figura 6.

Come per il macrozoobenthos e le macrofite, il monitoraggio di ogni prateria viene effettuato una volta ogni 3 anni ed il giudizio di qualità ecologica è espresso mediante il PREI (Posidonia Rapid Easy Index), un indice che integra gli effetti di differenti impatti antropici (immissioni di inquinanti nelle acque e/o nei sedimenti, alterazioni fisico-morfologiche del tratto costiero, ecc.).



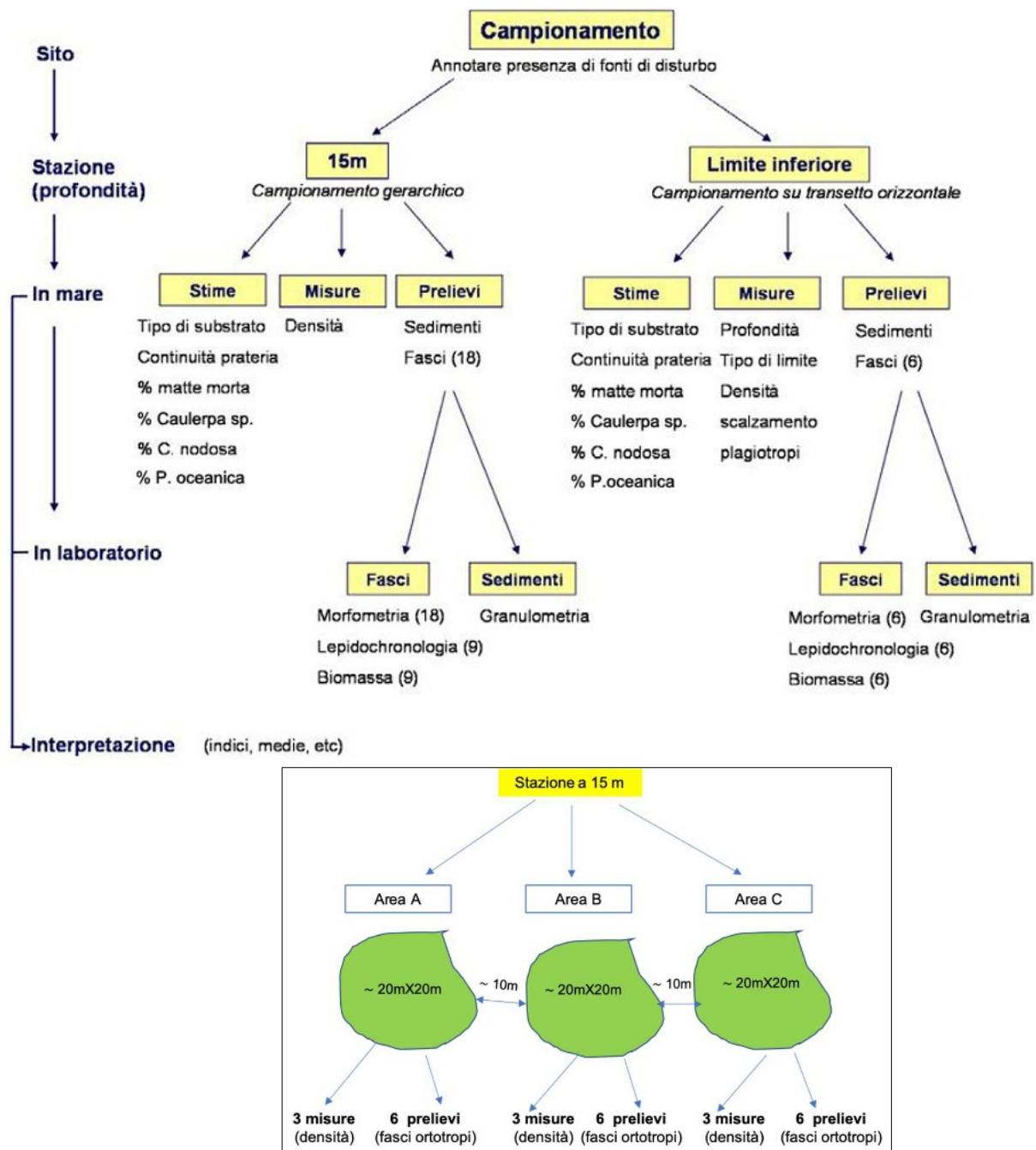


Figura 6: schema di campionamento per l'indagine delle praterie a P. oceanica

L'indice PREI viene calcolato elaborando i dati di 5 parametri della prateria in esame (superficie e densità fogliare, biomassa fogliare e degli epifiti, profondità del limite inferiore), confrontandoli con i valori di riferimento di una prateria indisturbata e stabiliti dalla Tabella 4.3.1/e del D.M. 260/2010 (Tabella 5), sulla base della seguente equazione:

$$RQE = (RQE' + 0,11) / (1 + 0,10)$$

$$\text{dove } RQE' = [N_{\text{densità}} + N_{\text{superf. fogliare}} + N_{\text{biomasse}} + N_{\text{limite inferiore}}] / 3,5$$

e

- $N_{\text{densità}}$  = rapporto tra valore misurato e di riferimento della densità fogliare
- $N_{\text{superf. fogliare}}$  = rapporto tra valore misurato e di riferimento della superficie fogliare
- $N_{\text{biomasse}}$  = rapporto tra la biomassa degli epifiti e la biomassa fogliare va sottratto all'unità e moltiplicato per 0,5
- $N_{\text{limite inferiore}}$  = rapporto tra la profondità misurata del limite inferiore, alla quale va aggiunto il valore lambda ( $\lambda$ ) per il tipo di limite (0 = stabile; 3 = progressivo; -3 = regressivo), e quella di riferimento, dopo aver sottratto a entrambe la profondità minima del limite inferiore indicativa di cattive condizioni (12 m),
- $N_{\text{limite inferiore}}$  = rapporto tra la profondità misurata del limite inferiore, alla quale va aggiunto il valore lambda ( $\lambda$ ) per il tipo di limite (0 = stabile; 3 = progressivo; -3 = regressivo), e quella di riferimento, dopo aver sottratto a entrambe la profondità minima del limite inferiore indicativa di cattive condizioni (12 m),

$$\text{cioè} = \frac{\text{profondità misurata} + \lambda - 1}{\text{profondità di riferimento} - 12}$$

Il risultato finale del PREI non fornisce un valore assoluto, ma direttamente il rapporto di qualità ecologica (RQE) suddiviso in 5 classi: lo stato cattivo corrisponde ad una recente non sopravvivenza di *P. oceanica*, ovvero, alla sua scomparsa entro cinque anni.

Tabella 5: limiti di classe per l'EQB angiosperme nei corpi idrici costieri e relativo Stato Ecologico

RQE (PREI)	Stato ecologico
$\geq 0,775$	Elevato
0,774 - 0,550	Buono
0,549 - 0,325	Sufficiente
0,324 - 0,100	Scarso
$< 0,100$	Cattivo

### 1.3.5 Il coralligeno

Per quanto non previsto tra gli EQB utilizzabili per la valutazione dello stato ecologico (D.M. 260/2010 e ss.mm.ii.), il coralligeno, insieme alle praterie di *P. oceanica*, è uno degli habitat più ricchi di specie, quindi di biodiversità del mar Mediterraneo, tanto da essere inserito nel monitoraggio della strategia marina (D.Lgs 190/2010) ed ARPAT da molti anni ha sviluppato specifiche competenze ed esperienze su questo popolamento.

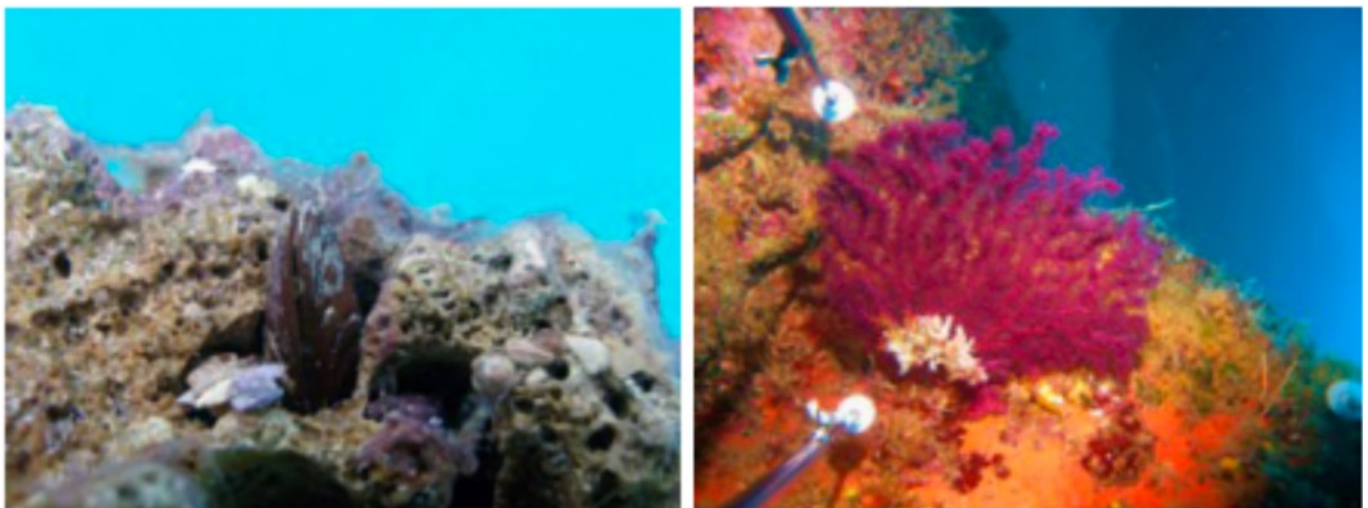
Il coralligeno è una struttura permanente formata dalla stratificazione di alghe incrostanti (in gran parte alghe rosse) che crescono accumulando carbonato di calcio e aragonite sulla parete cellulare (biocostruzione) e, quando muoiono, le generazioni successive crescono sul loro scheletro calcificato, formando molti strati sovrapposti e cementati tra loro che, in casi eccezionali e in tempi molto lunghi, possono raggiungere il metro di spessore. Attraverso l'azione demolitrice di fattori ambientali ed organismi (biodemolitori) si creano sistemi

eterogenei di cavità e fessure che rendono queste strutture ideali per lo sviluppo di un gran numero di altri organismi sia animali che vegetali, rendendo così questo ecosistema eterogeneo e ricco di biodiversità. Inoltre, molte specie di pesci, molluschi e crostacei vengono attratte dalla disponibilità di anfratti riparati e siti per la deposizione delle uova, oltre che dalla ricchezza di cibo ed il coralligeno svolge una funzione importante come area nursery e zona di crescita per forme giovanili.

Sebbene possano crescere anche sui fondali detritici (coralligeno di piattaforma), le formazioni coralligene sono tipiche dei fondali rocciosi (coralligeno litorale), ma entrambi i due tipi occupano una fascia di profondità compresa tra -25 e -150 m, in base alla trasparenza delle acque ed alla morfologia del fondale. Le condizioni ottimali sono temperatura bassa e costante, luminosità ridotta e idrodinamismo moderato, che impedisca un'eccessiva sedimentazione.

In una formazione coralligena ben strutturata si distinguono almeno 4 strati:

- sottobasale: piccole cavità interne alla roccia che contengono organismi biodemolitori in grado di dissolvere chimicamente il carbonato di calcio (spugne e bivalvi perforanti);
- basale: cavità e fessure fra gli scheletri calcarei delle alghe morte, dove vivono molte specie di biodemolitori meccanici (piccoli molluschi, anellidi, spugne, sipunculidi);
- intermedio: alghe calcificate viventi e altri organismi biocostruttori (sclerattinie, briozoi, serpulidi, foraminiferi, ecc.), è quello più ricco di specie;
- superiore: specie biocostruttrici a portamento eretto (gorgonie, madrepora e corallo rosso) e da alghe e idrozoi che crescono sulle loro superfici calcaree.



*Figura 7: esempi di popolamenti a coralligeno: strato sottobasale e basale (a sinistra) e superiore (a destra)*

Il coralligeno ha un ruolo determinante nel ciclo del carbonio ed è un buon bioindicatore, perché particolarmente sensibile alle alterazioni ambientali, come l'innalzamento delle temperature e l'acidificazione degli oceani (cambiamenti climatici) o l'eutrofizzazione e l'eccessivo tasso di sedimentazione, che alterano la disponibilità di luce per la fotosintesi delle alghe di fondo, oltre agli impatti della pesca a strascico e a reti fisse.

Sulla base di rilievi bati-morfologici dei fondali (utilizzando strumentazione subacquea quale Multibeam, Side Scan Sonar, ROV), sono state individuate le zone a coralligeno: in ogni area gli

operatori subacquei hanno definito 3 siti di indagine (distanti non meno di 500 m l'uno dall'altro) e per ciascun sito 3 "plot" (A1, A2, A3), cioè 3 superfici di 4 m<sup>2</sup> distanti l'uno dall'altro qualche decina di metri dove vengono acquisiti 10 campioni fotografici (repliche)<sup>5</sup> di 0,2 m<sup>2</sup> ciascuno (0,5 m × 0,4 m circa) per un totale di 30 foto per sito. Per ogni immagine così ottenuta deve essere successivamente valutata la copertura (%) dei principali taxa e/o dei morfotipi (gruppi morfologici) animali e vegetali (macroalghe) e dell'eventuale sedimento, mucillagine o cavità presenti.

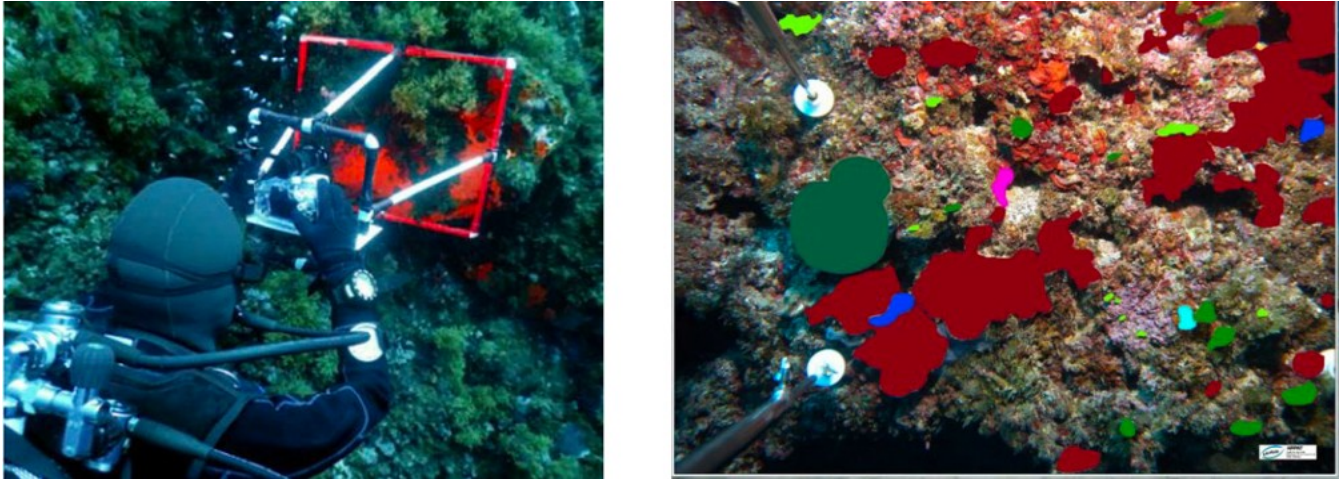


Figura 8: esempio di campionamento fotografico (plot) dei popolamenti a coralligeno di parete (a sinistra) e di foto in fase di elaborazione (a destra)

Per valutare la qualità ecologica dei popolamenti a coralligeno in Toscana si utilizza l'indice ESCA<sup>6</sup> (*Ecological Status of Coralligenous Assemblages*) che si basa su 3 descrittori ecologici:

- sensibilità al disturbo (Sensitivity Level, SL): ad ogni gruppo o taxon è stato associato un valore di SL da 1 a 10 che deve essere rapportato alla copertura media di quel taxon/gruppo tra tutti i campioni fotografici di uno stesso sito (30) e sommato a quello di tutti gli altri taxa/gruppi presenti;
- diversità dei popolamenti (diversità  $\alpha$ ), cioè la media dei taxa/gruppi presenti tra tutti i campioni fotografico del sito;
- eterogeneità fra popolamenti (diversità  $\beta$ ): attraverso una tecnica di analisi multivariata (Permutational Dispersion Analysis) si valuta la variabilità della composizione e abbondanza in specie tra i 30 campioni fotografici.

Il valore ecologico così ottenuto (Ecological Quality Values) in un sito per ciascun descrittore ( $EQV_{SL}$ ,  $EQV_{\alpha}$ ,  $EQV_{\beta}$ ) viene confrontato con quelli di riferimento per ottenere 3 EQR (Ecological Quality Ratio): la media tra i 3 EQR di ciascun sito ( $EQR_{SL} + EQR_{\alpha} + EQR_{\beta}$ ), rappresenta l'EQR finale di ciascun sito, suddiviso in 5 classi di qualità ecologica (Tabella 6).

<sup>5</sup> Tramite fotocamera digitale con una risoluzione minima di 15 megapixel

<sup>6</sup> Gennaro P., Piazzini L., Cecchi E., Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N. (Eds.), 2020. *Monitoraggio e valutazione dello stato ecologico dell'habitat a coralligeno. Il coralligeno di parete*. ISPRA, Manuali e Linee Guida n.191/2020



**Tabella 6: classificazione ecologica del coralligeno sulla base dell'indice ESCA**

EQR	Classe ecologica	Valori di riferimento (EQV <sub>ref</sub> ) <sup>7</sup> in Toscana
0.81-1.0	Elevato	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensitivity Level (SL) =540</li> <li>diversità alpha (<math>\alpha</math>) = 15</li> <li>diversità beta (<math>\beta</math>) = 0,2</li> </ul>
0.61-0.80	Buono	
0.41-0.60	Sufficiente	
0.21-0.40	Scarso	
0-0.20	Cattivo	

### 1.3.6 Elementi chimico fisici a sostegno (Fase I)

Una volta analizzati gli elementi biologici e calcolati i loro indici, si procede ad assegnare una prima classificazione che dovrà essere confermata o modificata dagli elementi di qualità fisico-chimica (FASE I) e, successivamente, dagli inquinanti chimici non prioritari (FASE II). Gli elementi di qualità fisico-chimica delle acque marino costiere (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, nutrienti, ecc.) concorrono alla definizione dello stato ecologico stesso, mentre gli elementi idromorfologici (regime correntometrico, esposizione moto ondoso, profondità e composizione del substrato) sono utilizzati solo per migliorare l'interpretazione dei risultati.

La temperatura e la salinità contribuiscono alla definizione della densità dell'acqua di mare e, quindi, della stabilità della colonna d'acqua, sulla quale è basata la tipizzazione dei corpi idrici costieri che condiziona la tipo-specificità delle metriche e degli indici utilizzati per la classificazione degli EQB.

I dati relativi a temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH e clorofilla *a*, come detto (par. 10) vengono rilevati tramite sonda multiparametrica: l'acquisizione dei dati, effettuata con un passo di un metro, permette di evidenziare stratificazioni termiche, saline e stadi di anossia o ipossia che possono verificarsi sul fondo.

Inoltre, in ogni stazione, viene misurata la trasparenza tramite "disco Secchi" per valutare la presenza di particolato che potrebbe limitare la penetrazione della luce solare e, di conseguenza, influire sulla biomassa fitoplanctonica.

Infine, ad una quota superficiale (0,5m) vengono prelevati dei campioni di acqua per l'analisi dei nutrienti, cioè delle principali sostanze azotate, fosforate e silicati, che servono per lo sviluppo della biomassa fitoplanctonica:

- azoto totale (N-tot) e le sue forme inorganiche disciolte dell'azoto nitroso o nitriti (N-NO<sub>2</sub>), nitrico o nitrati (N-NO<sub>3</sub>) e ammoniacale (N-NH<sub>3</sub>), la cui somma (DIN = Dissolved Inorganic Nitrogen), viene utilizzata nel calcolo dell'indice trofico TRIX;
- fosforo totale (P-tot), utilizzato nel calcolo dell'indice trofico TRIX e ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>), componente direttamente assimilabile da parte del fitoplancton.

Al fine di misurare il livello produzione primaria (fotosintetica) degli ambienti marino costieri e per segnalare eventuali criticità (eutrofia, distrofia) viene utilizzato l'indice trofico TRIX, che si basa su una combinazione di ossigeno disciolto (produzione fotosintetica), clorofilla *a*

<sup>7</sup> I valori di riferimento per l'indice ESCA attualmente utilizzati in Toscana sono stati calcolati sui popolamenti a coralligeno dell'Isola del Giglio nell'inverno 2011



(biomassa fotosintetica) e nutrienti (sostanze necessarie per lo sviluppo del fitoplancton), la cui formula è riportata di seguito.

$$TRIX = (\text{Log}(\text{Chl } a \cdot |\text{OD\%}| \cdot \text{DIN} \cdot \text{Ptot}) - (-1,5))/1,2$$

dove

Chl *a* = Clorofilla “a” in µg/L

DIN = azoto solubile in µg/L

P tot = fosforo totale in µg/L

OD% = percentuale di ossigeno disciolto rispetto alla saturazione (100%) ad una determinata pressione e temperatura dell’acqua

Il giudizio espresso per ciascun EQB deve essere coerente con il limite di classe di TRIX: in caso di stato ecologico “buono” il corrispondente valore di TRIX deve essere minore della soglia macrotipo-specifica, che, nel caso delle coste toscane, è uguale a 4,0. Considerando che il monitoraggio degli elementi chimico fisici è annuale, alla fine di un triennio verrà attribuito al corpo idrico il valore medio dei 3 TRIX ottenuti durante il ciclo di monitoraggio.

### 1.3.7 Inquinanti chimici non prioritari (Fase II)

In base alle conoscenze del territorio e alle pressioni ambientali, ARPAT, in accordo con la Regione Toscana, ha selezionato le sostanze non prioritarie da cercare nelle acque costiere toscane (Tabella 7), sulla base dell’elenco riportato nella tabella 1/B del D.Lgs. 172/2015. Questi analiti vengono controllati in tutti i corpi idrici toscani con frequenza bimestrale, al pari del fitoplancton e degli elementi chimico fisici a sostegno.

Al termine di ogni anno, viene calcolata la concentrazione media per ognuna di queste sostanze in ciascun corpo idrico con le seguenti approssimazioni:

- quando il valore analitico è inferiore al limite di quantificazione della metodica analitica (LOQ), viene usata la metà del LOQ (punto 13, paragrafo A.2.8, D.M. 260/2010);
- quando il 90% dei risultati analitici di uno stesso anno è inferiore al LOQ, il risultato è riportato come “*minore del limite di quantificazione*” (punto 14).

La media annuale così elaborata viene confrontata con i corrispondenti SQA (Tabella 1/B D.Lgs. 172/2015) e, per la classificazione dello stato ecologico al termine di un triennio di monitoraggio, si utilizza il valore più elevato delle 3 medie annuali. Qualora nel medesimo corpo idrico si monitorino più stazioni, si considera lo stato ecologico peggiore.

La valutazione dello stato di qualità dei corpi idrici viene effettuata sulla base della tabella 4.5/a del D.M. 260/2010, come modificata dal D.Lgs. 172/2015:

- stato elevato = media annuale dei metalli minore dei valori di fondo e media annuale delle altre sostanze ≤ LOQ ;
- stato buono = media annuale minore o uguale a SQA;
- stato sufficiente = media annuale superiore a SQA.

Tabella 7: inquinanti chimici non prioritari

N.	Sostanza	Numero CAS	N.	Sostanza	Numero CAS
1	Arsenico	7440-38-2	23	1,2 Diclorobenzene	95-50-1
5	2-Cloroanilina	95-51-2	24	1,3 Diclorobenzene	541-73-1
6	3- Cloroanilina	108-42-9	25	1,4 Diclorobenzene	106-46-7
7	4- Cloroanilina	106-47-8	26	2,4 Diclorofenolo	120-83-2
8	Clorobenzene	108-90-7	30	Linuron	330-55-2
9	2-Clorofenolo	95-57-8	31	Malation	121-72-5
10	3-Clorofenolo	108-43-0	41	Toluene	108-88-3
11	4-Clorofenolo	106-48-9	42	1,1,1 Tricloroetano	71-55-6
16	2-Clorotoluene	95-49-8	43	2,4,5 Triclorofenolo	95-95-4
17	3-Clorotoluene	108-41-8	44	2,4,6 Triclorofenolo	1988-06-02
18	4-Clorotoluene	106-43-4	45	Terbutilazina (incluso metabolita)	-
19	Cromo totale	74440-47-3	47	Xilene	1330-20-7
22	3, 4 Dicloroanilina	95-76-1			

## 1.4 Stato chimico

Dato che, come visto (par. 8) uno degli obiettivi principali della Direttiva Quadro 2000/60/CE è la progressiva riduzione dell'inquinamento delle acque, è stata predisposta a livello comunitario una prima lista di sostanze inquinanti particolarmente impattanti sulla qualità degli ecosistemi acquatici, a causa della loro diffusione, abbondanza e persistenza nell'ambiente e della possibilità di interferire con la salute umana.

Tali sostanze, a seconda dell'importanza e del livello di rischio associato, sono state indicate come “*prioritarie*” (P), “*pericolose prioritarie*” (PP) e “*altre*” (E) nelle tabelle del D.Lgs. 152/2006. Il primo elenco di 33 sostanze della direttiva 2008/105/UE è stato successivamente aggiornato dalla direttiva 2013/39/UE, recepita in Italia con il D.Lgs. 172/2015, che ha aggiunto 12 nuovi inquinanti (prodotti fitosanitari, biocidi, sostanze industriali e sottoprodotti di combustione).

Per ciascuna di queste sostanze il D.Lgs. 172/2015 prevede “*ai fini della classificazione delle acque superficiali*” il rispetto di Standard di qualità ambientale (SQA), espressi come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA) e/o come media annuale (SQA-MA), “*nella colonna d'acqua e nel biota*”.

Un corpo idrico è classificato in buono stato chimico se soddisfa, per le sostanze dell'elenco di priorità, tutti gli standard di qualità ambientale fissati nella tabella 1/A (o 2/A se la classificazione viene fatta sulla matrice sedimento).

In tutti i corpi idrici costieri della Toscana vengono effettuati campionamenti bimestrali delle acque superficiali (annuali per biota e sedimenti) per sottoporli alle analisi chimiche delle sostanze della tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015. Come per gli inquinanti non prioritari (par. 24),

al termine di ogni anno viene calcolata la concentrazione media per ognuna di queste sostanze in ciascun corpo idrico con le seguenti approssimazioni:

- quando il valore analitico è inferiore al limite di quantificazione della metodica analitica (LOQ), viene usata la metà del LOQ (punto 13, paragrafo A.2.8, D.M. 260/2010);
- quando il 90% dei risultati di uno stesso anno è inferiore al LOQ, il risultato è riportato come “*minore del limite di quantificazione*” (punto 14, paragrafo A.2.8, D.M. 260/2010).

La media annuale così elaborata viene confrontata con i corrispondenti SQA (Tabella 1/A D.Lgs. 172/2015) e, per la classificazione dello stato chimico al termine di un triennio di monitoraggio, si utilizza il valore più elevato delle 3 medie annuali. Qualora nel medesimo corpo idrico si monitorino più stazioni, si considera quella con lo stato chimico peggiore.

Un corpo idrico è classificato in **buono stato chimico** se soddisfa, per le sostanze dell'elenco di priorità, tutti gli standard di qualità ambientale fissati nella tabella 1/A (o 2/A se la classificazione viene fatta sulla matrice sedimento).

L'obiettivo era quello di raggiungere il buono stato chimico delle acque entro il 2021 per le prime 33 sostanze ed entro il 2027 per le 12 sostanze introdotte dal D.Lgs. 172/2015.

Per quanto riguarda i livelli di riferimento delle diverse sostanze chimiche, dato che dai primi anni di monitoraggio marino (2010-15) era stata rilevata una costante presenza di alcuni metalli in concentrazioni superiori agli SQA in gran parte delle acque costiere toscane, la Regione ha chiesto ad ARPAT di verificare se vi fossero fattori di arricchimento naturale ed eventualmente di definire quali fossero i valori di fondo in acqua e sedimenti<sup>8</sup>.

I risultati dello “*Studio per la definizione dei Valori di Fondo naturale nei sedimenti e nelle acque marino costiere*”<sup>9</sup> sono stati recepiti con DGRT 1273/2016, prima, e DGRT 264/2018, in via definitiva, modificando gli SQA per cadmio e mercurio nelle acque (tabella 1/A) e nei sedimenti (Tabella 2/A) e per nichel e piombo (tabella 1/A) in molte delle stazioni di monitoraggio dei corpi idrici costieri della Toscana (Tabella 8).

<sup>8</sup> Punto 7 del paragrafo A.2.8 dell'Allegato 1 alla parte III del D.Lgs. 152/2006

<sup>9</sup> [https://www.arp.at.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arp.at/studio-per-la-determinazione-dei-valori-di-fondo-naturale-nei-sedimenti-e-nelle-acque-marine-costiere/attachment\\_download/pubblicazione](https://www.arp.at.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arp.at/studio-per-la-determinazione-dei-valori-di-fondo-naturale-nei-sedimenti-e-nelle-acque-marine-costiere/attachment_download/pubblicazione)

**Tabella 8: valori di fondo naturali nelle acque costiere della Toscana (da All. B alla DGRT 264/2018)**

Stazione <sup>10</sup>	Acque (µg/L)		Sedimenti (mg/kg s.s.)					
	Cadmio	Mercurio	Arsenico	Cadmio	Cromo	Mercurio	Nichel	Piombo
Marina di Carrara	0,3	0,09	34	<SQA	91	0,5	79	<SQA
Nettuno	0,3	0,09	34	1,2	91	0,5	79	<SQA
Fiume Morto	<SQA	0,09	<SQA	0,6	91	0,5	79	<SQA
Antignano	0,3	0,04	34	<SQA	138	0,5	79	38
Rosignano Lillatro	0,5	0,04	34	0,6	138	0,5	145	<SQA
Marina di Castagneto	<SQA	0,04	34	0,6	189	0,5	145	<SQA
Salivoli	<SQA	0,04	142	1,2	138	0,5	79	38
Carbonifera	0,3	0,14	34	0,6	91	1,4	79	38
Foce Bruna	<SQA	0,14	34	0,6	91	1,4	79	<SQA
Foce Ombrone	<SQA	0,26	34	0,6	91	1,4	79	<SQA
Cala Forno	0,3	0,26	34	0,6	91	1,4	79	<SQA
Foce Albegna	0,3	0,26	34	0,6	91	1,4	79	<SQA
Porto S. Stefano	<SQA	0,26	34	0,6	91	1,4	79	38
Ansedonia	0,3	0,26	34	0,6	91	1,4	79	38
Elba Nord	<SQA	0,04	34	0,6	138	0,5	145	38
Elba Sud	<SQA	0,09	142	1,2	138	0,5	145	75
Capraia	0,3	0,04	34	0,6	53	0,5	<SQA	<SQA
Montecristo	<SQA	0,04	<SQA	0,6	53	0,5	<SQA	<SQA

Nella Tabella 9 sono riportate le sostanze prioritarie che vengono ricercate da ARPAT nella matrice acqua, secondo quanto riportato nella tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015.

**Tabella 9 : inquinanti chimici monitorati nella matrice acqua dei corpi idrici costieri della Toscana**

N.	Sostanza <sup>11</sup>	Num. CAS	N.	Sostanza	Num. CAS
1	Alacloro (P)	15972-60-8	18	Esaclorocicloesano (PP)	608-73-1
2	Antracene (PP)	120-12-7	19	Isoproturon (P)	34123-59-6
3	Atrazina (P)	1912-24-9	20	Piombo e composti (P)	7439-92-1
4	Benzene (P)	71-43-2	21	Mercurio e composti (PP)	7439-97-6
5	Difenileteri bromurati (PP)	32534-81-9	22	Naftalene (P)	91-20-3 2
6	Cadmio e composti (PP)	7440-13-9	23	Nichel e composti (P)	7440-02-0
6 bis	Tetracloruro di carbonio (E)	56-23-5	24	Nonilfenoli (4-nonilfenolo) (PP)	84852-15-3
8	Clorfenvinfos (P)	470-90-6	25	Ottilfenoli ((4-(1,1',3,3'-tetrametilbutil)- fenolo)) (P)	140-66-9

10 Per l'ubicazione delle stazioni e del relativo corpo idrico costiero vedi par. 1.5

11 Le sostanze contraddistinte dalla lettera P e PP sono, rispettivamente, le sostanze prioritarie e quelle pericolose prioritarie individuate ai sensi delle direttive 2008/105/CE e 2013/39/UE, quelle contraddistinte dalla lettera E sono le sostanze incluse nell'elenco di priorità dalle "direttive figlie" della 76/464/CE.

N.	Sostanza	Num. CAS
9	Clorpirifos -Clorpirifos etile (P)	2921-88-2
9 bis	Aldrin (E)	309-00-2
	Dieldrin (E)	60-57-1
	Endrin (E)	72-20-8
	Isodrin (E)	465-73-6
9 ter	DDT totale (E)	n.a
	p,p'-DDT (P)	50-29-3
10	1,2-Dicloroetano (P)	107-06-2
11	Diclorometano (P)	75-09-2
12	Di(2-etilesil)ftalato - DEHP (P)	117-81-7
13	Diuron (P)	330-54-1
14	Endosulfan (PP)	115-29-7
15	Fluorantene (P)	206-44-0
16	Esaclorobenzene (PP)	118-74-1
17	Esaclorobutadiene (PP)	87-68-3

N.	Sostanza	Num. CAS
26	Pentaclorobenzene (PP)	608-93-5
27	Pentaclorofenolo (P)	87-86-5
28	Benzo(a)pirene (PP)	50-32-8
	Benzo(b)fluorantene (PP)	205-99-2
	Benzo(k)fluorantene (PP)	207-08-09
	Benzo(g,h,i)perilene (PP)	191-24-2
	Indeno(1,2,3- cd)pirene (PP)	193-39-5
29	Simazina (P)	122-34-9
29 bis	Tetracloroetilene (E)	127-18-4
29 ter	Tricloroetilene (E)	79-01-6
30	Tributilstagno (composti)	36643-28-4
31	Triclorobenzeni P	12002-48-1
32	Triclorometano (P)	67-66-3
33	Trifluralin (P)	1582-09-8

Come accennato, il D.Lgs. 172/2015 prevede di ricercare alcune sostanze anche all'interno di organismi marini (biota), distinguendo quali analizzare nei pesci e nei molluschi/gasteropodi. La matrice biota viene monitorata con cadenza annuale e le analisi eseguite (Tabella 10) sono quelle indicate dalla tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015, ad eccezione di alcuni contaminanti, quali Esabromociclododecano (HBCDD), Eptacloro e eptacloro epossido, per i quali attualmente non si dispone di risorse strumentali ottimali.

*Tabella 10 : inquinanti chimici monitorati nella matrice biota dei corpi idrici costieri della Toscana*

N.	Sostanza <sup>12</sup>	Numero CAS	Pesci	Molluschi
5	Difenileteri bromurati (PP)	32534-81-9	x	
9 ter	DDT totale (E)	Non applicabile	x	
15	Fluorantene (P)	206-44-0	x	x
16	Esaclorobenzene (PP)	118-74-1	x	
17	Esaclorobutadiene (PP)	87-68-3 0	x	
21	Mercurio e composti (PP)	7439-97-6		
28	Benzo(a)pirene (PP)	50-32-8		x
34	Dicofol	115-32-2	x	
35	Acido perfluorottansolfonico e i suoi sali (PFOS)	1763-23-1	x	
37	Diossine e composti diossina simili	-	x	x

Per questo particolare tipo di monitoraggio (biota), sulla base delle “Linee guida” di ISPRA<sup>13</sup>, si deve applicare la normalizzazione di tutti i dati disponibili rispetto al livello trofico dell'organismo

<sup>12</sup> Vedi nota a pag. 27

<sup>13</sup> ISPRA, 2016 - Linee guida per il monitoraggio delle sostanze prioritarie (secondo D. lgs 172/2015). Manuali e Linee Guida, n. 143, scaricabile dal link [https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida/MLG\\_143\\_16.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida/MLG_143_16.pdf)



considerato ed in funzione del contenuto lipidico e di peso secco dei diversi *taxa*. In Toscana sono stati selezionati, per i molluschi bivalvi (livello trofico 2), le telline (*Donax trunculus*) per i corpi idrici Costa del Serchio e Costa pisana ed i mitili (*Mytilus galloprovincialis*) per tutti gli altri, in considerazione della loro abbondanza, diffusione e/o facilità di reperimento (stabulazione).

Per i pesci sono state individuate varie specie appartenenti a *taxa* e livelli trofici differenti, tra quelle che vivono e si nutrono nei pressi del fondale (specie demersali), più comuni e con abitudini più stanziali per poterle riferire ad un determinato corpo idrico (Tabella 11).

I pesci necessari per le analisi vengono acquistati da pescatori professionisti che operano nei corpi idrici prescelti, registrando le coordinate del luogo di pesca e sono congelati fino al trasferimento nei laboratori per le analisi, effettuate sul pesce intero.

Per le sostanze che si accumulano soprattutto nella porzione lipidica degli organismi (difenileteri bromurati, fluorantene, esaclorobenzene, benzo[a]pirene, ecc.) le concentrazioni vengono normalizzate rispetto ad un contenuto lipidico del 5% per i pesci e del 1% per i molluschi.

Tabella 11: specie di pesci demersali selezionate per la valutazione dello stato chimico nelle acque costiere della Toscana e relativo livello trofico da letteratura

Famiglia	Specie	Livello trofico
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	3
	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	3
	<i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827)	2
	<i>Chelon labrosus</i> (Risso, 1827)	3
	<i>Chelon saliens</i> (Risso, 1810)	3
Serranidae	<i>Serranus scriba</i> (Linnaeus, 1758)	4
Labridae	<i>Symphodus tinca</i> (Linnaeus, 1758).	3

Per le sostanze che si accumulano attraverso altri meccanismi, come il mercurio e l'acido perfluorottansolfonico (PFOS), la normalizzazione è basata sul peso secco, che per il pesce è pari al 26%, mentre per i molluschi è l'8,3%. Per le altre sostanze (DDT e Diossine e composti diossina-simili), non è necessaria alcuna normalizzazione, dato che i valori vanno espressi in tenori equivalenti di tossicità (TEQ) su peso umido.

La concentrazione misurata nel biota deve essere normalizzata per la frazione lipidica (per le sostanze organoclorurate e IPA) o per la frazione di peso secco sul totale (per Hg, PFOS), per poi essere confrontata con gli SQA corretti e normalizzati secondo le Linee guida di ISPRA (Tabella 12) per la definizione dello stato chimico.

**Tabella 12: SQA corretti per il livello trofico del biota (da ISPRA, 2016, modificato)**

Sostanza	SQA (µg/kg p.u.)	TMF <sup>14</sup>	SQA corretto normalizzato				
			Livello trofico Pesci			Molluschi	Unità di misura
			4	3	2		
Difenileteri bromurati (PBDE)	0,0085 <sup>15</sup>	1,8*	0,2	0,1	0,05		µg/kg lipide
DDT in pesci (<5% grassi)	50	N.A.	50	50	50		µg/kg p.u.
DDT in pesci (>5% grassi)	100	N.A.	100	100	100		µg/kg p.u.
Fluorantene	30	N.A.				3000	µg/kg lipide
Esaclorobenzene (HCB)	10	2,7*	200	74	27		µg/kg lipide
Esaclorobutadiene (HCBd)	55	N.D.	1100	1100	1100		µg/kg lipide
Mercurio e composti	20	2,2**	77	35	16		µg/kg p.s.
Benzo[a]pirene	5	N.A.				500	µg/kg lipide
Dicofol	33	N.D.	660	660	660		µg/kg lipide
Acido perfluorottansolfonico e suoi sali (PFOS)	9,1	2,1***	35	17	8		µg/kg p.s.
Diossine e composti diossina-simili	0,0065 TEQ	N.A.	0,0065 TEQ	0,0065 TEQ	0,0065 TEQ	0,0065 TEQ	µg/kg p.u.
Esabromociclododecano (HBCDD)	167	2,7*	3340	1231	454		µg/kg lipide
Eptacloro ed eptacloro epossido	0,0067	N.D.	0,13	0,13	0,13		µg/kg lipide
<b>Legenda;</b> N.A. = non applicabile; N.D. = dati non disponibili; * = TMF calcolato su base lipidica; ** = TMF calcolato su peso secco; *** = TMF calcolato su peso fresco							

Il D.Lgs. 172/2015 stabilisce che la classificazione delle acque superficiali debba essere eseguita nella colonna d'acqua e nel biota, lasciando il monitoraggio dei sedimenti marini come una ulteriore alternativa a disposizione delle singole regioni.

In considerazione del fatto che questa matrice è quella di destinazione finale di una moltitudine di contaminanti (soprattutto le sostanze persistenti e insolubili) e che da più tempo è stata oggetto di prelievi ed analisi nelle diverse fasi dei monitoraggi marini a partire dalla fine degli anni '90, la Regione Toscana ha giustamente scelto di mantenere anche il monitoraggio dei sedimenti con l'obiettivo di avere una continuità di informazioni per una migliore interpretazione dei dati ambientali. Di conseguenza, ARPAT esegue campionamenti di sedimenti marini tramite benna Van Veen con frequenza annuale in tutti i corpi idrici della Toscana per la ricerca di tutti i parametri previsti dalle tabelle 2/A, 3/A e 3/B del D.Lgs.172/2015 (Tabella 13).

Si ricorda che, per valutare la conformità delle concentrazioni rilevate nei sedimenti rispetto agli standard di qualità ambientale della Tabella 2/A, è consentito uno scostamento del 20%<sup>16</sup>.

<sup>14</sup> TMF = Fattore di Magnificazione Trofica stabilito dalla Linea Guida di ISPRA

<sup>15</sup> Attualmente i laboratori di ARPAT non riescono a raggiungere il livello di quantificazione necessaria per lo SQA nel biota dei PBDE

<sup>16</sup> Vedi nota 2 alla Tabella 2/A del D.Lgs. 172/2015

**Tabella 13 : inquinanti chimici monitorati nella matrice sedimenti dei corpi idrici costieri della Toscana**

<b>Sostanza</b>	<b>Numero CAS</b>	<b>Tabella 2/A</b>	<b>Tabella 3/A</b>	<b>Tabella 3/B</b>
Arsenico	7440-38-2			<b>x</b>
Cadmio	7440-43-9	<b>x</b>	<b>x</b>	
Cromo totale	7440-47-3			<b>x</b>
Cromo VI	-			<b>x</b>
Mercurio	7439-97-6	<b>x</b>	<b>x</b>	
Piombo	7439-92-1	<b>x</b>	<b>x</b>	
Tributilstagno	-	<b>x</b>	<b>x</b>	
Antracene	120-12-7	<b>x</b>	<b>x</b>	
Benzo(a)pirene	50-32-8		<b>x</b>	
Benzo(b)fluorantene	205-99-2		<b>x</b>	
Benzo(k)fluorantene	207-08-09		<b>x</b>	
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2		<b>x</b>	
Indeno-pirene	193-39-5		<b>x</b>	
Fluorantene	206-44-0		<b>x</b>	
Naftalene	91-20-3	<b>x</b>	<b>x</b>	
Aldrin	309-00-2	<b>x</b>	<b>x</b>	
α - esaclorocicloesano	319-84-6	<b>x</b>	<b>x</b>	
β - esaclorocicloesano	319-85-7	<b>x</b>	<b>x</b>	
γ- esaclorocicloesano	58-89-9	<b>x</b>	<b>x</b>	
DDT	-	<b>x</b>	<b>x</b>	
DDD	-	<b>x</b>	<b>x</b>	
DDE	-	<b>x</b>	<b>x</b>	
Dieldrin	60-57-1	<b>x</b>	<b>x</b>	
Esaclorobenzene	118-74-1		<b>x</b>	
Σ T.E. PCDD, PCDF (diossine e furani) e PCB diossina simili	-		<b>x</b>	
PCB totali	-			<b>x</b>

## 1.5 Struttura della rete di monitoraggio

Il D.M. 131/2008 definisce le metodologie per effettuare la tipizzazione delle acque superficiali, l'individuazione dei corpi idrici superficiali e l'analisi delle pressioni e degli impatti.

Per la caratterizzazione delle acque costiere<sup>17</sup> si devono valutare, dapprima, i valori medi annuali di stabilità verticale (N) della colonna d'acqua (profili di densità), sulla base dei quali si distinguono 3 tipologie:

1. alta stabilità  $N \geq 0,3$
2. media stabilità  $0,15 < N < 0,3$
3. bassa stabilità  $N \leq 0,15$

Tutta la fascia marino costiera continentale e insulare della **Toscana** ricade, dal punto di vista idrologico, nella tipologia **Bassa Stabilità** (macrotipo 3), ovvero tutta la zona è caratterizzata da siti costieri non influenzati da apporti d'acqua dolce continentale.

Integrando la classe di stabilità con le classi di tipologia costiera, a loro volta basate su descrittori geomorfologici, ai corpi idrici toscani sono state attribuite le seguenti classi: **A3** (rilievi montuosi – bassa stabilità); **E3** (Pianura alluvionale- bassa stabilità); **F3** (Pianura di dune - bassa stabilità).

Figura 9: corpi idrici costieri della Toscana e relative stazioni di monitoraggio delle acque



<sup>17</sup> Per acque costiere si intendono quelle comprese approssimativamente all'interno di una linea immaginaria distante un miglio nautico (1852m) dalla linea di costa ufficiale (lettera c, comma 1, art. 74, D.Lgs. 152/2006)

In generale in Toscana si distinguono:

- coste alte e rocciose (morfotipo a falesia) molto diffuse nella zona a Sud di Livorno (da Calafuria a Quercianella), nei promontori di Piombino, di Punta Ala, dell'Argentario, (da Cala di Forno nel Parco dell'Uccellina a Talamone) e nelle isole dell'Arcipelago Toscano (Capraia, Elba, Giglio, Gorgona e Montecristo);
- coste basse a litorale dritto, brevi tratti a litorale stretto o di delta (foci dell'Arno e dell'Ombrone);
- cordoni di duna talvolta soggetti a fenomeni erosivi.

La Regione Toscana ha approvato (DGRT 100/2010) una prima rete di monitoraggio dei corpi idrici toscani ai sensi della Direttiva Europea, aggiornandola, relativamente ai corpi idrici marino costieri, una prima volta con la DGRT 550/2014 e successivamente con la DGRT 608/2015; quest'ultima delibera prevede il monitoraggio di 16 corpi idrici (Figura 9), 1 dei quali (Arcipelago Toscano) suddiviso tra Isola d'Elba e Isole minori.

In ciascuno dei corpi idrici sono state identificate delle stazioni di monitoraggio, cioè delle ristrette porzioni (punti, aree, ecc.) definite da coordinate geografiche nelle quali vengono effettuate le attività (misure, prelievi, rilievi, ecc.) previste per il monitoraggio di una o più matrici (acqua, popolamenti bentonici, sedimenti, biota), sulla base delle caratteristiche indagate e della presenza dei diversi indicatori ecologici (EQB).

In genere, per ogni matrice viene monitorata solo 1 stazione per corpo idrico, ma nel caso dell'Arcipelago, vista la particolare conformazione delle coste insulari e le diverse caratteristiche idromorfologiche, sono state individuate 2 stazioni per l'Isola d'Elba (Elba Nord e Elba Sud) e 3 per le Isole minori (Capraia, Giglio e Montecristo). Le stazioni di monitoraggio nei 16 corpi idrici costieri della Toscana sono in totale 19 (Tabella 14), di cui 5 nell'Arcipelago Toscano, ma, in realtà, considerando le singole matrici il numero aumenta per i subsiti localizzati sul fondale (sedimenti e popolamenti), gli areali dove vengono catturati i pesci, le scogliere per le macroalghe, ecc., secondo lo schema seguente:

- 19 per la matrice acqua e fitoplancton;
- 18 per macrozoobenthos;
- 12 per le praterie di posidonia;
- 10 per macroalghe;
- 16 per i pesci (biota), di cui 8 anche per molluschi bivalvi;
- 19 per i sedimenti.

Dal punto di vista delle frequenze di campionamento ed analisi nel triennio di monitoraggio, anche queste si differenziano sulla base delle diverse matrici:

- bimestrale per acqua e fitoplancton;
- annuale per biota e sedimenti;
- almeno una volta nel triennio per tutte le altre.



Tutte le indagini vengono effettuate tramite l'utilizzo di un battello oceanografico, indispensabile per il prelievo sia dei campioni di acqua sia di sedimento, sia dei parametri biologici, costituendo la base di appoggio per gli operatori subacquei.

**Tabella 14: corpi idrici costieri della Toscana e relative stazioni di monitoraggio con indicate le matrici indagate**

Corpo Idrico		Stazione		Campionamenti per matrice						
Denominazione	Codice WISE <sup>18</sup>	Denominazione	Codice	W	S	Po	Z	C	M	P
Costa della Versilia	IT09R000TN001AC_1	Marina Carrara	IT09S1662	x	x		x		x	x
Costa del Serchio	IT09R019SE002AC_1	Nettuno	IT09S0966	x	x		x			x
Costa pisana	IT09N002AR003AC	Fiume Morto	IT09S0961	x	x		x		x	x
Costa livornese	IT09R000TC004AC_1	Antignano	IT09S0955	x	x	x	x	x	x	x
Costa di Rosignano	IT09R000TC005AC_1	Rosignano Lillatro	IT09S0968	x	x	x	x		x	x
Costa del Cecina	IT09R000TC006AC	Marina Castagneto	IT09S0958	x	x		x			x
Costa di Piombino	IT09R000TC007AC_1	Salivoli	IT09S1663	x	x	x	x	x	x	x
Costa di Follonica	IT09R000TC008AC	Carbonifera	IT09S0957	x	x		x		x	x
Costa di Punta Ala	IT09R000OM009AC_1	Foce Bruna	IT09S1661	x	x	x	x			x
Costa dell'Ombrone	IT09R000OM010AC	Foce Ombrone	IT09S0962	x	x		x			x
Costa dell'Uccellina	IT09R000OM011AC	Cala Forno	IT09S1660	x	x		x	x		x
Costa dell'Albegna	IT09R000OM012AC	Foce Albegna	IT09S1659	x	x	x	x			x
Costa dell'Argentario	IT09R000OM013AC_1	Porto S.Stefano	IT09S1664	x	x	x	x	x	x	x
Costa di Burano	IT09R000OM14AC	Ansedonia	IT09S0954	x	x	x	x	x		x
Arcipelago - Isola d'Elba	IT09R000TC015AC_1	Elba Nord	IT09S0959	x	x	x	x	x	x	x
		Elba Sud	IT09S0964	x	x	x	x	x		
Arcipelago - Isole Minori	IT09R000TC016AC_1	Giglio	IT09S2447	x	x	x	x	x		
		Capraia	IT09S2284	x	x	x	x	x		x
		Montecristo	IT09S0965	x	x	x		x		

**Legenda:**  
W = acqua; S = sedimenti; Po = Posidonia oceanica; Z = Macrozoobenthos; C = Macroalghe; M = Mitili; P = Pesci

18 WISE Water Framework Directive database è la banca dati della direttiva europea sulle acque, all'interno del sistema informativo europeo

## 2. RISULTATI E CLASSIFICAZIONE

Nell'anno 2023 sono stati effettuati 147 campionamenti/sopralluoghi invece dei 169 programmati, corrispondente a circa l'87% (Tabella 15), perché, a causa di problemi di natura tecnico-amministrativa, non è stato possibile reperire i mitili ed i pesci (biota) nella maggior parte dei corpi idrici previsti.

Tabella 15 : attività svolte da ARPAT nel 2023 per il monitoraggio delle acque costiere della Toscana

Matrice	Tipo attività	Effettuate nel 2023
Fitoplancton	Campionamenti	104
Macrozoobenthos	Campionamenti	4
Macroalghe	Campionamenti	2
<i>Posidonia oceanica</i>	Aree monitorate	4
<i>Posidonia oceanica</i>	Immersioni subacquee	20
Sedimento	Campionamenti	19
Biota	Campioni/sopralluoghi	18
Sonda multiparametrica	Misure	7256
Nutrienti	Analisi chimiche	727
Stato ecologico acqua (tab. 1/B)	Analisi chimiche	2682
Stato chimico acqua e biota (tab. 1/A)	Analisi chimiche	6383
Stato chimico sedimenti (tab. 2/A, 3/A e 3/B)	Analisi chimiche	1320

### 2.1 Stato ecologico

Come detto, lo stato ecologico per le acque costiere viene definito sulla base di 4 elementi di qualità biologica (EQB) e, successivamente, verificato sulla base degli elementi di qualità fisico – chimica a sostegno (Fase I) e degli inquinanti non prioritari (Fase II). Dato che la maggior parte di questi ulteriori elementi (Fase I e II) caratterizzano la colonna d'acqua e possono influenzare, soprattutto, le comunità fitoplanctoniche rispetto a quelle bentoniche, si è ritenuto di invertire il normale ordine di esposizione dei risultati sugli EQB, anteponendo macroinvertebrati bentonici, macroalghe e posidonia alla biomassa fitoplanctonica, posta immediatamente prima dei parametri chimico-fisici (CTD, nutrienti, TRIX, ecc.) ai quali è maggiormente relazionata.

#### 2.1.1 I macroinvertebrati bentonici

Nel 2023 (6-26 giugno) sono stati prelevati campioni nei 4 corpi idrici di Costa del Cecina, Costa di Piombino, Costa di Follonica e Arcipelago Isole Minori (Capraia e Giglio) per un totale di 5 stazioni, che si aggiungono alle 6 monitorate nel 2022<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> ARPAT, 2023, "Acque marino costiere della Toscana. Monitoraggio 2022 e proposta di classificazione provvisoria"

Dal punto di vista granulometrico, tutte le stazioni sono caratterizzate da una netta prevalenza (>90%) di sabbie (Tabella 16), ad eccezione di quella localizzata al Giglio, dove la frazione granulometrica >2 mm (ghiaia) rappresenta l'8,8%.

Il carbonio organico totale (TOC) è in tutte le stazioni < 1%, a conferma di zone di fondale poco ricche di sostanza organica.

*Tabella 16: frazioni granulometriche e carbonio organico totale (TOC) nei sedimenti dei popolamenti a macroinvertebrati bentonici monitorati nel 2023*

Corpo idrico	Stazione	Frazione Granulometrica (%)			TOC %
		Ghiaia	Sabbia	Peliti	
Costa del Cecina	Marina Castagneto	0,1	91,4	8,5	< 1
Costa di Piombino	Salivoli	0,3	93,1	6,6	< 1
Costa di Follonica	Carbonifera	0,2	90,8	9,0	< 1
Arcipelago - Isole Minori	Capraia	0,4	94,7	4,9	< 1
	Giglio	8,8	80,4	10,8	< 1

A causa di un problema tecnico, non è stato possibile sottoporre ad analisi delle comunità macrozoobentoniche il campione prelevato al Giglio, il cui fondale presenta una notevole variabilità rispetto alla composizione del substrato, tanto che si potrebbe valutare una sua sostituzione con altre zone delle Isole minori dell'Arcipelago toscano.

Le analisi delle comunità nelle altre 4 stazioni hanno permesso di individuare complessivamente 128 specie di macroinvertebrati bentonici con un minimo di 19 specie nella stazione di Capraia e un massimo di 64 a Salivoli.

La distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici per ciascuna delle 3 repliche (Figura 10) indica almeno 3 diverse situazioni, ma in nessun caso le specie opportuniste (gruppi IV e V) sono una componente significativa (<1%):

- nella stazione di Salivoli prevalgono le specie sensibili (55%), seguite da quelle tolleranti;
- a Capraia sono molto più abbondanti quelle sensibili/tolleranti, che arrivano a rappresentare più dell'80% del popolamento
- a Marina di Castagneto e Carbonifera, il popolamento è più equilibrato, ma prevalgono le specie tolleranti (50-51%).

Tali diverse caratteristiche vengono evidenziate (Tabella 17) anche dal calcolo dell'indice AMBI<sup>20</sup> con valori più elevati (tra 1,89 e 1,91) in Costa del Cecina e Costa di Follonica e più bassi in Costa di Piombino e Arcipelago Isole Minori (Capraia) che hanno un AMBI prossimo a 1 (rispettivamente di 1,16 e 1,27). Integrando, come detto, questo primo indice con quello della diversità specifica (H') e con il numero di specie (S), si ottiene l'indice M-AMBI che definisce lo stato ecologico (RQE) per i macroinvertebrati bentonici: 3 corpi idrici risultano nel 2023 in stato elevato mentre quello di Arcipelago Isole Minori risulterebbe in stato sufficiente.

<sup>20</sup> Software AMBI 6.0 sulla base di una lista specie aggiornata a maggio 2022

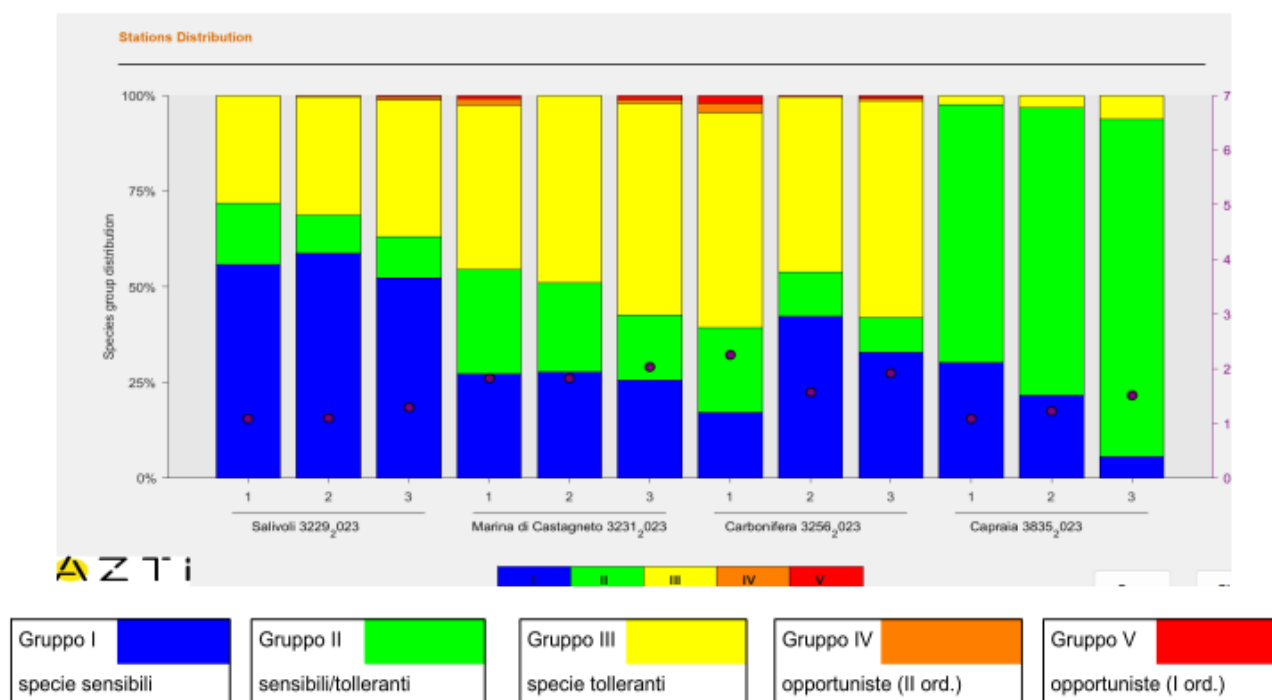


Figura 10: distribuzione dei 5 gruppi ecologici nelle diverse repliche di ogni stazione 2023

Un discorso a parte, però, va fatto per Capraia dove sono stati rilevati livelli di diversità e ricchezza specifica nettamente inferiori rispetto ai campioni delle campagne precedenti (2012-2015-2017-2020). In particolare, sebbene il valore del solo indice AMBI (Tabella 17) risulti abbastanza elevato (1.27) per la netta prevalenza di specie sensibili e tolleranti (gruppi I e II), il numero estremamente limitato di specie (19) e la presenza di un polichete (*Aponuphis brementi*) piuttosto tollerante alle perturbazioni e molto più abbondante di tutte le altre specie, determina un valore di M-AMBI inferiore agli altri e di qualità “sufficiente”.

In nessun caso, sembra che vi sia una correlazione con le caratteristiche del substrato, dato che granulometria e sostanza organica sono pressoché omogenee in tutte le 4 stazioni ed il dato anomalo di Capraia non dovrebbe essere attribuibile a fattori di pressione antropica e/o di alterazione del substrato, considerato che in quell'area (Cala del Ceppo, nella costa Sud orientale dell'Isola) non si ravvisano attività impattanti.

Il fatto che si tratti di valori anomali, non solo per Capraia, ma anche per la totalità dei campioni analizzati nelle acque marine della Toscana, risulta evidente confrontando i dati di diversità ( $H'$ ) e numero di specie ( $S$ ) rilevati nel biennio 2022-23 (Tabella 17) dove quelli di Capraia sono circa la metà del valore più basso degli altri corpi idrici. Analogo confronto con i valori calcolati dal 2012 ad oggi porta agli stessi risultati: sono entrambi i valori più bassi mai rilevati in tutta la Toscana (ad eccezione di 3 casi nel 2013) e i più bassi mai rilevati nelle isole dell'Arcipelago Toscano (insieme ad un caso di  $S=18$  al Giglio nel 2017).

Purtroppo, come detto, per il triennio 2022-24 l'altro punto di monitoraggio del corpo idrico Arcipelago Isole Minori (Giglio) non è stato analizzato per il macrozoobenthos e, quindi, il valore

di M-AMBI di Capraia condizionerebbe tutto l'EQB e, per la normativa, anche la classificazione finale dello stato ecologico di questo corpo idrico.

In definitiva, quindi, si ritiene che il valore di M-AMBI relativo alla comunità macrozoobentonica di Capraia non debba essere considerato per la valutazione dello stato ecologico e che il corpo idrico Arcipelago Isole Minori debba essere classificato sulla base degli altri EQB.

**Tabella 17: stato ecologico per l'EQB macroinvertebrati bentonici nei corpi idrici costieri nel 2022-2023**

Corpo idrico	Stazione	Anno	AMBI	Indice diversità (H')	Nr. specie (S)	M-AMBI	Stato ecologico
Costa del Cecina	Marina Castagneto	2023	1,89	4,12	52	0,82	Elevato
Costa di Piombino	Salivoli	2023	1,16	4,45	64	0,95	Elevato
Costa di Follonica	Carbonifera	2023	1,91	4,04	75	0,92	Elevato
Costa di Punta Ala	Foce Bruna	2022	0,97	4,50	39	0,83	Elevato
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	2022	1,20	4,61	36	0,81	Elevato
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	2022	1,98	5,02	66	0,93	Elevato
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	2022	2,15	4,24	38	0,73	Buono
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	2022	2,09	4,76	61	0,88	Elevato
Costa di Burano	Ansedonia	2022	1,57	3,56	53	0,80	Buono
Arcipelago - Isole Minori	Capraia	2023	1,27	1,29	19	0,51	Sufficiente*

\* dato anomalo e da non considerare per la classificazione del corpo idrico

Integrando i dati del 2023 con quelli del 2022 (Tabella 17), oltre a quanto evidenziato sopra, si nota uno stato ecologico buono per Costa dell'Albegna e Costa di Burano, probabilmente determinato da una diversa composizione dei sedimenti campionati nel 2022, sia per granulometria (maggiormente pelitica) che per sostanza organica (elevato contenuto di TOC), dato che nei 2 trienni precedenti erano sempre risultate in qualità elevata.

### 2.1.2 Macroalghe

Nel 2023 (tra 31 luglio e 8 agosto), per il monitoraggio delle comunità di macroalghe presenti nella fascia intertidale delle scogliere rocciose sono state monitorate la costa occidentale del promontorio di Cavo (Elba Nord) e quella compresa tra Rio e Capoliveri (Elba Sud).

Dal punto di vista della composizione specifica, i popolamenti macroalgali delle coste elbane sono abbastanza simili (Figura 11):

- a Elba Nord il popolamento di macroalghe è rappresentato da *Cystoseira compressa* (45,2%), da Dictyotales/Stypocaulaceae (37,6%) e Corallina (15,1%);
- a Elba Sud sono maggiormente rappresentati i popolamenti con Dictyotales/Stypocaulaceae (73,8%) e *Cystoseira compressa* (21,3%).

Nel 2020 (ultimo rilevamento del triennio di monitoraggio precedente) il popolamento in queste stesse 2 zone era molto simile a quello del 2023.



Questi popolamenti, però, sono molto diversi rispetto a quelli monitorati nel 2022 nelle Isole minori dell'Arcipelago Toscano (Capraia, Giglio e Montecristo), a conferma della necessità di considerare distinti i 2 corpi idrici (Isola d'Elba e Isole minori).

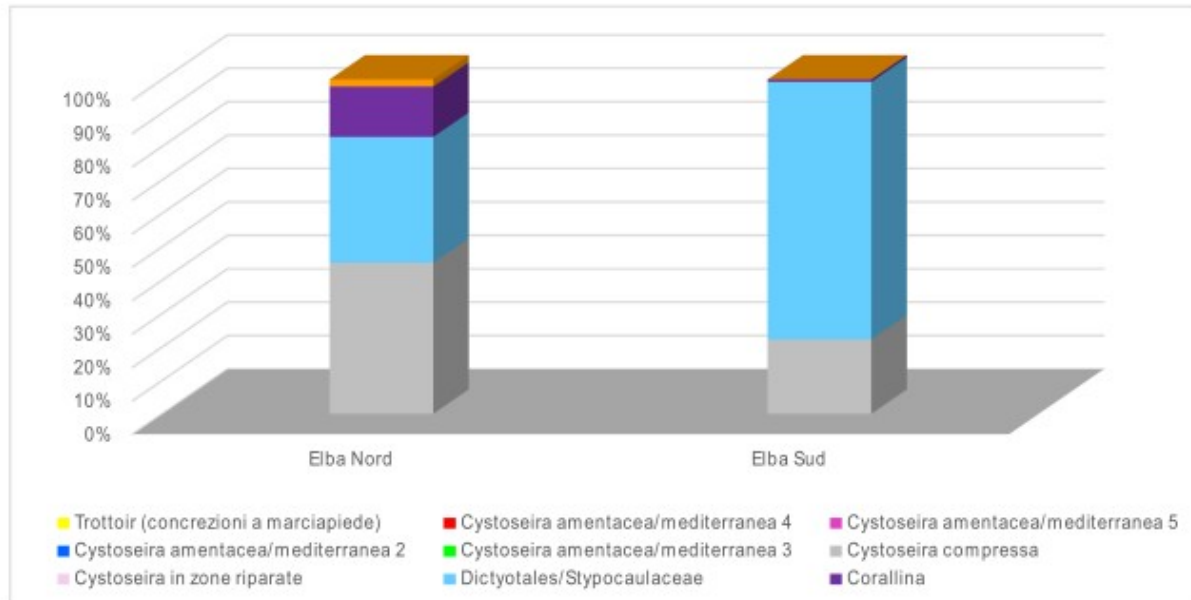


Figura 11: struttura delle comunità macroalgali monitorate nel 2023

Il calcolo dell'indice CARLIT (RQE) per il 2023 indica uno stato ecologico buono in entrambe le fasce costiere dell'Isola d'Elba (Tabella 18).

Nel complesso, tra 2022 e 2023, è stato completato il monitoraggio delle macroalghe litorali lungo le coste delle diverse isole dell'Arcipelago toscano ed i risultati di entrambi i corpi idrici (Isola d'Elba e Isole Minori), rispettivamente in stato ecologico buono e elevato, sono sovrapponibili a quelli del triennio 2019-21.

Tabella 18: stato ecologico per l'EQB macroalghe (macrofite) nei corpi idrici costieri monitorati nel 2022 e 2023

Corpo idrico (c. i.)	Stazione	Anno	RQE (CARLIT)		Stato ecologico
			Stazione	C. i. (media)	
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	2023	0,74	0,70	Buono
	Elba Sud	2023	0,65		
Arcipelago Isole minori	Capraia	2022	0,88	0,97	Elevato
	Giglio	2022	0,98		
	Montecristo	2022	1,04		

## 2.1.3 *Posidonia oceanica* (angiosperme)

### 2.1.3.1 Estensione dell'habitat a *Posidonia oceanica*

Tra le attività previste dai Programmi di monitoraggio della Strategia Marina (D.Lgs. 190/2010), vi è anche la definizione dell'estensione dell'habitat a *Posidonia oceanica* (modulo D1, scheda 1.6.1) attraverso l'acquisizione di dati acustici, tramite Multibeam echosounder (MBES) o Side Scan Sonar (SSS) sulla morfologia del substrato e la raccolta di documentazione video fotografica ad alta definizione e georeferenziata in aree di 3 km<sup>2</sup>. L'estensione dell'habitat viene valutato mediante elaborazione ed analisi del backscatter, del modello digitale del terreno (DTM).

La restituzione di queste informazioni opportunamente elaborate ed interpretate ha consentito la produzione di mappe delle praterie indagate che, seppur limitate, come detto, ad aree di 3 km<sup>2</sup>, sono un fondamentale supporto per la pianificazione delle altre attività di monitoraggio della *Posidonia oceanica* e per la valutazione dei risultati.

Nel biennio 2022-2023, sono state monitorate, complessivamente, 10 diverse praterie (Tabella 19), 8 delle quali inserite anche nella rete di monitoraggio regionale (par. 32), in ciascuna delle quali sono state individuate 3 stazioni intermedie (fondale di 15m) e 3 sul limite inferiore per la valutazione dello stato ecologico (indice PREI).

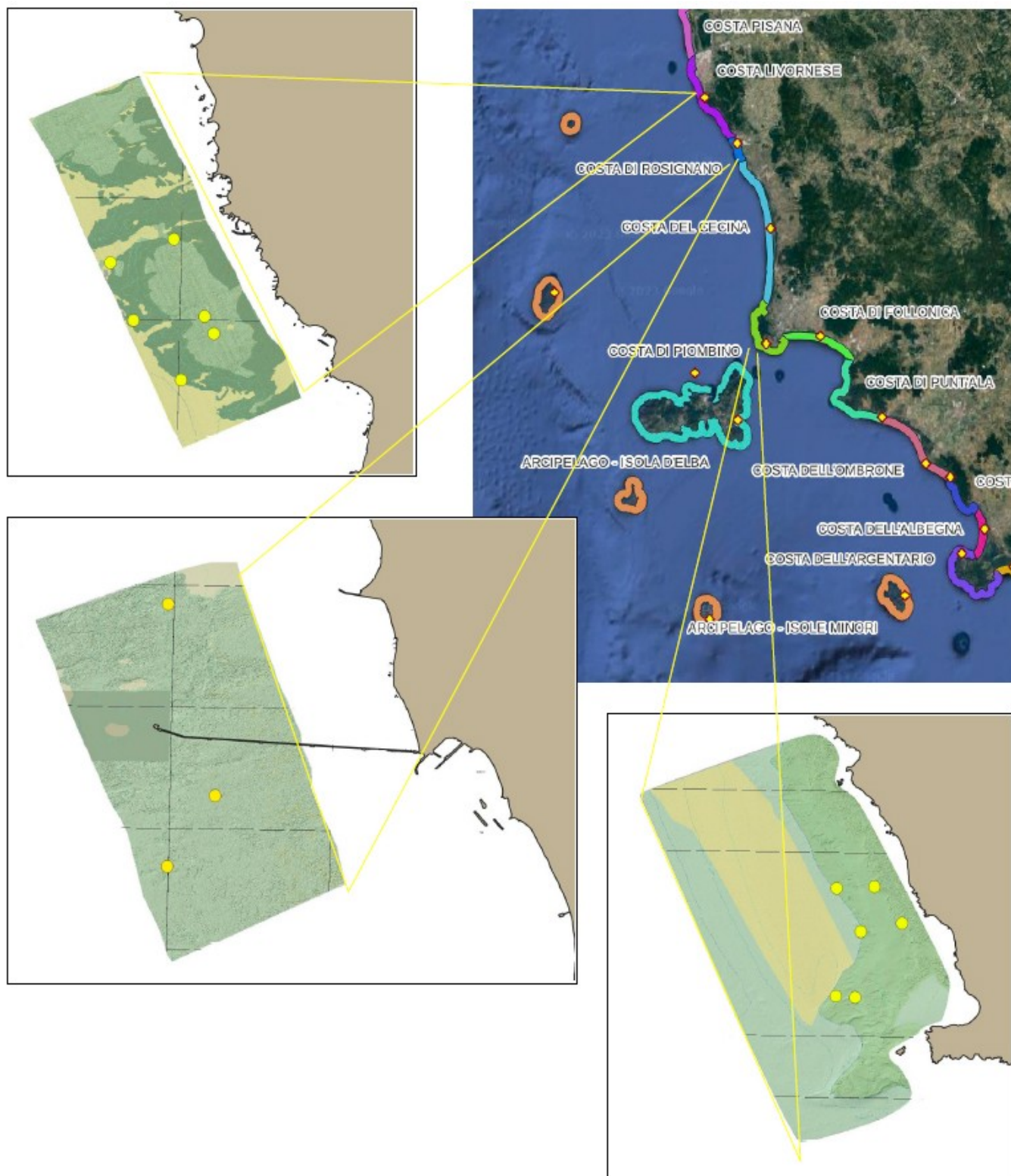
Tabella 19: praterie di *Posidonia oceanica* monitorate tra 2022 e 2023

Corpo idrico marino	Prateria	Anno	Rif. normativo
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	2023	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	2022	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
Costa di Burano	Ansedonia	2023	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
Arcipelago - Isola d'Elba	Elba Nord	2022	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
	Elba Sud	2022	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
Arcipelago – Isole Minori	Capraia	2023	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
	Giglio	2023	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
	Montecristo	2022	DGRT 608/2015 e D.Lgs 190/2010
	Pianosa	2023	D.Lgs 190/2010
	Scoglio d'Africa	2022	D.Lgs 190/2010

Nel corso del triennio precedente (2019-2021) sono stati, inoltre, effettuati analoghi monitoraggi sull'estensione di altre praterie. Di seguito vengono riportate le prime mappe (Figura 12 e seguenti) che riproducono l'estensione delle praterie distinguendo tra le zone ricoperte da *Posidonia oceanica* o da matite morta da quelle con solo il substrato di fondo (sabbia, roccia). In alcuni casi, utilizzando anche i rilievi acustici effettuati per la valutazione di altri habitat bentonici (coralligeno, letti a rodoliti, ecc.), sempre previsti dalla Strategia Marina, è stato possibile

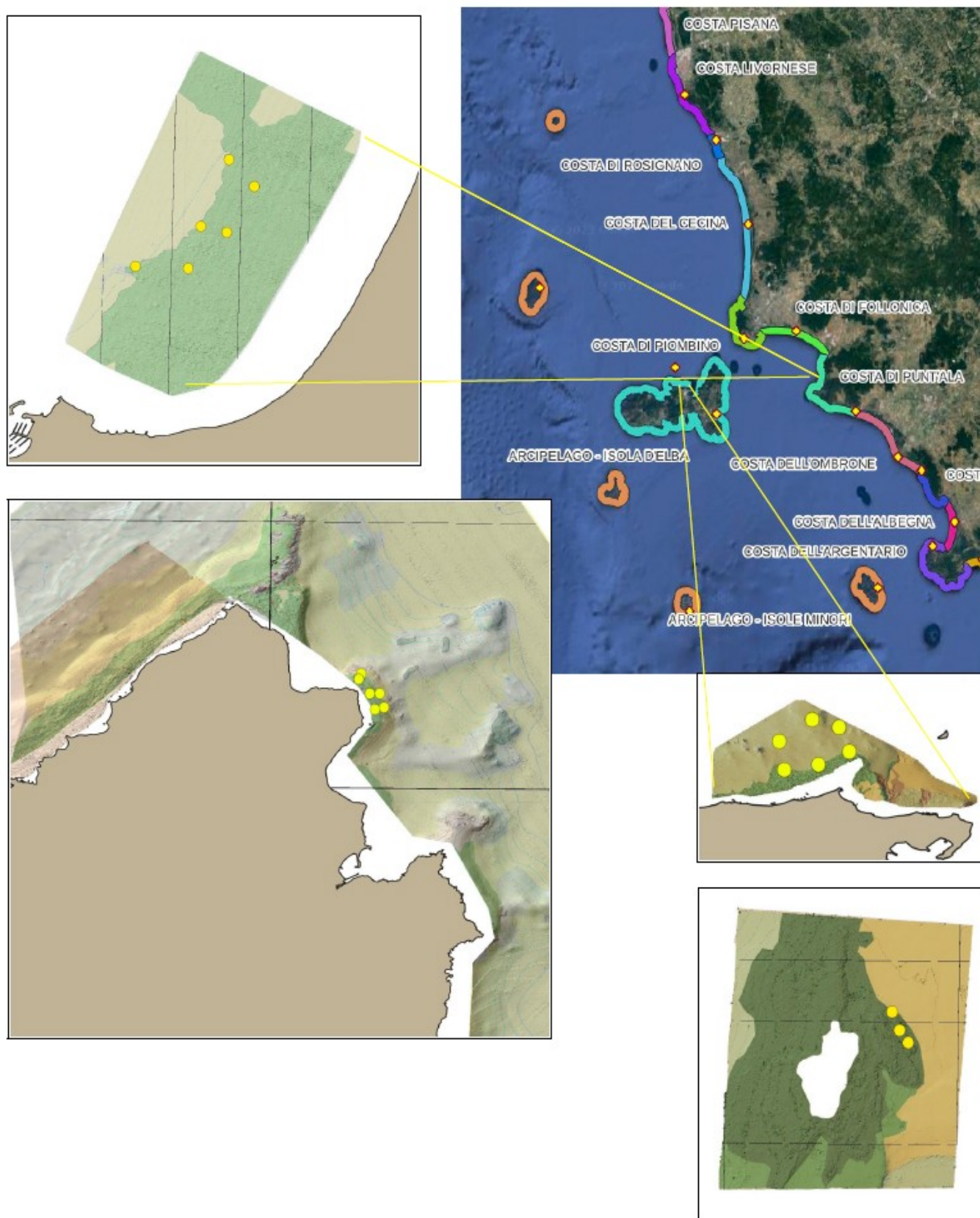
ricostruire una mappa di aree anche superiori ai 3 km<sup>2</sup>, come per l'intero perimetro costiero dell'Isola di Gorgona (Figura 16) e di Giannutri (Figura 15) o per una gran parte delle isole di Capraia (Figura 13) o di Pianosa (Figura 14).

*Figura 12: mappe delle praterie di P.oceanica di Antignano(in alto a sinistra), Rosignano (a sinistra al centro) e Promontorio di Piombino (in basso a destra)*

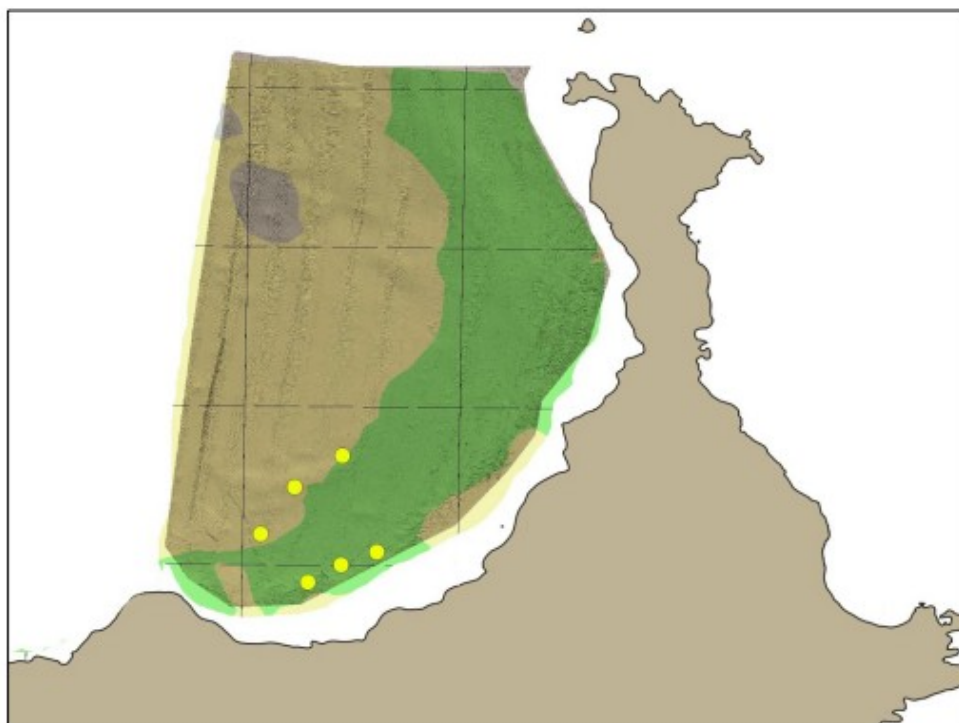




*Figura 13: mappe delle praterie di P. oceanica di Punta Ala (in alto a sinistra), Capraia (a sinistra al centro), Elba Nord (a destra al centro) e Scoglio d'Africa (in basso a destra)*



*Figura 14: estensione dell'habitat a P. oceanica nella prateria dell'Isola di Pianosa (lato Ovest)*



*Figura 15: estensione dell'habitat a P. oceanica nella prateria dell'Isola di Giannutri*

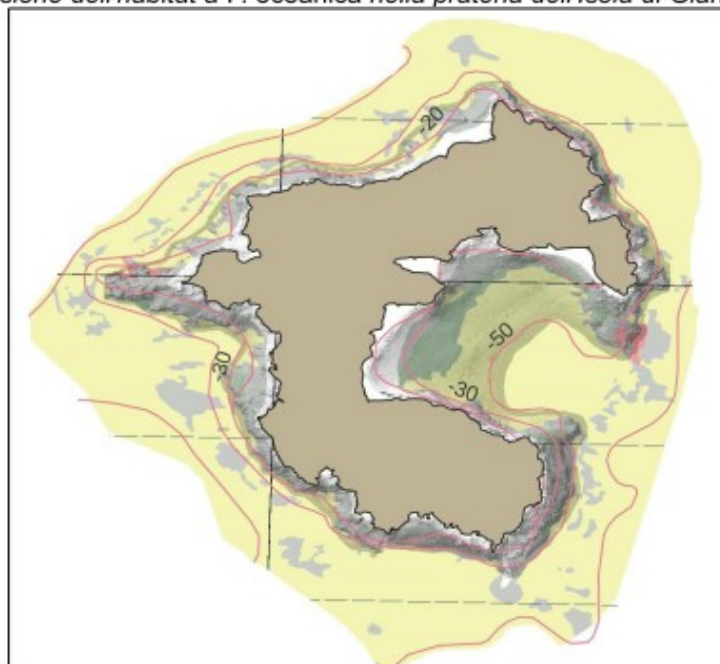
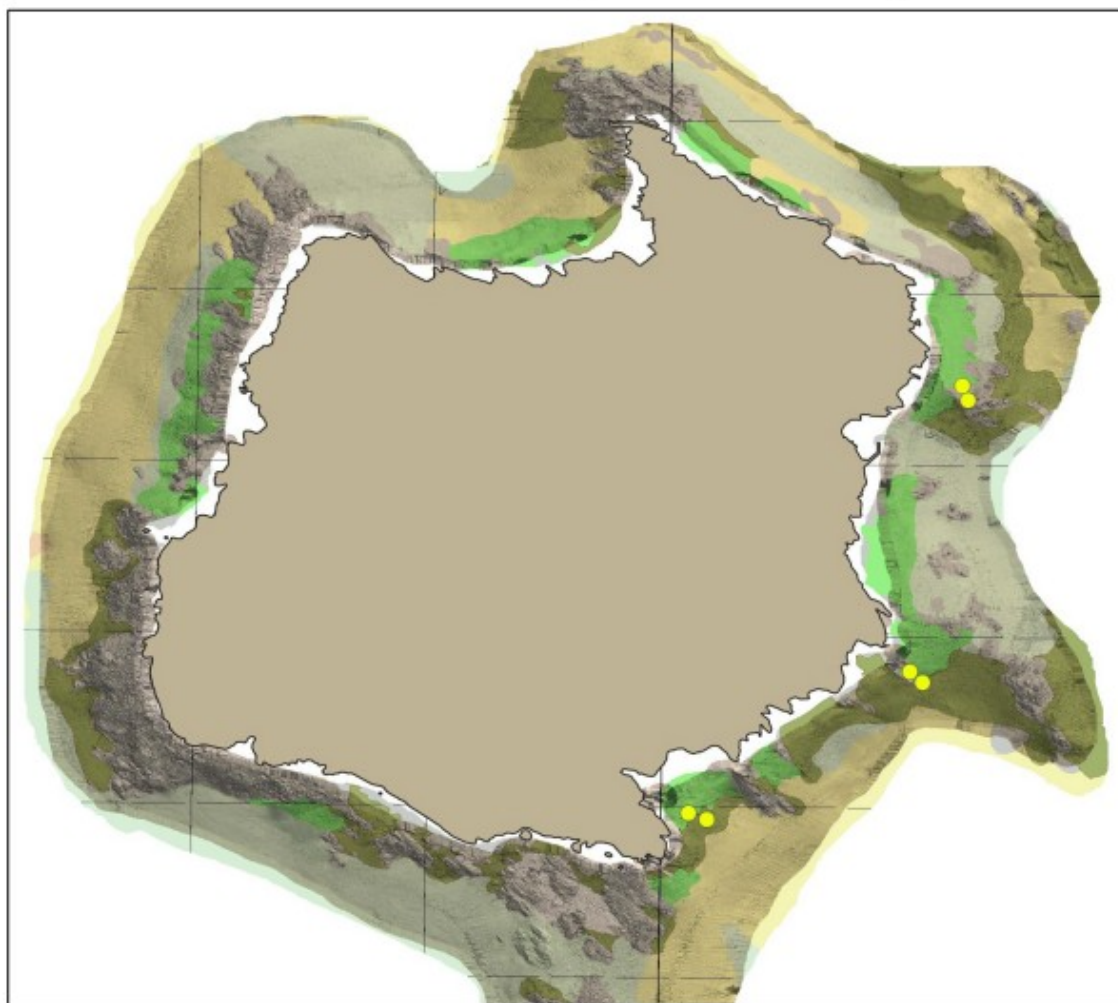




Figura 16: estensione dell'habitat a *P. oceanica* lungo le coste dell'Isola di Gorgona



#### 2.1.3.2 Lo stato ecologico delle praterie di *Posidonia oceanica*

Nel 2023 sono state campionate, tra 13 giugno e 12 ottobre, 4 aree per lo studio di *Posidonia oceanica* (Giglio, Capraia, Albegna e Ansedonia), appartenenti ai 3 corpi idrici di Arcipelago Isole Minori, Costa dell'Albegna, e Costa di Burano.

I dati granulometrici (Tabella 20) e di carbonio organico totale (TOC) mostrano che le praterie di Costa dell'Albegna e Costa di Burano sono caratterizzate da una maggior componente pelitica (> 50%) con alcune variazioni tra limite inferiore e zona intermedia della stessa prateria (Ansedonia) tra peliti e sabbia e una concentrazione di sostanza organica intorno a 2%.

Le stazioni dell'Arcipelago Isole Minori presentano una maggior componente sabbiosa, eccetto il limite inferiore del Giglio, dove la frazione > 2mm rappresenta il 93%, e un TOC < 1%, fatta eccezione per il limite inferiore di Capraia che raggiunge il 5,4%.

**Tabella 20: frazioni granulometriche e carbonio organico totale (TOC) nei sedimenti delle praterie di Posidonia oceanica monitorate nel 2023**

Corpo idrico	Stazione	Zona di prateria	Frazione granulometrica (%)			TOC (% s.s.)
			Ghiaia	Sabbia	Peliti	
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	Limite inferiore	13,5	27,9	58,6	2,1
		Intermedia	18,1	29,4	52,5	2,0
Costa di Burano	Ansedonia	Limite inferiore	0,8	41,8	57,4	1,9
		Intermedia	0,1	93,5	6,4	< 1
Arcipelago Isole Minori	Giglio	Limite inferiore	93,1	4,3	2,6	< 1
		Intermedia	17,2	81,0	1,8	< 1
	Capraia	Limite inferiore	18,3	72,8	8,9	5,4
		Intermedia	30,5	63,9	5,6	< 1

Entrando nel dettaglio dei vari descrittori che compongono l'indice PREI per le singole praterie monitorate nel 2023 possiamo osservare quanto segue:

- **Foce Albegna:**
  - la prateria è discontinua, pura, impiantata su un substrato caratterizzato prevalentemente da matite;
  - la stazione intermedia è caratterizzata da un ricoprimento del 75% di posidonia viva e da una densità di 133,7 fasci/m<sup>2</sup>; l'analisi fenologica (condotta su 350 foglie in totale) ha mostrato un numero medio di circa 5 foglie per ciuffo, una lunghezza media di circa 50 cm per le foglie adulte, 9 cm per le foglie intermedie e 1,6 cm per quelle giovanili;
  - il limite inferiore (17,5 m di profondità) è di tipo erosivo ( $\lambda=0$ ) e quest'area è caratterizzata da un ricoprimento del 75% ed un numero medio di circa 5 foglie per fascio (considerando le tre tipologie adulte, intermedie, giovanili) con lunghezza media di 50 cm per le foglie adulte, 11 cm per le intermedie e 1 cm per le giovanili.
- **Ansedonia:**
  - la prateria è discontinua, pura, impiantata su un substrato misto di sabbia e matite;
  - la stazione intermedia è caratterizzata da un profilo discontinuo su substrato misto sabbia/matite, con ricoprimento del 50%, una densità di 133 fasci/m<sup>2</sup>, con un numero medio di 4,6 foglie per ciuffo e lunghezza media di circa 47 cm per le foglie adulte, 62 cm per le intermedie e 0,7 cm per le giovanili (analisi fenologica condotta su 268 foglie in totale);
  - il limite inferiore, registrato a 21,8 m di profondità, è di tipo erosivo ( $\lambda=0$ ), con densità di 125,5 fasci/m<sup>2</sup> e ricoprimento del 70%, si presenta continuo, impiantato su un substrato misto di sabbia e matite; l'analisi fenologica (98 foglie in totale) ha mostrato un numero medio di circa 5 foglie per ciuffo e lunghezza media di 39,3 cm per le foglie adulte, 54,4 cm per le intermedie e 0,1 cm per le giovanili.

**Tabella 21: descrittori dell'indice PREI (EQB Posidonia oceanica) nei corpi idrici monitorati nel 2023**

Stazione	Parametro	UdM	Valore	RQE <sup>*18</sup>	RQE (PREI)
Foce Albegna	Densità fogliare	fasci/m <sup>2</sup>	139,6	0,391	0,456
	Superficie fogliare	cm <sup>2</sup> /fascio	143,0		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	50,0		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	648,3		
	Profondità limite infer.	m	17,5		
	Tipo di limite	$\lambda$	0		
Ansedonia	Densità fogliare	fasci/m <sup>2</sup>	133,0	0,481	0,538
	Superficie fogliare	cm <sup>2</sup> /fascio	205,0		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	118,4		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	771,3		
	Profondità limite infer.	m	21,8		
	Tipo di limite	$\lambda$	0		
Giglio	Densità fogliare	fasci/m <sup>2</sup>	297,9	0,627	0,671
	Superficie fogliare	cm <sup>2</sup> /fascio	212,5		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	641,7		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	1159,0		
	Profondità limite inferiore	m	30,0		
	Tipo di limite	$\lambda$	3		
Capraia	Densità fogliare	fasci/m <sup>2</sup>	314,0	0,641	0,683
	Superficie fogliare	cm <sup>2</sup> /fascio	211,4		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	662,7		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	964,7		
	Profondità limite inferiore	m	32,0		
	Tipo di limite	$\lambda$	3		

- **Giglio:**
  - il campionamento ha evidenziato una prateria impiantata su matte e sabbia, di tipo continua e pura;
  - a 15 m di profondità (stazione intermedia) il ricoprimento è pari al 100% di posidonia viva e la densità è di 297,9 fasci/m<sup>2</sup>, con una lunghezza media di 47,4 cm per le foglie adulte, 56,1 cm per le intermedie e 0,6 cm per quelle giovanili, su un totale di 259 foglie analizzate; il numero medio di foglie per ciuffo è 5;
  - il limite inferiore, registrato a 30 m di profondità, è di tipo progressivo ( $\lambda=3$ ), ha una densità di 128,1 fasci/m<sup>2</sup> e un ricoprimento del 100% di posidonia; le foglie adulte hanno una lunghezza media di 37,5 cm, quelle intermedie di 43,9 cm e quelle giovanili di circa 0,6 cm (medie su 84 foglie totali analizzate); il numero medio di foglie per ciuffo è 4.

- Capraia:
  - prateria di tipo continua e pura, impiantata su sabbia;
  - la stazione intermedia a 15 m ha un ricoprimento del 100% di posidonia ed una densità di 314 fasci/m<sup>2</sup>; a questa profondità sono state misurate 255 foglie e calcolata una media di 4 foglie per fascio e una lunghezza media di 54,6 cm per le foglie adulte, di circa 52,0 cm per quelle intermedie e 0,7 cm per le giovanili;
  - lungo il limite inferiore, rilevato a 32 m di profondità con una tipologia progressiva ( $\lambda=3$ ), si è registrata una densità di 98,2 fasci/m<sup>2</sup> ed un ricoprimento del 100%; le foglie 109 analizzate hanno mostrato foglie adulte con una lunghezza di 35,5 cm, le intermedie di 46,6 cm e le giovanili di 0,6 cm.

In definitiva, quindi, l'indice PREI per il biennio 2022-2023, relativamente ai corpi idrici indagati indica (Tabella 22) uno stato di conservazione migliore nella prateria dell'Isola di Montecristo, che risulta in stato ecologico elevato, rispetto alle altre due praterie di Capraia e Giglio, appartenenti al medesimo corpo idrico dell'Arcipelago - Isole Minori e monitorate nel 2023, che ricadono in uno stato ecologico buono.

*Tabella 22: stato ecologico per l'EQB Posidonia oceanica (angiosperme) nei corpi idrici monitorati nel 2022-23*

Corpo idrico	Stazioni	Anno di monitoraggio	RQE (PREI)		Stato ecologico
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	2023	0,456		Sufficiente
Costa dell'Argentario	Porto Santo Stefano	2022	0,734		Buono
Costa di Burano	Ansedonia	2023	0,538		Sufficiente
Arcipelago Isola d'Elba	Elba nord	2022	0,754	0,695	Buono
	Elba sud	2022	0,635		
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	2022	0,862	0,739	Buono
	Giglio	2023	0,671		
	Capraia	2023	0,683		

Le praterie di Porto S. Stefano (Costa dell'Argentario), Elba Nord e Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba) hanno un indice PREI tra 0,64 e 0,75 al quale corrisponde uno stato ecologico buono, ma se per l'Isola d'Elba questo giudizio è una conferma (buono anche nel 2019-21), rappresenta un peggioramento per l'Argentario che era elevato nel precedente triennio (PREI = 0,791). Analogo peggioramento di stato ecologico si registra per Ansedonia (Costa di Burano) che passa da buono a sufficiente e per Arcipelago - Isole Minori da elevato a buono a causa di valori significativamente più bassi rispetto al passato di Montecristo e Capraia.

## 2.1.4 Il coralligeno

Come detto (par. 20), l'habitat a coralligeno, per quanto non inserito tra gli EQB utilizzabili per la valutazione dello stato ecologico (D.M. 260/2010 e ss.mm.ii.), è previsto dalla strategia marina (D.Lgs 190/2010) ed ARPAT da molti anni lo ha mantenuto all'interno dei propri obiettivi in materia di monitoraggio marino costiero.

Purtroppo, però, la scarsità di risorse e la difficoltà di queste specifiche attività di indagine (fondamentalmente attraverso operatori subacquei) e di riconoscimento delle componenti vegetali e animali del popolamento a coralligeno non hanno permesso di mantenere una frequenza di monitoraggio costante ed uniforme nelle diverse aree della costa Toscana.

Gli sforzi sono stati concentrati sulle zone con coralligeno di parete, rispetto a quello di piattaforma, più raro e più difficilmente raggiungibile con le immersioni, oltre alle attività legate al recupero ambientale (ripristino di habitat) conseguente l'incidente della nave Costa Concordia, alla cui relazione finale si rimanda per le specifiche risultanze.

Tabella 23: valore dell'indice ESCA per i popolamenti a coralligeno della Toscana tra 2008 e 2018

AREE	2008	2009	2010	2011	2012	2015	2016	2018
Meloria	0,86	0,62	0,60					
Romito	0,43	0,52	0,52		0,60	0,57		*
Vada	0,78	0,66	0,64					
Piombino				0,47				
Argentario	0,60	0,62	0,67	0,80	0,70	0,79		*
Elba Sud (Porto Azzurro)				0,90	1,00			
Pianosa				0,67			1,01	
Capraia					1,00	0,81		*
Montecristo	0,94	1,00	1,00		0,90		0,83	
Giglio				1,05				
Giannutri							0,75	

(\*) dati ancora in fase di validazione

Pur essendo un quadro disomogeneo, i valori dell'indice ESCA che è stato possibile calcolare fino ad oggi, indicano (Tabella 23) che i popolamenti a coralligeno presenti lungo le coste delle isole dell'Arcipelago Toscano tra 2008 e 2018 hanno una qualità ambientale migliore rispetto a quelli della costa continentale, dove le scogliere del Romito (Costa livornese) e del promontorio di Piombino presentano i valori più bassi (classe sufficiente).

In generale, poi, si osserva una sostanziale stabilità nel corso degli anni (per quei pochi popolamenti oggetto di monitoraggi ripetuti e/o continuativi per più anni) con qualche eccezione (Meloria e Pianosa).

Per quanto riguarda il netto peggioramento della classe ecologica tra 2008 e 2009-10 dei popolamenti della Meloria, sembra che i cambiamenti possano essere dipesi sostanzialmente



da una maggior proliferazione della componente macroalgale bentonica (feltro) che ha comportato:

- il ricoprimento del substrato con diminuzione della visibilità degli organismi animali, nonostante la copertura percentuale sia rimasta relativamente costante;
- la riduzione della luce disponibile, l'aumento della torbidità e l'abrasione del substrato;
- l'inibizione della crescita di alghe erette come *Halimeda tuna*.

### 2.1.5 I popolamenti fitoplanctonici

Complessivamente, nel 2023, sono stati analizzati 104 campioni per la determinazione qualitativa del fitoplancton (frequenza bimestrale) nelle 19 stazioni di monitoraggio e sono stati identificati 424 taxa a diverso raggruppamento tassonomico (Tabella 24).

Tabella 24: categorie tassonomiche individuate per ciascun raggruppamento principale

Raggruppamento tassonomico	Specie	Genere	Taxa superiori
Bacillariophyta	162	20	1
Miozoa	132	7	1
Cyanobacteria	9	4	1
Chlorophyta/Charophyta	29	3	1
Cryptophyta	3	-	1
Ochrophyta	11	2	-
Haptophyta	26	-	2
Euglenophyta	2	1	1
Cercozoa	1	-	-
Altro Fitoplancton	3	-	1
<b>Totale</b>	<b>378</b>	<b>37</b>	<b>9</b>

Nel 2023 l'abbondanza del fitoplancton ha avuto un andamento diverso per le 3 componenti principali (diatomee, dinoflagellati e altro fitoplancton), ma con caratteristiche stagionali abbastanza tipiche delle acque costiere del Mediterraneo settentrionale (Figura 17), con picchi nei periodi primaverile (maggio/giugno) e inizio autunno (settembre/ottobre) per le diatomee e aumenti dei dinoflagellati nella tarda primavera inizio estate.

La componente principale del popolamento è mediamente costituita dall'altro fitoplancton (60%) e dalle diatomee (36%), mentre i dinoflagellati rappresentano circa il 4%, percentuali analoghe a quelle degli anni precedenti.

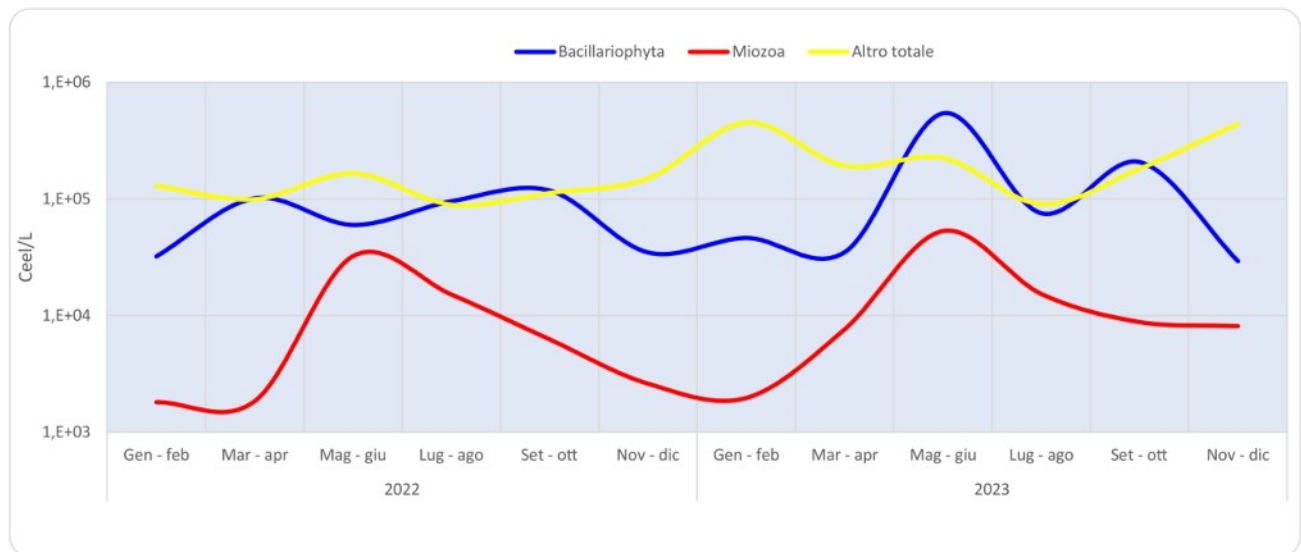


Figura 17: densità fitoplanctonica media delle principali componenti fitoplanctoniche – 2022-23

Nel 2023 sono state rinvenute (Figura 18) un massimo di 171 *taxa* (Costa di Burano) e un minimo di 108 (Costa di Rosignano), mentre la densità cellulare media più alta è pari a  $1,0 \times 10^7$  cell/l (Costa Pisana) e la più bassa è di  $1,0 \times 10^4$  cell/l Elba Sud (Arcipelago - Isola d'Elba).

La concentrazione fitoplanctonica media è stata inferiore a  $2,0 \times 10^5$  cell/L nella maggior parte (13 su 16) dei corpi idrici della costa toscana, ma si distaccano nettamente Costa del Serchio e Costa pisana, con densità superiori a  $2,0 \times 10^6$  cell/L.

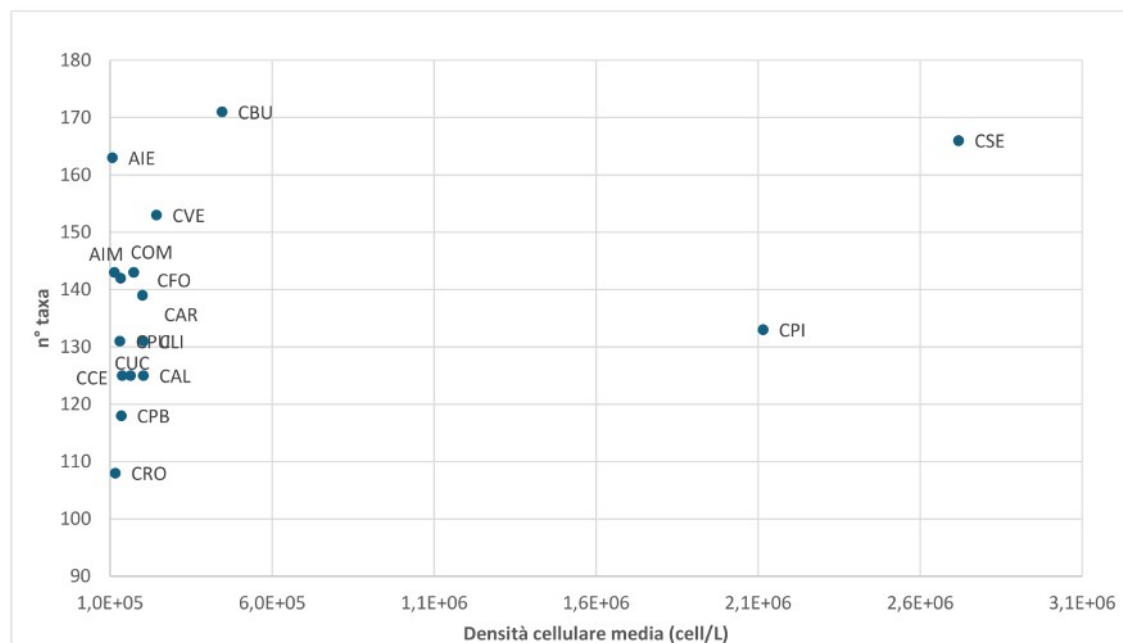


Figura 18: relazione tra il numero delle specie e densità cellulare per corpo idrico. Anno 2023

In particolare, nella stazione di Nettuno sono state rilevate le densità fitoplanctoniche più elevate in 5 campagne di monitoraggio su 6 (unica eccezione Fiume Morto maggio-giugno)

caratterizzate spesso, come si vedrà meglio in seguito, da cianobatteri e altro fitoplancton (in 3 campagne) oltre che da diatomee (tra luglio e ottobre). Questa composizione, atipica per le acque costiere della Toscana, potrebbe essere determinata dall'influenza del Canale Burlamacca (emissario del Lago di Massaciuccoli) che sfocia all'interno del Porto di Viareggio e non lontano dalla stazione di monitoraggio.

Per descrivere meglio la ricchezza tassonomica tra i vari indici è stato scelto di utilizzare in questa relazione l'indice di Menhinick ( $S/\sqrt{N}$ ), come indicatore di eutrofizzazione nelle acque costiere<sup>21</sup>: i corpi idrici con un più basso valore di indice e, quindi, con un possibile squilibrio trofico risultano (Figura 19) Costa pisana e Costa del Serchio (0,10), mentre nell'Arcipelago ci sono i valori più alti (0,4-0,5).

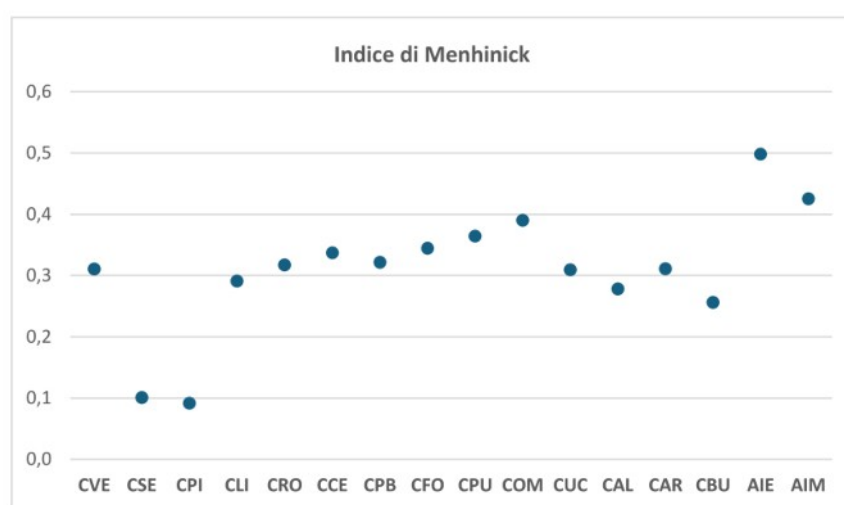


Figura 19: indice di ricchezza specifica di Menhinick - Anno 2023

### Gennaio-febbraio

Il periodo più propriamente invernale è stato caratterizzato da un popolamento (Figura 20) costituito essenzialmente da fitoplancton indeterminato di dimensioni inferiori a 20µm.

La stazione Nettuno (Costa del Serchio) ha caratteristiche diverse con il 89% di cianobatteri soprattutto *Planctolyngbya limnetica* e *Merismopedia glauca*, provenienti dal canale Burlamacca. Si segnala inoltre, in questa stazione la presenza di *Prymnesium parvum*, 5970 cell/l, anch'esso proveniente tramite il canale Burlamacca, dal lago di Massaciuccoli, interessato in questo stesso periodo da una fioritura di questo organismo. Per quanto riguarda le abbondanze, le densità maggiori sono state riscontrate nella zona nord Toscana in particolare a Nettuno con  $5,6 \times 10^6$  cell/l; la concentrazione minore è individuata a Foce Ombrone (Costa dell'Ombrone) con  $8,4 \times 10^4$  cell/l. In generale le diatomee più rappresentate in questo periodo

21 Spatharis, S.; Tsirtsis, G. Ecological quality scales based on phytoplankton for the implementation of Water Framework Directive in the Eastern Mediterranean. Ecol. Indic. 2010, 10, 840–847.

Bužančić, M., et al., Eutrophication influence on phytoplankton community composition in three bays on the eastern Adriatic coast. Oceanologia. 2016, 58,302-316.

sono *Asterionellopsis glacialis*, *Hemiaulus hauckii*, *Cerataulina pelagica* e varie specie appartenenti al genere *Chaetoceros*, in particolare *C. curvisetus*.

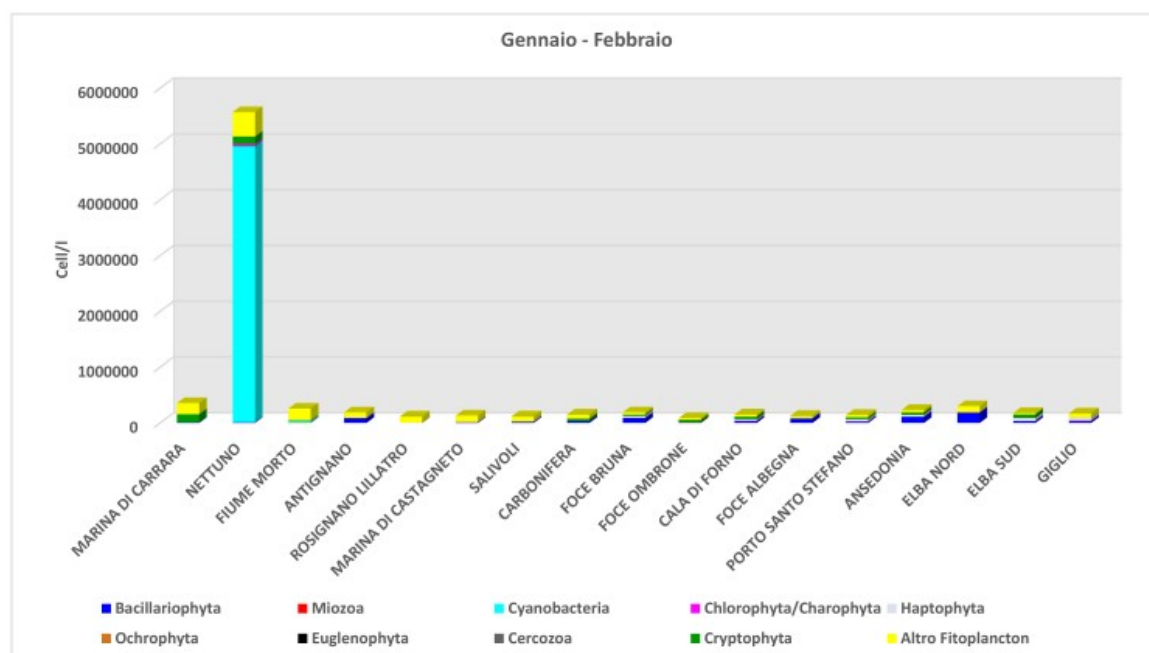


Figura 20: composizione dei popolamenti fitoplanctonici a gennaio-febbraio 2023

Tra i dinoflagellati dominano le forme (tecate e non) inferiori a 20µm di difficile riconoscimento quali, *Prorocentrum triestinum*, *Scrippsiella acuminata* e *Tripes furca*.

Per l'altro fitoplancton i taxa più frequenti sono, oltre ai piccoli flagellati, le criptoficee e coccolitoforidi, in particolare *Calciosolenia brasiliensis*.

### Marzo - aprile

Durante il successivo periodo di inizio primavera (marzo-aprile), la percentuale media delle diatomee aumenta al 15% (Figura 21).

Come nel periodo precedente la stazione di Nettuno è caratterizzata (95% dell'intero popolamento) dalla presenza di cianobatteri (*Planctolyngbya limnetica*, *Merismopedia glauca* e *Snowella lacustris*), con una densità massima di  $1,1 \times 10^6$ , mentre la minima si registra a Elba Sud con  $5,4 \times 10^4$  cell/l.

Gli organismi più frequenti sono le diatomee *Thalassionema nitzschioides*, *Cylindrotheca closterium* e *Nitzschia longissima*, i piccoli dinoflagellati *Tripes furca* e *Oxytoxum viride*, i piccoli flagellati indeterminati, le criptoficee e i coccolitoforidi (in particolare *Syracosphaera pulchra*).

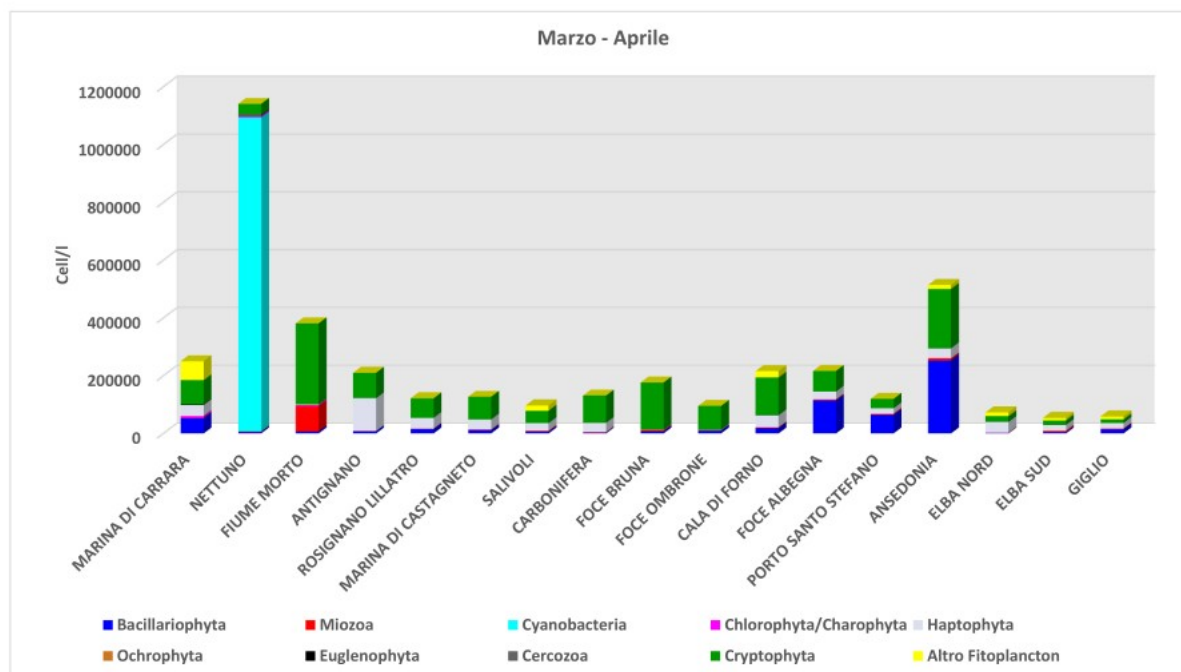


Figura 21: composizione dei popolamenti fitoplanctonici a marzo - aprile 2023

### Maggio - giugno

A maggio-giugno, la caratteristica più evidente è l'aumento delle diatomee (65%), in particolare nelle aree marine di fronte alle foci fluviali (Figura 22).

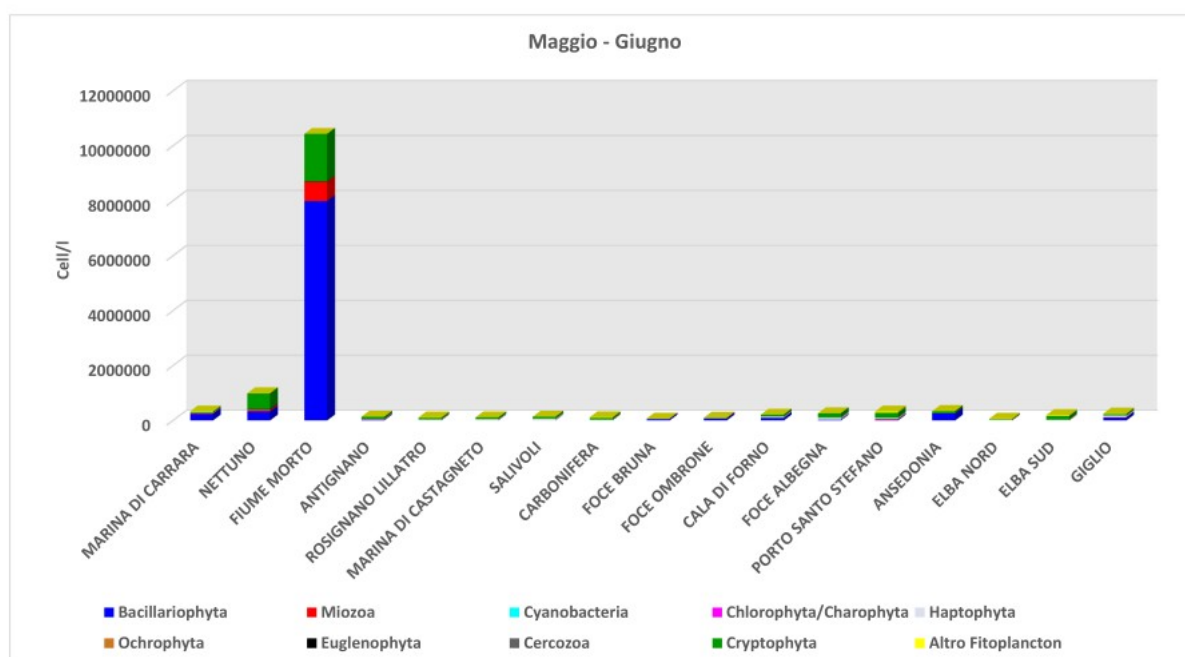


Figura 22: composizione dei popolamenti fitoplanctonici a maggio - giugno 2023



Fiume Morto (Costa pisana) presenta la densità massima con  $1,0 \times 10^7$  cell/l (concentrazione massima registrata nel 2023 lungo tutta la costa toscana), dovuta alla presenza di diatomee (77%). La minima densità è invece stata registrata a Elba Nord con  $6,6 \times 10^4$  cell/l.

Le diatomee più rappresentate in questo periodo sono *Pseudo-nitzschia* spp. del “*Nitzschia delicatissima* Complex”, *Thalassionema nitzschioides*, *Leptocylindrus danicus* e *Proboscia alata*, mentre tra i dinoflagellati dominano i dinoflagellati tecati e non di piccole dimensioni, *Prorocentrum micans* e *P. triestinum*, *Heterocapsa nieii* e *Scrippsiella acuminata*. Per l'altro fitoplancton, oltre ai piccoli flagellati, risultano frequenti i coccolitoforidi e le criptoficee.

### Luglio - agosto

In piena estate la percentuale media delle diatomee e delle criptoficee è per entrambe del 42% 40%, mentre i dinoflagellati salgono all'8% (Figura 23).

In questo periodo la densità fitoplanctonica massima è registrata a Nettuno (Costa del Serchio) con  $6,9 \times 10^5$  cell/l, per la presenza di *Chaetoceros socialis* e *Skeletonema pseudocostatum* (le diatomee qui raggiungono l'90% del popolamento), mentre la minima è stata rilevata nella stazione di Elba Nord con  $1,0 \times 10^4$  cell/l.

Le diatomee più rappresentate sono *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia* spp. e *Proboscia alata*, mentre tra i dinoflagellati dominano i piccoli dinoflagellati tecati e non, seguiti dalle specie *Scrippsiella acuminata*, *Heterocapsa nieii* e *Mesoporos perforatus*. Per l'altro fitoplancton, oltre ai piccoli flagellati, risultano frequenti i coccolitoforidi e le criptoficee.

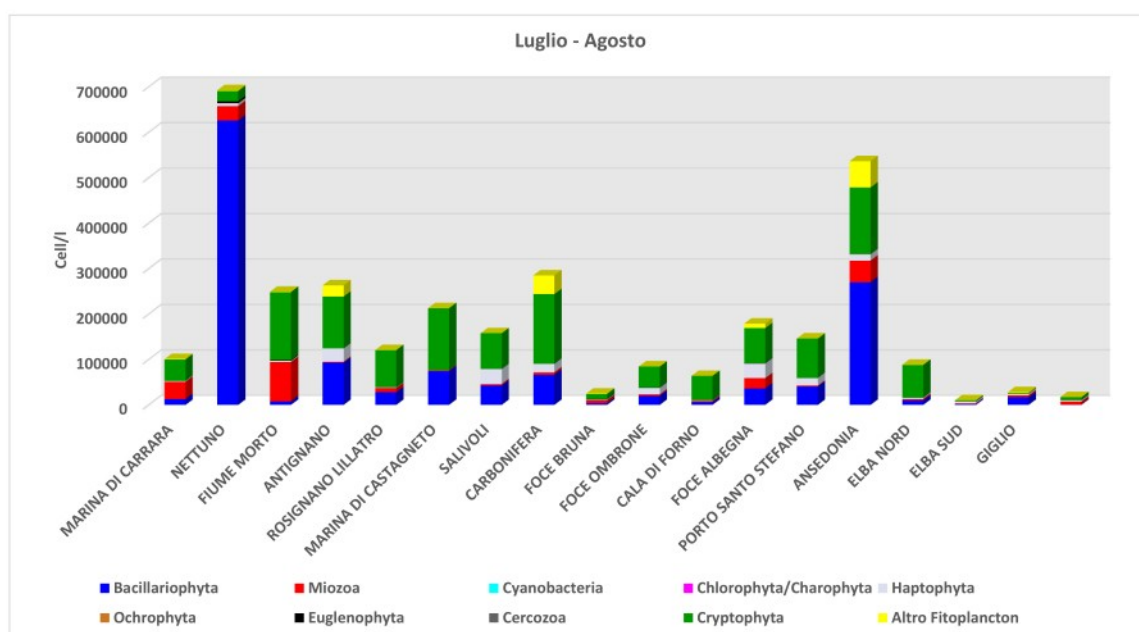


Figura 23: composizione dei popolamenti fitoplanctonici a luglio - agosto 2023

### Settembre – Ottobre

A inizio autunno, la composizione media del popolamento resta molto simile a quella del periodo precedente con una netta prevalenza di diatomee e di criptoficee, rispettivamente 52 e 36%, mentre i dinoflagellati scendono al 2% (Figura 24).

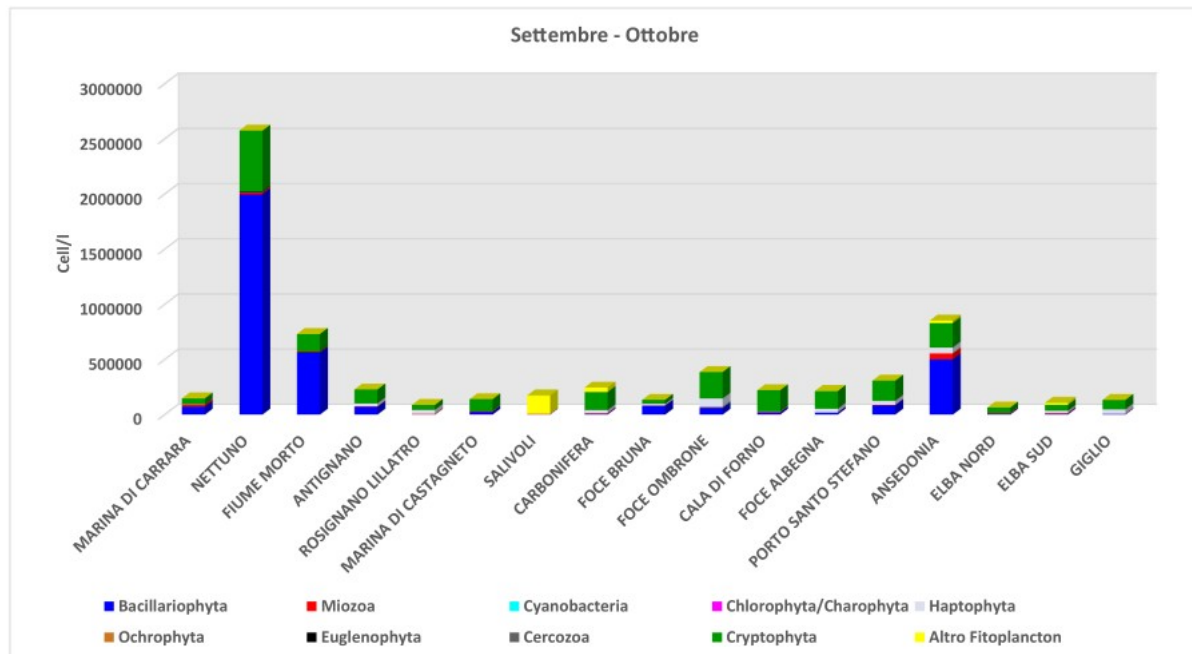


Figura 24: composizione popolamenti fitoplanctonici settembre - ottobre 2023

In questo periodo la densità fitoplanctonica massima è registrata a Nettuno (Costa del Serchio) con  $2,6 \times 10^6$  cell/l e le diatomee rappresentano il 78% dell'intero popolamento (*Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros socialis*, *Leptocylindrus danicus* e *Skeletonema pseudocostatum*), mentre la minima è stata rilevata nella stazione di Elba Nord con  $6,5 \times 10^4$  cell/l.

Tra le diatomee più rappresentate in questo periodo vi sono *Pseudo-nitzschia* spp. del "Nitzschia delicatissima Complex", *Thalassionema nitzschioides*, *Cerataulina pelagica*, *Proboscia alata*, alcune pennate di piccole dimensioni (soprattutto *Naviculaceae*) e varie specie del genere *Chaetoceros* (in particolare *C. socialis*, *C. affinis* e *C. curvisetus*). Tra i dinoflagellati dominano organismi di piccole dimensioni tecati e non (*Scrippsiella acuminata* e *Heterocapsa nieii* e *Lessardia elongata*), mentre per l'altro fitoplancton, oltre alle piccole forme indeterminate, i cocciloforidi e le criptoficee.

### Novembre - dicembre

La percentuale media delle diatomee diminuisce fino al 6% mentre quella dell'altro fitoplancton aumenta al 92% (Figura 25).

Come spesso accaduto, la densità massima è a Nettuno con  $5,3 \times 10^5$  cell/l per la presenza dei cianobatteri (*Planctolyngbya limnetica*, *Merismopedia* sp. e *Pseudanabaena limnetica*), che rappresentano il 51% del popolamento fitoplanctonico, unitamente ad un alta concentrazione di

*Prymnesium parvum* ( $4,0 \times 10^5$  cell/l), proveniente, con ogni probabilità, dal Lago di Massaciuccoli dove era presente una sua ampia fioritura nello stesso periodo. Si rilevano, inoltre, il 17% di criptoficee e il 15% di cloroficee (*Chlamydomonas* sp.).

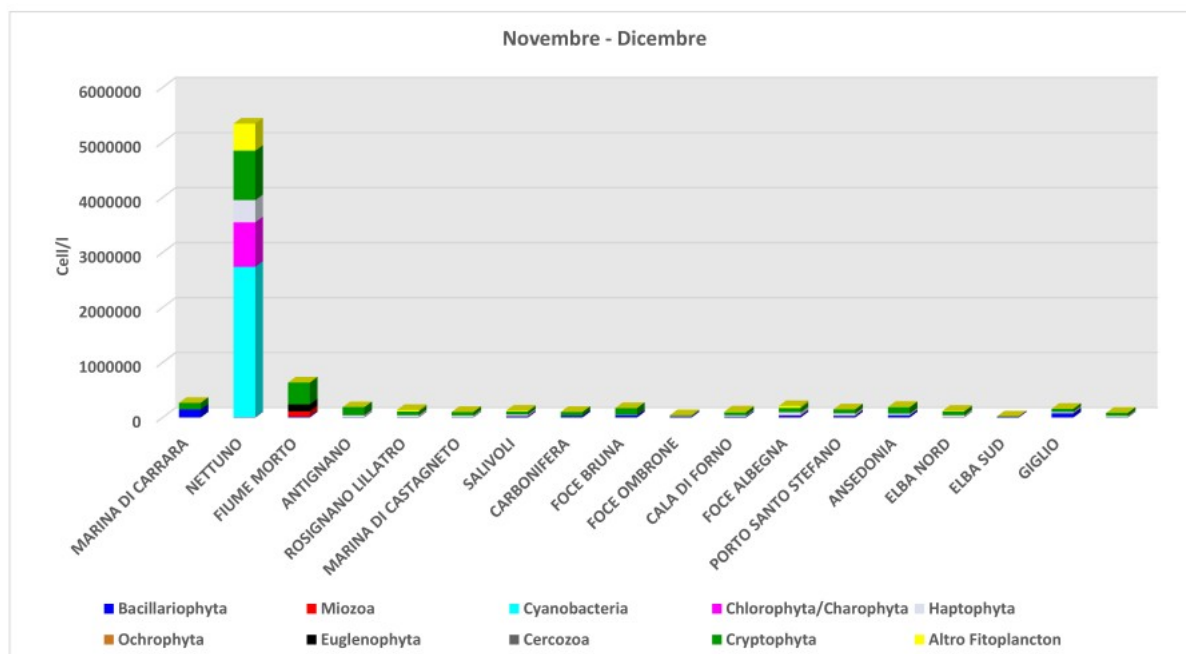


Figura 25: composizione popolamenti fitoplanctonici novembre - dicembre 2023

La concentrazione minima è stata rilevata nella stazione di Elba Sud con  $2,2 \times 10^4$  cell/l.

Le diatomee più rappresentate in questo periodo sono *Cylindrotheca closterium*, *Thalassionema nitzschiodes*, pennate non identificate di piccole dimensioni, *Cerataulina pelagica*, *Proboscia alata* e *Pseudo-nitzschia* spp. del “*Nitzschia delicatissima* Complex”. Tra i dinoflagellati dominano organismi tecati e non di piccole dimensioni, *Scrippsiella acuminata* e *Mesoporum perforatus*, mentre tra l’altro fitoplancton, oltre quello indeterminato  $<20\mu\text{m}$ , i coccolitoforidi e le criptoficee, e le specie *Dictyocha fibula*, *Calciosolenia brasiliensis* e *Leucocryptos marina*.

### 2.1.6 La biomassa fitoplanctonica

La biomassa fitoplanctonica stimata sulla base delle concentrazioni di clorofilla “a” (Chl-a) nei corpi idrici costieri della Toscana conferma sostanzialmente quanto già emerso nell’analisi del popolamento fitoplanctonico ovvero che i valori più elevati, sia come media annuale sia come 90° percentile dei dati annuali (valore utilizzato per il calcolo di RQE) sia come massima concentrazione, si osservano (Figura 26) nelle stazioni della costa settentrionale e, in particolare, a Nettuno (Costa del Serchio). In Figura 27 è riportato l’andamento stagionale complessivo di clorofilla “a” (come media delle concentrazioni rilevate in tutte le stazioni campionate in uno stesso periodo).

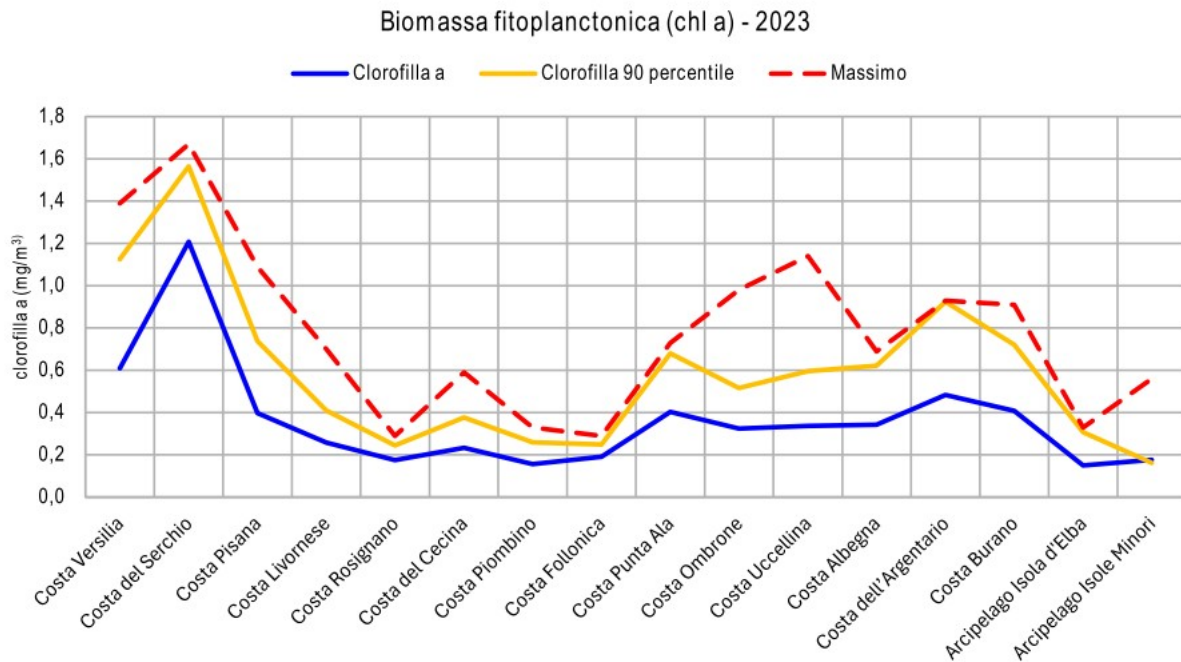


Figura 26: concentrazione di biomassa fitoplanctonica (chl-a) nei corpi idrici costieri nel biennio 2022-2023

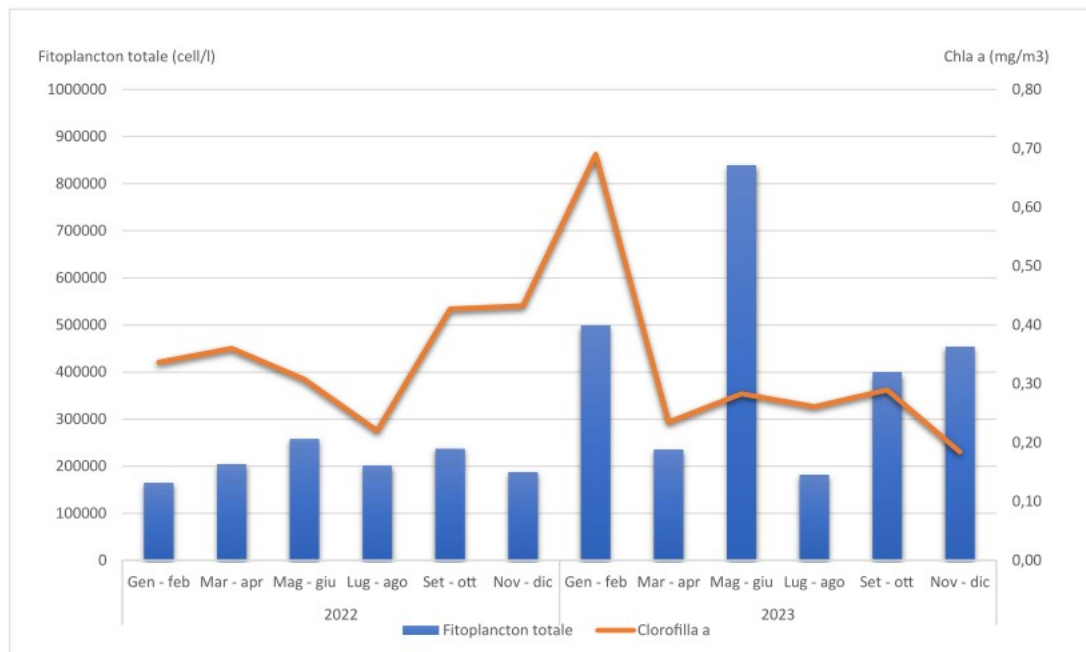


Figura 27: andamento stagionale di biomassa fitoplanctonica media (chl-a) nel biennio 2022 - 2023

Sia la prima caratteristica (biomassa elevata nei corpi idrici a Nord) che la seconda (fioriture in primavera ed autunno) confermano l'importanza per questo EQB degli apporti fluviali (a loro volta dipendenti dalle precipitazioni) come fondamentale fattore di arricchimento per acque costiere altrimenti oligotrofiche.

Le concentrazioni medie di clorofilla “a” (Chl-a) mostrano (Tabella 25) che per il 2023 tutte le stazioni monitorate ed i relativi corpi idrici si trovano in stato ecologico elevato eccetto Costa della Versilia e Costa del Serchio che risultano in stato buono.

A determinare la elevata concentrazione di biomassa fitoplanctonica nella zona di mare antistante il porto di Viareggio (stazione di “Nettuno”), che sembrerebbe in progressivo aumento negli ultimi anni (da 1,4 mg/m<sup>3</sup> Chl-a nel triennio 2016-18 a 1,6 mg/m<sup>3</sup> Chl-a nel triennio 2019-21 fino a 1,8 mg/m<sup>3</sup> Chl-a, valore medio del biennio 2022-23), potrebbero essere stati gli apporti derivanti dal canale Burlamacca, emissario del Lago di Massaciuccoli che sfocia nella zona portuale, unitamente a quelli del fiume Serchio poco più a Sud.

Tabella 25: stato ecologico per EQB biomassa fitoplanctonica nei corpi idrici costieri monitorati: 2022-2023

Corpo idrico costiero	Stazione di monitoraggio	2022			2023		
		Chl a (mg/m <sup>3</sup> )*	RQE	Stato ecologico	Chl a (mg/m <sup>3</sup> )*	RQE	Stato ecologico
Costa della Versilia	Marina di Carrara	0,7	1,00	Elevato	1,1	0,79	Buono
Costa del Serchio	Nettuno	1,9	0,48	<b>Sufficiente</b>	1,6	0,50	Buono
Costa pisana	Fiume Morto	0,8	1,00	Elevato	0,7	1,00	Elevato
Costa livornese	Antignano	0,6	1,00	Elevato	0,4	1,00	Elevato
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	0,5	1,00	Elevato	0,3	1,00	Elevato
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,4	1,00	Elevato	0,4	1,00	Elevato
Costa di Piombino	Salivoli	0,6	1,00	Elevato	0,3	1,00	Elevato
Costa di Follonica	Carbonifera	0,3	1,00	Elevato	0,3	1,00	Elevato
Costa di Punta Ala	Foce Bruna	0,5	1,00	Elevato	0,7	1,00	Elevato
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	0,5	1,00	Elevato	0,5	1,00	Elevato
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	0,4	1,00	Elevato	0,6	1,00	Elevato
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	0,4	1,00	Elevato	0,6	1,00	Elevato
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	0,4	1,00	Elevato	0,9	1,00	Elevato
Costa di Burano	Ansedonia	0,9	1,00	Elevato	0,7	1,00	Elevato
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,3	1,00	Elevato	0,2	1,00	Elevato
	Elba Sud	0,5	1,00		0,3	1,00	
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,3	1,00	Elevato	0,3	1,00	Elevato
	Capraia	0,2	1,00		0,1	1,00	
	Montecristo	0,1	1,00		0,2	1,00	

\*valore espresso come 90° percentile

Se per quantità tali apporti non possono essere certo confrontati con quelli provenienti dall'Arno, dobbiamo, però, ricordare che la stazione di Costa pisana si trova più a Nord della foce dell'Arno (davanti alla foce del fiume Morto, un piccolo corso d'acqua che attraverso il Parco Naturale di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli). Inoltre, dal Lago di Massaciuccoli fuoriesce una gran quantità di sostanza organica e nutrienti in un tratto di acque marine (quelle del litorale versiliese) a basso fondale e scarso ricambio, tutte condizioni che possono favorire lo sviluppo di fitoplancton: come si vedrà in seguito, anche i dati di nutrienti (par. 61) e



dell'indice TRIX (par. 62) sembrano confermare questa ipotesi. Infine, l'aumento delle temperature del mare, determinato dai cambiamenti climatici e particolarmente evidente in tutta la costa settentrionale toscana, potrebbe aver favorito la proliferazione delle microalghe.

### 2.1.7 Prima definizione dello stato ecologico

Sulla base dei 4 elementi di qualità biologica controllati nel 2023, per quanto i dati siano provvisori per vari motivi (medie nel triennio per la biomassa fitoplanctonica e stazioni da controllare nel 2024 per gli altri EQB), si può tentare una prima definizione dello stato ecologico delle acque costiere della Toscana, che verrà successivamente sottoposta alle verifiche di Fase I (vedi par. 60) e Fase II (vedi par. 64).

**Tabella 26: stato ecologico sulla base dei singoli EQB monitorati nei corpi idrici costieri toscani nel 2022-2023**

Corpo Idrico	Stazione	Elementi di qualità biologica				Stato ecologico provvisorio
		Chl-a	M-AMBI	CARLIT	PREI	
Costa della Versilia	Marina di Carrara	0,9	§	NP	NP	Elevato
Costa del Serchio	Nettuno	1,7	§	NP	NP	Buono
Costa pisana	Fiume Morto	0,8	§	NP	NP	Elevato
Costa livornese	Antignano	0,5	§	§	§	Elevato
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	0,4	§	NP	§	Elevato
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,4	0,82 <sup>#</sup>	NP	NP	Elevato
Costa di Piombino	Salivoli	0,4	0,95 <sup>#</sup>	§	§	Elevato
Costa di Follonica	Carbonifera	0,3	0,92 <sup>#</sup>	NP	§	Elevato
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,6	0,83 <sup>*</sup>	NP	NP	Elevato
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	0,5	0,81 <sup>*</sup>	NP	NP	Elevato
Costa dell'Uccelina	Cala di Forno	0,5	0,93 <sup>*</sup>	§	NP	Elevato
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	0,5	0,73 <sup>*</sup>	NP	0,479 <sup>#</sup>	Sufficiente
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	0,6	0,88 <sup>*</sup>	§	0,704 <sup>*</sup>	Buono
Costa di Burano	Ansedonia	0,8	0,80 <sup>*</sup>	§	0,558 <sup>#</sup>	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,3	§	0,74 <sup>#</sup>	0,714 <sup>*</sup>	Buono
	Elba Sud	0,4	§	0,65 <sup>#</sup>	0,667 <sup>*</sup>	
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,3	§	0,98 <sup>*</sup>	0,595 <sup>#</sup>	Buono
	Capraia	0,1	(0,51) <sup>#</sup>	1,04 <sup>*</sup>	0,687 <sup>#</sup>	
	Montecristo	0,2	NP	0,88 <sup>*</sup>	0,853 <sup>*</sup>	

**Legenda:**

\* campionamenti del 2022; #campionamenti del 2023

§ = campionamenti previsti nel 2024; NP = EQB non previsto in questo corpo idrico

I dati completi di biomassa fitoplanctonica, espressi come media per gli anni 2022-2023 del 90° percentile della concentrazione annuale di clorofilla "a" (chl-a), determinano uno stato ecologico (Tabella 26) elevato in quasi il 94% delle stazioni ed in 15 dei 16 corpi idrici, con la sola eccezione di Costa del Serchio in stato ecologico buono.

Integrando il giudizio emerso da questo primo EQB con i risultati parziali (6 stazioni del 2022 e 4 del 2023 sulle 18 previste) dei macroinvertebrati bentonici (indice M-AMBI), si osserva un peggioramento per Costa dell'Albegna e Costa di Burano (da elevato scendono a buono). Per quanto riguarda Arcipelago Isole Minori, come già riportato (par. 35) si ritiene che non debba essere considerato il valore di Capraia per la valutazione dello stato ecologico e che questo corpo idrico debba essere classificato sulla base degli altri EQB.

Le macroalghe litorali (indice CARLIT) indicano uno stato elevato nel corpo idrico monitorato nel 2022 (Arcipelago Isole Minori) e buono in quello del 2023 (Arcipelago Isola d'Elba), mentre li altri 5 verranno monitorati nel 2024.

Lo stato ecologico delle praterie di posidonia (indice PREI), controllate tra 2022 e 2023, risulta buono in 4 corpi idrici (Costa dell'Argentario, Costa di Burano, Arcipelago Isola d'Elba e Arcipelago Isole Minori), 2 dei quali (Costa di Burano e Arcipelago Isola d'Elba) lo erano già per gli altri EQB, e sufficiente in Costa dell'Albegna, per il quale determina il declassamento.

In definitiva, quindi, sulla base della biomassa fitoplanctonica e degli altri EQB monitorati nel 2022-2023, 5 corpi idrici costieri della Toscana risultano in stato ecologico buono (31,2%), 1 in classe sufficiente (6,3%) e 10 in stato elevato (62,5%).

### ***2.1.8 Elementi di qualità fisico-chimica a sostegno e idromorfologici - Fase I***

Gli elementi chimico fisici a sostegno, che occorrono per il calcolo dell'Indice Trofico TRIX e, quindi, della Fase I di conferma dello stato ecologico, sono l'ossigeno disciolto, la clorofilla *a* e i nutrienti, mentre tutti gli altri parametri rilevati sono utili solo per una interpretazione dei dati.

I profili verticali di temperatura, salinità e trasparenza (parametri fisico-chimici) servono per evidenziare stratificazioni termocline della colonna d'acqua e per valutare la penetrazione della luce solare, tutte condizioni che possono influire, insieme alla disponibilità di nutrienti, sulla biomassa fitoplanctonica, mentre i tenori di ossigeno disciolto, oltre che una stima della produzione primaria (vedi indice TRIX), possono rivelare stadi di anossia o ipossia che possono verificarsi sul fondo, con ripercussioni negative sugli organismi bentonici.

#### Temperatura, salinità e ossigeno disciolto

I valori medi di temperatura e salinità superficiale delle acque costiere toscane, suddivisi nei sei periodi di campionamento (Tabella 27), mostrano variazioni stagionali imputabili ai fenomeni di evaporazione e precipitazione, oltre che agli apporti fluviali:

- massimi di temperatura in estate e di salinità in tarda estate (rispettivamente i valori medi 27,3 °C e 38,1 ppt; 28,7 °C come massimo in Costa di Burano e 38,4 ppt in Costa di Follonica e Arcipelago Isola d'Elba), quando sono massimi l'irraggiamento solare (riscaldamento di aria e acqua) e l'evaporazione, mentre le precipitazioni sono minime
- minimi in inverno (36,9 ppt e 14,3 °C di media; 32,4 ppt in Costa del Serchio e 13,0 °C in Costa di Follonica) per le situazioni opposte di precipitazioni e apporti fluviali.

Ovviamente, i valori di salinità più bassi e, in generale, quelli inferiori a 36 ppt si ritrovano solo nei corpi idrici influenzati direttamente dai principali corsi d'acqua della Toscana: Costa della

Versilia (fiume Magra e vari fossi e torrenti), del Serchio (fiume Serchio e Canale Burlamacca), pisana (fiume Arno) e dell'Ombrone (fiume Ombrone).

Per quanto riguarda l'ossigeno disciolto nelle acque superficiali, i valori massimi coincidono con il periodo primavera estate (Costa di Follonica, campagna maggio giugno, 114%), mentre i più bassi in tarda estate (Costa dell'Uccellina e del Cecina, campagna di settembre, 60%).

*Tabella 27: valori medi di temperatura, ossigeno e salinità misurati nel 2023*

Periodo	Salinità (ppt)	Ossigeno disciolto (%)	Temperatura superficiale(°C)
Gennaio -febbraio	36,9	93	14,3
Marzo-aprile	37,6	89	15,0
Maggio - giugno	37,4	102	18,5
Luglio - agosto	37,9	90	27,3
Settembre - ottobre	38,1	84	23,7
Novembre - dicembre	38,2	88	19,0
Media annuale	37,6	93	19,8
Massimo annuale	38,4	114	28,7
Minimo annuale	32,4	60	13,0

## Nutrienti

In generale nelle acque costiere toscane le concentrazioni di sostanze fosforate sono molto basse e quasi sempre al di sotto del limite di quantificazione del metodo (0,2 µmol/l). I valori medi di fosforo totale, che, come detto (par. 23), oltre alla componente disciolta, comprende anche tutte le forme particellate inorganiche (detriti) e organiche (fitoplancton), sono più alti nei corpi idrici più settentrionali della Toscana, in particolare in Costa del Serchio e in Costa della Versilia (Tabella 28), probabilmente a causa dell'apporto di sostanza organica da parte dei corsi d'acqua maggiormente presenti in questa zona.

In particolare, nella stazione di Nettuno (Costa del Serchio), localizzata nella zona di mare antistante il porto di Viareggio, all'interno del quale sfocia il Canale Burlamacca, emissario del Lago di Massaciuccoli, si raggiungono le medie più elevate di tutta la costa Toscana (Figura 28) per i nitrati (20,4µmol/l, 5 volte maggiore rispetto a quella risultata nel 2022), per i nitriti (1,1µmol/l N-NO<sub>2</sub>), per l'ammoniaca (5,5µmol/l N-NH<sub>3</sub>) e per i silicati (16,6 µmol/l), mentre per l'azoto totale, sebbene la media sia molto elevata (45,1µmol/l N-tot), è superata da quella di Ansedonia (Costa di Burano) con 50,3µmol/l N-tot) per l'influenza del canale emissario della Laguna di Orbetello.

Tabella 28: Concentrazioni medie annuali di fosforo totale (P-tot) e fosforo ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) nel 2023

Corpo idrico	Media annuale (µmol/l)	
	P-tot	P-PO <sub>4</sub>
Costa della Versilia	0,4	0,2
Costa del Serchio	0,9	0,3
Costa pisana	0,4	0,2
Costa livornese	0,3	< 0,2
Costa di Rosignano	0,3	0,2
Costa del Cecina	0,3	<0,2
Costa di Piombino	0,3	0,2
Costa di Follonica	0,3	<0,2

Corpo idrico	Media annuale (µmol/l)	
	P-tot	P-PO <sub>4</sub>
Costa di Punta Ala	0,3	0,3
Costa dell'Ombone	0,3	<0,2
Costa dell'Uccellina	0,2	0,2
Costa dell'Albegna	0,3	<0,2
Costa dell'Argentario	0,4	<0,2
Costa di Burano	0,4	0,2
Arcipelago Isola d'Elba	0,3	0,2
Arcipelago Isole Minori	0,3	0,3

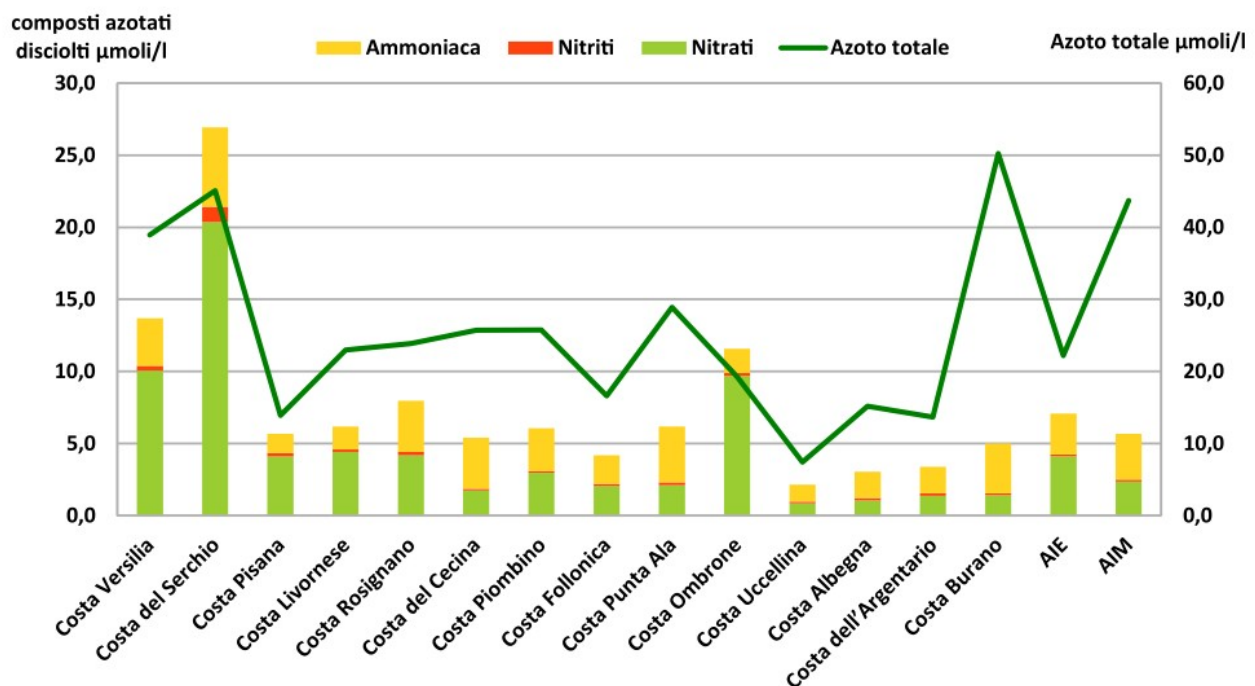


Figura 28: concentrazioni medie annuali di (in alto) azoto totale e delle 3 forme di azoto inorganico disciolto (nitriti, nitrati e ammoniaci) e di silicati (in basso) nei corpi idrici toscani nel 2023

## Indice Trofico TRIX

I valori dell'indice trofico TRIX indicano, in generale, una condizione di oligotrofia in tutte le acque marino costiere della Toscana, con alti tassi di ossigeno disciolto e basse concentrazioni di nutrienti, spesso al limite di quantificazione strumentale.

Nel 2023 i valori medi annuali (Tabella 29) mostrano un generalizzato aumento, già registrato nel 2022: tutti i corpi idrici costieri hanno un valore medio di TRIX  $\geq 3,4$ , fatta eccezione per

l'Isola d'Elba, mentre nel 2022 erano la metà, con un valore medio annuale complessivo che passa da 3,3 (2022) a 3,7 (2023). Questo aumento significativo, più evidente per i corpi idrici della costa settentrionale, sembra essere determinato principalmente da un incremento nelle concentrazioni dei nutrienti azotati, che, come detto, è legato fundamentalmente agli apporti fluviali e/o da acque interne.

La criticità maggiore riguarda Costa del Serchio, perché la stazione di Nettuno, influenzata dalle acque del Lago di Massaciuccoli veicolate a mare dal canale Burlamacca, supera, già nel 2022 e ancor più nel 2023, il limite tra stato ecologico Buono e Sufficiente, che, per il macrotipo 3 Bassa stabilità, al quale appartengono tutti i corpi idrici costieri della Toscana, è il valore di  $TRIX = 4,0$ , determinando il declassamento di questo corpo idrico in stato sufficiente. I risultati di questi ultimi due anni sembrano confermare una tendenza già iniziata nel triennio precedente (2019-21) con il consolidamento di una situazione eutrofica, ma attendiamo il completamento del triennio 2022-24 per una valutazione definitiva.

**Tabella 29: valori medi annuali dell'indice trofico  $TRIX$  2022-2023**

Corpo idrico	Stazioni	2022		2023	
		$TRIX$	Stato ecologico	$TRIX$	Stato ecologico
Costa della Versilia	Marina di Carrara	3,5	Buono o elevato	4,0	Buono o elevato
Costa del Serchio	Nettuno	4,4	Sufficiente	5,1	Sufficiente
Costa pisana	Fiume Morto	3,8	Buono o elevato	3,7	Buono o elevato
Costa livornese	Antignano	3,6	Buono o elevato	3,7	Buono o elevato
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	3,6	Buono o elevato	3,4	Buono o elevato
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	3,3	Buono o elevato	3,6	Buono o elevato
Costa di Piombino	Salivoli	3,3	Buono o elevato	3,6	Buono o elevato
Costa di Follonica	Carbonifera	3,1	Buono o elevato	3,5	Buono o elevato
Costa di Punta Ala	Foce Bruna	3,2	Buono o elevato	3,6	Buono o elevato
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	3,7	Buono o elevato	3,9	Buono o elevato
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	3,3	Buono o elevato	3,6	Buono o elevato
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	3,4	Buono o elevato	3,4	Buono o elevato
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	3,5	Buono o elevato	3,6	Buono o elevato
Costa di Burano	Ansedonia	3,6	Buono o elevato	3,8	Buono o elevato
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	3,1	Buono o elevato	2,8	media 3,2 Buono o elevato
	Elba Sud			3,6	
Arcipelago Isole Minori	Giglio	2,4	Buono o elevato	3,5	media 3,5 Buono o elevato
	Capraia			3,7	
	Montecristo			3,6	



### 2.1.9 Elementi chimici a sostegno – Fase II

Come detto (par. 24), nelle acque costiere della Toscana sono state ricercate quelle sostanze non appartenenti all'elenco di priorità (tabella 1/B del D.Lgs. 172/2015), delle quali si è ipotizzata la presenza in base a studi sulle pressioni ambientali.

Come accaduto sempre dal 2016, anche nel 2023 non si sono evidenziati superamenti degli SQA per nessuna delle sostanze ricercate e, tranne che per arsenico e cromo (Tabella 30), le concentrazioni sono risultate al di sotto del limite di quantificazione (LOQ). Di conseguenza, la verifica dello stato ecologico sulla base degli elementi chimici a sostegno (Fase II) al termine del 2023 non comporta alcun peggioramento di classe, ma, come detto per le altre fasi, bisogna attendere il completamento del triennio 2022-2024.

Tabella 30: concentrazioni medie annuali di Arsenico e Cromo *nei corpi idrici costieri nel 2023*

Corpo idrico	Stazioni	Arsenico <sup>22</sup>	Cromo <sup>23</sup>
Costa della Versilia	Marina di Carrara	1	2
Costa del Serchio	Nettuno	1	2
Costa pisana	Fiume Morto	1	2
Costa livornese	Antignano	1	3
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	1	2
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	1	2
Costa di Piombino	Salivoli	2	2
Costa di Follonica	Carbonifera	1	2
Costa di Punta Ala	Foce Bruna	1	1
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	1	1
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	1	4
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	1	2
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	1	2
Costa di Burano	Ansedonia	1	1
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	1	2
	Elba Sud	1	2
Arcipelago Isole Minori	Giglio	1	1
	Montecristo	2	1
	Capraia	1	1

22 Tabella 1/B del D.Lgs. 172/2015: Arsenico SQA-MA = 5 µg/L

23 Tabella 1/B del D.Lgs. 172/2015: Cromo SQA-MA = 4 µg/L

## 2.2 Stato chimico

Lo stato chimico, come detto (par. 25) va determinato sulla base del confronto con gli SQA delle sostanze chimiche ricercate nelle acque e nel biota e, eventualmente, nei sedimenti (tabella 1/A e 2/A del D.Lgs. 172/2015 e All. B alla DGRT 264/2018).

### 2.2.1 Stato chimico nelle acque costiere

#### Mercurio e altri metalli

Le concentrazioni cadmio nelle acque marine della Toscana sono state per la per tutto il 2023 molto basse, talvolta addirittura inferiori ai livelli di quantificazione (LOQ), tanto che, le concentrazioni medie annuali (Tabella 31) sono state tutte ampiamente al di sotto degli SQA e degli eventuali valori di fondo naturali (Vedi Tabella 8), senza che emergano neppure differenze significative tra i diversi corpi idrici costieri.

Tabella 31: concentrazioni medie annuali ( $\mu\text{g/l}$ ) di mercurio, cadmio, nichel e piombo nelle acque nel 2023

Corpo idrico	Stazione	Cadmio	Mercurio	Nichel	Piombo
Costa della Versilia	Marina di Carrara	0,02	0,04	2,6	0,4
Costa del Serchio	Nettuno	< 0,02	0,01	3,1	0,5
Costa pisana	Fiume Morto	< 0,02	0,01	1,9	< 0,4
Costa livornese	Antignano	0,04	0,01	<b>10,5</b>	0,6
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	0,03	0,05	1,8	0,4
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	< 0,02	0,01	5,9	0,9
Costa di Piombino	Salivoli	0,04	0,01	5,1	0,5
Costa di Follonica	Carbonifera	0,03	0,01	8,1	0,6
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,03	0,01	3,2	0,4
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	0,02	0,04	3,4	< 0,4
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	0,03	0,02	<b>11,7</b>	0,7
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	0,04	0,02	2,0	< 0,4
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	0,02	0,01	<b>16,2</b>	0,9
Costa di Burano	Ansedonia	0,02	0,01	4,7	< 0,4
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	< 0,02	0,04	1,7	0,5
	Elba Sud	0,03	0,01	5,8	0,6
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,03	0,01	5,2	0,4
	Montecristo <sup>24</sup>	< 0,02	0,01	<b>28,0</b>	0,5
	Capraia <sup>23</sup>	< 0,02	0,01	< 1	< 0,4
SQA-MA		0,2	Vedi Tabella 8	8,6	1,3

Nel caso del **mercurio**, però, il confronto con le concentrazioni massime ammissibili (SQA-CMA) della tabella 1/A D.Lgs. 172/2015 rivela due casi di superamento nelle acque (Tabella

<sup>24</sup> Nel 2023 è stato analizzato solo 1 campione, per cui i valori non possono essere confrontati con gli SQA-MA

32): Rosignano Lillatro (campionamento del 06/09/2023), con un valore di 0,25 µg/l e Elba Nord (campionamento del 07/09/2023) con una concentrazione di 0,12 µg/l (SQA-CMA = 0,07µg/l). Anche nella stazione di foce Albegna è stato rilevato un valore di concentrazione di mercurio maggiore del SQA-CMA: tale valore, 0,08 µg/l, risulta essere, però, inferiore a quello riportato nello Studio sui valori di fondo - DGRT 1273/2016 (valore di fondo = 0,26µg/l).

Tabella 32: concentrazioni massime (µg/l) di mercurio e nichel nelle acque nel 2023

Corpo idrico	Stazione	Mercurio	Nichel
Costa della Versilia	Marina di Carrara	0,06	4,2
Costa del Serchio	Nettuno	0,02	5,2
Costa pisana	Fiume Morto	0,03	2,9
Costa livornese	Antignano	0,06	<b>49,0</b>
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	<b>0,25</b>	3,9
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,05	27,0
Costa di Piombino	Salivoli	0,01	13,0
Costa di Follonica	Carbonifera	0,01	26,0
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,05	8,0
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	0,05	9,0
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	0,05	23,0
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	<b>0,08</b>	3,6
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	0,04	<b>55,0</b>
Costa di Burano	Ansedonia	0,04	12,1
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	<b>0,12</b>	4,3
	Elba Sud	0,02	18,9
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,01	12,0
	Montecristo <sup>25</sup>	0,01	28,0
	Capraia <sup>23</sup>	0,01	< 1
SQA-CMA		0,07	34

Il nichel presenta superamenti dello standard di qualità, sia come valore medio, sia come concentrazione massima ammissibile: le concentrazioni medie annue superano SQA-MA nelle stazioni di Antignano, Cala di Forno, Porto Santo Stefano e Montecristo (Tabella 32), mentre le concentrazioni massime ammissibili (SQA-CMA = 34µg/l) sono superate a Antignano (campionamento del 06/09/2023) con una concentrazione di 49 µg/l e Porto Santo Stefano (campionamento del 14/07/2023) con una concentrazione di 55 µg/l.

Per quanto riguarda il cadmio e il piombo le concentrazioni sono nel 2023 sempre molto basse ed ampiamente inferiori agli SQA-MA.

<sup>25</sup> Nel 2023 è stato analizzato solo 1 campione, per cui i valori non possono essere confrontati con gli SQA-MA

### 2.2.1.1 TBT, IPA e altre sostanze prioritarie

Nel 2023 le concentrazioni medie (Tabella 33) del tributilstagno ed i suoi composti (TBT) sono state tendenzialmente più elevate nella zona più settentrionale della costa toscana, dove la presenza di insediamenti portuali (Marina di Carrara e Viareggio) rappresenta un fattore di potenziale inquinamento specifico, dato che sono sostanze persistenti e storicamente impiegate in vernici antivegetative. Lo scarso ricambio idrico ed i bassi fondali di questa zona possono aver diminuito il potere diluente delle acque marine rispetto ad altre aree portuali (Livorno, Piombino, Portoferraio). Nel caso di Costa del Serchio, come già accaduto nel triennio 2019-21 e nel 2022, viene superato lo SQA-MA, ma non la concentrazione massima ammissibile.

Tabella 33: concentrazioni medie annuali ( $\mu\text{g/l}$ ) di TBT, BaP e DEHP nelle acque costiere nel 2023

Corpo idrico	Stazione	TBT	BaP	DEHP
Costa della Versilia	Marina di Carrara	< 0,0001	0,00013	< 0,3
Costa del Serchio	Nettuno	<b>0,00070</b>	0,00010	< 0,3
Costa pisana	Fiume Morto	< 0,0001	< 0,00005	0,3
Costa livornese	Antignano	< 0,0001	< 0,00005	0,3
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	< 0,0001	< 0,00005	< 0,3
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	< 0,0001	< 0,00005	0,3
Costa di Piombino	Salivoli	< 0,0001	< 0,00005	0,3
Costa di Follonica	Carbonifera	< 0,0001	< 0,00005	< 0,3
Costa Punta Ala	Foce Bruna	< 0,0001	0,00007	< 0,3
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	< 0,0001	< 0,00005	0,4
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	< 0,0001	< 0,00005	< 0,3
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	< 0,0001	< 0,00005	< 0,3
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	< 0,0001	0,00008	0,4
Costa di Burano	Ansedonia	< 0,0001	< 0,00005	0,4
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	< 0,0001	< 0,00005	0,3
	Elba Sud	0,00010	0,00011	< 0,3
Arcipelago Isole Minori	Giglio	< 0,0001	0,00006	0,4
	Montecristo <sup>26</sup>	< 0,0001	0,00007	< 0,3
	Capraia <sup>26</sup>	< 0,0001	< 0,00005	< 0,3
SQA-MA		0,0002	0,00017	1,3

Per quanto riguarda gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), sottoprodotti della combustione di combustibili fossili, materia inorganica e legname e, quindi, collegati alla produzione energetica (centrali termiche), al traffico veicolare (motori diesel e benzina) e ad alcune attività industriali (cokerie, produzione e lavorazione grafite, trattamento del carbon fossile), nel 2023 non sono stati rilevati superamenti degli standard di qualità ambientali.

<sup>26</sup> Nel 2023 è stato analizzato solo 1 campione, per cui i valori non possono essere confrontati con gli SQA-MA

Il di-2-etilesilftalato (DEHP) è un plastificante molto utilizzato nella produzione industriale e pericoloso per l'ambiente e per la salute umana, la cui presenza in mare è legata agli scarichi industriali e, soprattutto, al rilascio da parte di materie plastiche (rifiuti), ma, per le sue stesse caratteristiche, permane a lungo e viene trasportato in zone anche non costiere. Nonostante nel 2023 si sia ritrovato in quantità rilevabili in molti campioni analizzati (presenza diffusa), la sua media annuale non ha mai superato lo SQA-MA, come era accaduto, ad esempio, alla foce dell'Albegna (Costa dell'Albegna) nel 2017 e nel 2020.

**Tabella 34: sostanze superiori a SQA e stato chimico nelle acque costiere della Toscana nel 2023**

Corpo idrico	Stazione	Sostanze superiori a SQA		Stato chimico (acqua)
		>SQA-MA	>SQA-CMA	
Costa della Versilia	Marina di Carrara			Buono
Costa del Serchio	Nettuno	TBT		Non buono
Costa pisana	Fiume Morto			Buono
Costa livornese	Antignano	Nichel	Nichel	Non buono
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro		Mercurio	Non buono
Costa del Cecina	Marina di Castagneto			Buono
Costa di Piombino	Salivoli			Buono
Costa di Follonica	Carbonifera			Buono
Costa Punta Ala	Foce Bruna			Buono
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone			Buono
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	Nichel		Non buono
Costa dell'Albegna	Foce Albegna			Buono
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	Nichel	Nichel	Non buono
Costa di Burano	Ansedonia			Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord		Mercurio	Non buono
	Elba Sud			Buono
Arcipelago Isole Minori	Giglio			Buono
	Montecristo	Nichel		Non buono
	Capraia			Buono

Per quanto riguarda tutte le altre sostanze ricercate (fitofarmaci, pesticidi e altri composti organoalogenati, ecc.), come accaduto nei 2 trienni precedenti, nel 2023 le concentrazioni sono sempre rimaste tutte ampiamente al di sotto degli standard di qualità ambientali e spesso anche dei limiti di quantificazione dei metodi di analisi.

Sulla base, quindi, delle sostanze di tabella 1/A D.Lgs. 172/2015 ricercate nelle acque, lo stato chimico provvisorio e relativo al solo anno 2023, risulterebbe non buono (Tabella 34) in 7 dei corpi idrici toscani (Costa del Serchio, livornese, di Rosignano, Uccellina, Argentario, Arcipelago – Isola d'Elba e Arcipelago – Isole minori).



## 2.2.2 Stato chimico nel biota

Nel 2023, a causa di problemi amministrativi e di reperimento degli organismi, sono stati raccolti solo 4 campioni per la matrice mitili, come nel 2022, e 14 per la matrice pesci, per un totale di 18 campioni di biota sui 24 previsti (rispettivamente 8 e 16) dal piano di monitoraggio (vedi Tabella 14).

### 2.2.2.1 Molluschi

Le concentrazioni rilevate (Tabella 35), come accaduto spesso in passato, sono state estremamente basse e sempre abbondantemente al di sotto dello standard ambientale per tutte le 3 sostanze, inferiori al LOQ per fluorantene e benzo[a]pirene.

Tabella 35: concentrazioni ( $\mu\text{g/kg}$ ) di diossine, fluorantene e benzo[a]pirene rilevate nei molluschi (biota) dei corpi idrici costieri nel 2022 - 2023 (vedi par. 25)

Corpo idrico	Mollusco bivalve	PCDD+PCDF+PCB-DL		Fluorantene		BaP	
		2022	2023	2022	2023	2022	2023
Costa del Serchio	<i>Donax trunculus</i>	a.n.e.	0,0020	a.n.e.	(< 9)	a.n.e.	(< 1)
Costa pisana	<i>Donax trunculus</i>	0,0011	0,0012	a.n.e.	(< 9)	a.n.e.	(< 1)
Costa livornese	c.n.e.						
Costa di Rosignano	c.n.e.						
Costa di Piombino	c.n.e.						
Costa di Follonica	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,0010	0,0013	(< 9)	(< 9)	(< 1)	(< 1)
Costa dell'Argentario	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,0021	0,0011	(< 9)	(< 9)	(< 1)	(< 1)
Arcipelago Isola d'Elba	c.n.e.						
Arcipelago Isole Minori	c.n.e.						
	SQA	0,0065		30		5	

Legenda: c.n.e = campione non effettuato; a.n.e. = analisi non effettuata;

### 2.2.2.2 Pesci

Premesso che, come già scritto (par. 25), non è stato possibile effettuare le analisi per eptacloro e eptacloro epossido e esabromociclododecano (HBCDD), il monitoraggio del bioaccumulo nei pesci campionati nel 2023 (14 corpi idrici) ha evidenziato (Tabella 36) concentrazioni superiori agli SQA in tutti i corpi idrici per i difenileteri bromurati (PBDE) con un massimo ( $174\mu\text{g/kg}$ ) in Costa di Burano.

Il mercurio risulta superare lo standard di qualità ambientale in tutti i corpi idrici, tranne Costa pisana e Costa livornese, con valori molto alti in Costa di Piombino e Costa Punta Ala.

Il DDT supera lo standard di qualità in Costa del Cecina, mentre l'esaclorobenzene (HCB) in Costa di Follonica e Costa dell'Albegna.

L'acido perfluorottansolfonico (PFOS), le diossine e composti diossina simili (PCDF+PCDD+PCB-DL), il dicofol e l'esaclorobutadiene risultano conformi in tutti i corpi idrici indagati.

Per quanto riguarda il confronto con gli anni precedenti sia i costanti superamenti di Hg e PBDE sia l'assenza di criticità per la maggior parte delle altre sostanze sono caratteristiche già rilevate nel triennio 2019-21. Risultano, invece, anomale le concentrazioni di esaclorobenzene, che, tra il 2017 e il 2021, sono state elevate e, spesso, anche superiori allo SQA in altri corpi idrici (Costa livornese, di Rosignano, dell'Uccellina e dell'Argentario) rispetto a quelli del 2023 (Costa di Follonica e Costa dell'Albegna)<sup>27</sup>. Un caso particolare, infine, è rappresentato dal PFOS, che, dopo aver avuto concentrazioni >SQA nella maggior parte dei corpi idrici tra 2017 e 2019, è progressivamente diminuito (nel 2020 sempre conforme e nel 2021 un solo superamento) fino a quasi scomparire nell'ultimo anno (80% dei campioni <LOQ).

**Tabella 36: concentrazioni ( $\mu\text{g/kg}$ ) di mercurio (Hg), PFOS, esaclorobenzene (HCB), PBDE, diossine (PCDD, PCDF, PCB-DL) e DDT totale rilevate nei pesci (biota) dei corpi idrici costieri nel 2023, dopo normalizzazione (vedi par. 25), con evidenziati i valori >SQA**

Corpo idrico	Specie	LT	Hg	PFOS	HCB	PBDE	PCDD+ PCDF+ PCB-DL	DDT totale
Costa della Versilia	<i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827)	2	47	(< 0,1)	4	30	0,0019	8,1
Costa del Serchio	<i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827)	2	78	(< 0,1)	(< 0,1)	17	0,0015	3,2
Costa pisana	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	3	20	(< 0,1)	8	6	0,0016	4,6
Costa livornese	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	3	34	(< 0,1)	16	7	0,0015	6,7
Costa di Rosignano	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	3	55	(< 0,1)	4	8	0,0011	6,5
Costa del Cecina	<i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827)	2	33	1	24	74	0,0042	131,4
Costa di Piombino	<i>Labrus viridis</i> Linneus, 1758	4	3150	(< 0,1)	22	1	0,0028	0,4
Costa di Follonica	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	3	42	(< 0,1)	336	5	0,0009	3,8
Costa di Punta Ala	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	3	353	(< 0,1)	(< 0,1)	6	0,0009	0,5
Costa dell'Ombrone	c.n.e.							
Costa dell'Uccellina	<i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827	2	158	(< 0,1)	14	11	0,0009	9,2
Costa dell'Albegna	<i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827	2	184	(< 0,1)	28	16	0,0023	8,9
Costa dell'Argentario	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	3	95	(< 0,1)	14	10	0,0008	7,2
Costa di Burano	<i>Chelon ramada</i> (Risso, 1827)	2	84	3	20	174	0,0037	26
Arcipelago Isola d'Elba	c.n.e.							
Arcipelago Isole Minori	<i>Symphodus tinca</i> (Linnaeus, 1758)	3	175	(< 0,1)	(< 0,1)	12	0,0009	0,4
SQA normalizzato			Vedi Tabella 12					
<b>Legenda:</b> LT= livello trofico; c.n.e = campione non effettuato;								

<sup>27</sup> Nel 2022, a causa di difficoltà nel reperimento degli organismi marini, sono stati analizzati solo 3 campioni di altrettanti corpi idrici rispetto ai 16 previsti dal piano di monitoraggio

## 2.3 Sedimenti

Sono stati effettuati 19 prelievi di sedimenti nel 2023<sup>28</sup> e dal punto di vista della composizione granulometrica si osserva (Tabella 22) una netta prevalenza (>90%) della componente più fine (peliti) nella maggior parte delle stazioni (11). Nelle stazioni di Ansedonia, Elba Nord e Piombino la prevalenza di peliti si riduce (65-75%), mentre in quelle di Rosignano e Marina di Castagneto si ha una ripartizione equilibrata tra peliti e sabbie e nelle 3 stazioni delle isole minori dell'Arcipelago toscano si ha una prevalenza di sabbie più o meno accentuata (65-85%). Le ghiaie, com'era prevedibile a queste distanze dalla costa, sono quasi assenti (< 3%), ad eccezione del fondale di Montecristo (9,2%) e Capraia (8,8%).

Tabella 37: frazioni granulometriche nei sedimenti dei corpi idrici costieri nel 2023

Corpo idrico	Stazione	Frazione Granulometrica (%)		
		Ghiaia	Sabbia	Peliti
Costa della Versilia	Marina di Carrara	0,1	8,3	91,6
Costa del Serchio	Nettuno	0,2	3,0	96,8
Costa pisana	Fiume Morto	0,3	1,1	98,6
Costa livornese	Antignano	0,1	3,1	96,8
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	0,4	59,1	40,5
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	1,8	59,6	38,6
Costa di Piombino	Promontorio di Piombino	0,4	32,8	66,8
Costa di Follonica	Carbonifera	0,3	5,3	94,4
Costa di Punta Ala	Foce Bruna	0,3	6,9	92,8
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	0,6	7,3	92,1
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	1,3	3,7	95,0
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	3,7	2,8	93,5
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	0	4,6	95,4
Costa di Burano	Ansedonia	1,7	31,5	66,8
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,8	26,1	73,1
	Elba Sud	0,3	9,1	90,6
Arcipelago Isole minori	Giglio	3,4	62,9	33,7
	Montecristo	9,2	80,0	10,8
	Capraia	8,8	85,1	6,1

Per quanto riguarda le sostanze ricercate nei sedimenti, dobbiamo, innanzitutto, ricordare che per alcuni metalli sono stati definiti i valori di fondo naturale (Tabella 8) che sostituiscono gli SQA per molte delle stazioni di monitoraggio della Toscana.

Le concentrazioni di mercurio (Hg) rilevate nei sedimenti (Tabella 38) a Carbonifera, nella parte meridionale della costa toscana (da Cala di Forno ad Ansedonia) e a Elba Sud, pur essendo superiori agli SQA (considerando anche la tolleranza del 20%<sup>29</sup>), risultano compatibili con

<sup>28</sup> Il campionamento all'Isola di Montecristo è slittato al 29/01/2024 a causa delle cattive condizioni meteo marine

<sup>29</sup> Vedi nota 2 alla Tabella 2/A del D.Lgs. 172/2015

l'arricchimento naturale derivante dalla particolare geochimica di queste coste e, quindi, inferiori ai valori di fondo. Invece, come accaduto quasi sempre tra 2016 e 2021, nel 2022 e nel 2023 le stazioni di Antignano (Costa livornese) e di Rosignano Lillatro presentano valori ampiamente superiori a quelli di fondo naturale, confermando la presenza di una contaminazione determinata, probabilmente, dagli scarichi storici dello stabilimento Solvay.

**Tabella 38: concentrazioni (mg/kg s.s.) di mercurio (Hg), cadmio (Cd), piombo (Pb), esaclorobenzene (HCB), arsenico (As) e cromo (Cr) rilevate nei sedimenti dei corpi idrici costieri nel 2023 con evidenziati i superamenti dei valori di fondo e/o degli SQA**

Corpo idrico	Stazione	Hg	Cd	Pb	HCB	As	Cr
Costa della Versilia	Marina di Carrara	< 0,1	< 0,2	16	0,1	13	94
Costa del Serchio	Nettuno	< 0,1	< 0,2	18	< 0,1	16*	113
Costa pisana	Fiume Morto	< 0,1	< 0,2	15	< 0,1	11	93
Costa livornese	Antignano	1,6	0,2	25	2,7	20*	86*
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	0,9	0,3	14	0,6	31*	89*
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,1	< 0,2	11	< 0,1	16*	136*
Costa di Piombino	Promontorio di Piombino	0,3	0,3	44	0,3	71*	119*
Costa di Follonica	Carbonifera	0,4*	< 0,2	24	0,1	21*	80*
Costa di Punta Ala	Foce Bruna	0,3	< 0,2	21	0,3	19*	83*
Costa dell'Ombrone	Foce Ombrone	< 0,1	< 0,2	13	< 0,1	7,9	83*
Costa dell'Uccellina	Cala di Forno	0,5*	< 0,2	18	0,1	19*	76*
Costa dell'Albegna	Foce Albegna	0,8*	< 0,2	17	0,2	22*	79*
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	0,7*	< 0,2	23	0,2	24*	68*
Costa di Burano	Ansedonia	0,7*	< 0,2	26	0,1	31*	42
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,1	< 0,2	23	< 0,1	29*	103*
	Elba Sud	0,4*	0,7*	82	< 0,1	196	158
Arcipelago Isole minori	Giglio	0,2	< 0,2	21	< 0,1	13	30
	Montecristo						
	Capraia	< 0,1	< 0,2	11	< 0,1	23*	16
SQA		0,30	0,30	30	0,40	12	50
SQA +20%		0,36	0,36	36	0,48	14,4	60
Valori di fondo		Vedi Tabella 8				Vedi Tabella 8	
<b>Legenda:</b> * = valori che superano gli SQA, ma inferiori ai valori di fondo della Tabella 8							

Le concentrazioni degli altri 2 metalli di Tabella 2/A (cadmio e piombo) non superano mai gli SQA ad eccezione del piombo nella stazione di Elba Sud (82 mg/kg s.s.) e Costa di Piombino (44 mg/kg s.s.) e per entrambe le stazioni sembra essere una tendenza all'aumento progressivo, come si vedrà meglio in seguito (par. 874). Il fatto che i fondali intorno all'Isola d'Elba e, in particolare, alle coste Sud orientali siano particolarmente ricchi di questi metalli, è stato accertato anche con lo Studio di ARPAT sui valori di fondo (DGRT 1273/2016), che ha definito per queste zone il valore di fondo più elevato dei sedimenti marini della Toscana. Probabilmente questo arricchimento, oltre ad un origine "naturale" in senso stretto

(composizione geochimica delle rocce), è stato determinato dall'intensa attività di estrazione di minerali del ferro, per i quali l'Elba è famosa dai tempi antichi. Oltre al piombo, anche molti altri metalli (arsenico, cadmio, cromo, nichel, ecc.) sono presenti in gran quantità sui fondali circostanti il Monte Calamita (già il nome ne indica la particolare natura) e di altri tratti delle coste elbane, come emerge anche dai risultati del monitoraggio marino.

Sempre in tema di metalli e, quindi, di elementi che possono presentare situazioni di fondo naturale superiori agli SQA, i sedimenti sono stati analizzati anche per quelli elencati nella Tabella 3/B per acquisire ulteriori elementi conoscitivi:

- l'arsenico ed il cromo totale risultano superiori agli SQA nella maggior parte delle stazioni (rispettivamente 13 e 15) ed ai valori di fondo, rispettivamente, in 1 (Elba Sud) e 4 stazioni (Marina di Carrara, Nettuno, Fiume Morto e Elba Sud);
- il cromo esavalente ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ ) non supera mai gli SQA.

Questa generalizzata presenza di quantità elevate di arsenico e cromo nei sedimenti marini della Toscana è una caratteristica consolidata da molti anni (almeno dal 2016) che non sembra legata né ad una particolare composizione granulometrica né ad una conformazione di alcuni tratti di costa, come testimoniano i ripetuti superamenti dei valori di fondo. Però, se per il cromo le concentrazioni sono sia elevate che variabili, forse anche per una natura granulare dei sedimenti contenenti questo metallo (cromiti), per l'arsenico spiccano le concentrazioni rilevate costantemente in Elba Sud ed a Piombino, forse entrambe collegate alle anomalie minerarie dell'Isola d'Elba orientale (vedi sopra).

Tra le altre sostanze ricercate, si deve sottolineare la presenza di alte concentrazioni, superiori all'SQA ( $0,4 \mu\text{g/kg}$  s.s.) di esaclorobenzene (HCB) nelle stazioni di Antignano (Costa livornese) e di Rosignano. Concentrazioni elevate ( $>\text{SQA}$ ) di questo analita erano già state registrate negli anni precedenti (dal 2016 in poi, con la sola eccezione del 2022 appena al di sotto dello SQA), con valori massimi ad Antignano e, leggermente inferiori, a Rosignano, analogamente a quanto si osserva per il mercurio, caratteristica che può far ipotizzare una possibile comune fonte di contaminazione nello scarico a mare dello stabilimento Solvay (vedi sopra). Inoltre, in entrambe le stazioni le concentrazioni di HCB sembrano avere un trend di aumento progressivo (par. 874).

Tutte le altre sostanze previste dalle Tabella 2/A, 3/A e 3/B (TBT, antracene, naftalene, aldrin,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -esaclorocicloesano, DDT, DDE e DDD, vari IPA, PCB e composti diossina-simili, ecc.), sono risultate inferiori agli standard ambientali e spesso al di sotto del limite di quantificazione ad eccezione della sommatoria T.E delle diossine, furani e PCB diossina simili nella stazione di Antignano ( $0,02 \mu\text{g/kg}$  rispetto ad un SQA di  $0,002 \mu\text{g/kg}$ ).



### 3. ANALISI DELLE TENDENZE IN SEDIMENTI E BIOTA

Data la disponibilità di dati di monitoraggio marino acquisiti secondo criteri ed indicazioni sostanzialmente stabili e uniformi da più di 10 anni, si può iniziare a fare una valutazione delle tendenze eventualmente mostrate dalle diverse sostanze inquinanti nelle principali matrici di indagine. In particolare, vista la caratteristica da parte di sedimenti e biota di integrare nel tempo i dati di concentrazione, con ambiti temporali diversi, sono state scelte queste due matrici per avviare questa valutazione, anche grazie al fatto che nel 2023 è stata pubblicata una linea guida nazionale per l'elaborazione dei dati di monitoraggio<sup>30</sup>. L'analisi delle tendenze è stata, quindi, effettuata valutando la significatività dell'andamento dei valori di concentrazione nel tempo mediante l'applicazione di un metodo statistico non parametrico (Mann-Kendall) con un livello di significatività stabilito al 90%.

Ai fini di una valutazione delle tendenze sono stati presi in considerazione solo alcuni metalli ed altri contaminanti che nel corso degli anni hanno mostrato delle criticità (>SQA) o che hanno avuto concentrazioni significative (>LOQ) e variabili.

#### 3.1 Sedimenti

Per i sedimenti sono stati elaborati i dati dal 2010 (ove disponibili) fino al 2023 relativi alle concentrazioni di arsenico, cadmio, cromo, mercurio, piombo, esaclorobenzene (HCB) e TBT, ma sono stati riportati (Tabella 39) solo quei parametri che hanno mostrato una tendenza significativa (a 1 e/o 2 code) per ciascuna stazione. Dall'analisi delle tendenze risulta:

- **Arsenico:** **trend positivo** per le stazioni Foce Bruna (Costa Punta Ala), Cala di Forno (Costa dell'Uccellina), Ansedonia (Costa di Burano) Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba); **trend negativo** per Foce Ombrone (Costa dell'Ombrone);
- **Cadmio:** un generale trend negativo in quasi tutti i corpi idrici toscani;
- **Cromo:** **trend positivo** per le stazioni di Marina di Castagneto (Costa del Cecina), Piombino (Costa di Piombino), Carbonifera (Costa di Follonica), Foce Bruna (Costa Punta Ala), Foce Albegna (Costa dell'Albegna), Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba); **trend negativo** per le stazioni di Montecristo e Capraia (Arcipelago Isole Minori);
- **Mercurio:** **trend positivo** per le stazioni di Rosignano Lillatro (Costa di Rosignano), Foce Albegna (Costa dell'Albegna) e Ansedonia (Costa di Burano); **trend negativo** per Fiume Morto (Costa pisana), Foce Bruna (Costa Punta Ala), Foce Ombrone (Costa dell'Ombrone), Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba), Montecristo e Capraia (Arcipelago Isole Minori);
- **Piombo:** **trend positivo** per Piombino (Costa di Piombino) e Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba); **trend negativo** per Montecristo e Capraia (Arcipelago Isole Minori);
- **TBT:** **trend negativo** per le stazioni di Marina di Carrara (Costa della Versilia), Nettuno (Costa del Serchio) e Carbonifera (Costa di Follonica);

<sup>30</sup> ISPRA, 2023, "Linee Guida per la valutazione della tendenza a lungo termine delle sostanze prioritarie che tendono ad accumularsi nei sedimenti e nel biota (Dlgs 172/2015)". Manuali e linee guida 205/2023

- **HCB: trend positivo** per le stazioni di Antignano (costa livornese), Rosignano (Costa di Rosignano), Piombino (Costa di Piombino), Foce Bruna (Costa Punta Ala), Porto Santo Stefano (Costa dell'Argentario); **trend negativo** per Foce Albegna (Costa dell'Albegna).

Tabella 39: tendenze con trend significativo a una coda e a due code dei contaminanti chimici nei sedimenti marini della Toscana tra 2010 e 2023

Stazione	Parametro	N	Periodo	S	Probabilità di accettazione 90%			Probabilità di accettazione 90%		
					MK	Test 1 coda	Trend 1 coda	Test 2 code	Trend 2 code	Trend
Marina di Carrara	Cadmio	11	2013-23	-23	0,043	95,7	Significativo	91,4	Significativo	-
	TBT	14	2010-23	-36	0,0275	97,3	Significativo	94,5	Significativo	-
Nettuno	TBT	14	2010-23	-26	0,0875	91,3	Significativo	82,5	Non significativo	-
Fiume Morto	Cadmio	11	2013-23	-21	0,06	94,0	Significativo	88,0	Non significativo	-
	Mercurio	11	2013-23	-18	0,0955	90,5	Significativo	80,9	Non significativo	-
Antignano	Cadmio	11	2013-23	-28	0,0165	98,4	Significativo	96,7	Significativo	-
	HCB	13	2011-23	30	0,038	96,2	Significativo	92,4	Significativo	+
Rosignano Lillatro	Cadmio	11	2013-23	-28	0,0165	98,4	Significativo	96,7	Significativo	-
	Mercurio	11	2013-23	23	0,043	95,7	Significativo	91,4	Significativo	+
	HCB	14	2010-23	29	0,063	93,7	Significativo	87,4	Non significativo	+
Marina di Castagneto	Cadmio	11	2013-23	-25	0,03	97,0	Significativo	94,0	Significativo	-
	Cromo	11	2013-23	19	0,082	91,8	Significativo	83,6	Non significativo	+
Promontorio di Piombino	Cadmio	11	2013-23	-24	0,0365	96,4	Significativo	92,7	Significativo	-
	Cromo	11	2013-23	23	0,043	95,7	Significativo	91,4	Significativo	+
	Piombo	11	2013-23	20	0,071	92,9	Significativo	85,8	Non significativo	+
	HCB	13	2011-23	33	0,025	97,5	Significativo	95,0	Significativo	+
Carbonifera	Cadmio	11	2013-23	-25	0,03	97,0	Significativo	94,0	Significativo	-
	Cromo	11	2013-23	26	0,025	97,5	Significativo	95,0	Significativo	+
	TBT	12	2011-23	-24	0,082	91,8	Significativo	83,6	Non significativo	-
Foce Bruna	Arsenico	11	2013-23	19	0,082	91,8	Significativo	83,6	Non significativo	+
	Cadmio	11	2013-23	-20	0,071	92,9	Significativo	85,8	Non significativo	-
	Cromo	11	2013-23	29	0,013	98,7	Significativo	97,4	Significativo	+
	Mercurio	11	2013-23	-23	0,043	95,7	Significativo	91,4	Significativo	-
	HCB	13	2011-23	24	0,082	91,8	Significativo	83,6	Non significativo	+
Foce Ombrone	Arsenico	11	2013-23	-23	0,043	95,7	Significativo	91,4	Significativo	-
	Cadmio	11	2013-23	-31	0,008	99,2	Significativo	98,4	Significativo	-
	Mercurio	10	2013-23	-18	0,066	93,4	Significativo	86,8	Non significativo	-
Cala di Forno	Arsenico	11	2013-23	29	0,013	98,7	Significativo	97,4	Significativo	+
	Cadmio	11	2013-23	-29	0,013	98,7	Significativo	97,4	Significativo	-
Foce Albegna	Cadmio	11	2013-23	-23	0,043	95,7	Significativo	91,4	Significativo	-
	Cromo	11	2013-23	34	0,004	99,6	Significativo	92,2	Significativo	+
	Mercurio	11	2013-23	26	0,025	97,5	Significativo	95,0	Significativo	+
	HCB	13	2011-23	24	0,082	91,8	Significativo	83,6	Non significativo	-
Porto S. Stefano	Cadmio	11	2013-23	-27	0,02	96,0	Significativo	98,0	Significativo	-
	Cromo	11	2013-23	27	0,02	96,0	Significativo	98,0	Significativo	+

Stazione	Parametro	N	Periodo	S	Probabilità di accettazione 90%			Probabilità di accettazione 90%		
					MK	Test 1 coda	Trend 1 coda	Test 2 code	Trend 2 code	Trend
	HCB	13	2011-23	25	0,073	92,7	Significativo	85,4	Non significativo	+
Ansedonia	Arsenico	11	2013-23	27	0,02	98,0	Significativo	96,0	Significativo	+
	Cadmio	11	2013-23	-21	0,06	94	Significativo	88,0	Non significativo	-
	Mercurio	11	2013-23	29	0,013	98,7	Significativo	97,4	Significativo	+
Elba Nord	Cadmio	11	2013-23	-30	0,0105	99,0	Significativo	97,9	Significativo	-
Elba Sud	arsenico	11	2013-23	35	0,003	99,7	Significativo	99,4	Significativo	+
	Cadmio	11	2013-23	-19	0,082	91,8	Significativo	83,6	Non significativo	-
	Cromo	11	2013-23	33	0,005	99,5	Significativo	99,0	Significativo	+
	Mercurio	11	2013-23	-18	0,0955	90,5	Significativo	80,9	Non significativo	-
	Piombo	11	2013-23	18	0,0955	90,5	Significativo	80,9	Non significativo	+
Giglio	Cadmio	10	2014-23	-19	0,054	94,6	Significativo	89,2	Non significativo	-
Montecristo	Cadmio	8	2013-22	-18	0,016	98,4	Significativo	96,8	Significativo	-
	Cromo	8	2013-22	-18	0,016	98,4	Significativo	96,8	Significativo	-
	Mercurio	8	2013-22	-14	0,054	94,6	Significativo	89,2	Non significativo	-
	Piombo	8	2013-22	-17	0,0235	97,7	Significativo	95,3	Significativo	-
Capraia	Cadmio	10	2013-23	-28	0,0065	99,4	Significativo	98,7	Significativo	-
	Cromo	10	2013-23	-17	0,078	92,2	Significativo	84,4	Non significativo	-
	Mercurio	10	2013-23	-18	0,066	93,4	Significativo	86,8	Non significativo	-
	Piombo	10	2013-23	-19	0,054	94,6	Significativo	89,2	Non significativo	-

Il fatto che, in particolare, il mercurio e l'esaclorobenzene siano in un trend positivo in alcuni corpi idrici, nei quali, come visto in precedenza (par. 71), hanno già spesso superato gli SQA nel corso degli ultimi anni nei sedimenti e/o nella colonna d'acqua, pone concreti interrogativi sulle cause di queste contaminazioni che sembrerebbero essere di natura antropica (sicuramente per HCB) e tutt'ora in atto.

### 3.2 Biota (pesci)

Sono stati presi in considerazione i dati relativi alle concentrazioni di esaclorobenzene (HCB), PBDE, mercurio e diossine e composti diossina simili (PCDF+PCDD+PCB-DL) in campioni di pesci a partire dal 2017 (anno di inizio di questo tipo di monitoraggio) fino al 2023 e sono stati riportati (Tabella 40) solo i casi in cui è stato evidenziato un trend significativo.

La maggior parte dei corpi idrici non presenta trend significativi anche a causa della ridotta quantità di dati, ma si evidenzia che:

- il mercurio ha un **trend positivo** in Costa dell'Uccellina e Arcipelago Isole Minori e un **trend negativo** per Costa del Cecina;
- il PBDE mostra un **trend negativo** in Costa pisana e Costa del Cecina;
- l'esaclorobenzene presenta un **trend negativo** in Costa della Versilia e Costa livornese;

- la sommatoria delle diossine e composti diossina simili mostra un **trend negativo** nei corpi idrici di Costa livornese, Costa di Rosignano e Costa dell'Argentario.

**Tabella 40: tendenze con trend significativo a una coda e a due code dei contaminanti chimici nel biota (pesci) delle acque marine costiere della Toscana tra 2017 e 2023**

Corpo idrico	Parametro	N	Periodo	S	Probabilità di accettazione 90%			Probabilità di accettazione 90%		
					MK	Test 1 coda	Trend 1 coda	Test 2 code	Trend 2 code	Trend
Costa della Versilia	HCB	6	2017-23	-12	0,018	98,2	Significativo	96,4	Significativo	-
Costa pisana	PBDE	6	2017-23	-9	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	-
Costa livornese	HCB	6	2017-23	-9	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	-
	PCDD, PCDF, PCB-DL	6	2017-23	-9	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	-
Rosignano Lillatro	PCDD, PCDF, PCB-DL	6	2017-23	-9	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	-
Costa del Cecina	PBDE	6	2017-23	-9	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	-
	Mercurio	7	2017-23	-11	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	-
Costa dell'Uccellina	Mercurio	6	2017-23	9	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	+
Costa dell'Argentario	PCDD, PCDF, PCB-DL	6	2018-23	-9	0,068	93,2	Significativo	86,4	Non significativo	-
Arcipelago Isole minori	Mercurio	5	2017-23	8	0,042	95,8	Significativo	91,6	Significativo	+

## 4. CONCLUSIONI

Come detto in apertura, la classificazione dello stato ecologico e chimico dei corpi idrici marino costieri può essere fatta solo al termine di un triennio di monitoraggio, dato che alcuni degli elementi di qualità biologica (macrofite, angiosperme e macrozoobenthos) devono essere controllati solo con questa frequenza (1 volta ogni 3 anni) in ciascun corpo idrico e che altri (biomassa fitoplanctonica) devono essere elaborati con i dati di 3 anni (medie), così come i parametri chimici della colonna d'acqua (stato chimico).

Il 2023 è il secondo anno del nuovo triennio di monitoraggio 2022-24 e, quindi, può solo fornire alcune indicazioni (dati parziali) circa lo stato chimico e lo sviluppo del fitoplancton nella totalità dei corpi idrici e degli altri EQB nei pochi monitorati.

Con queste premesse, si può provare a fornire un primo quadro sintetico dei principali risultati emersi nel biennio 2022-2023, confrontandoli, laddove possibile, con quelli dei trienni precedenti (2016-18 e 2019-21), per meglio comprendere eventuali tendenze.

Sia per lo stato ecologico che per quello chimico vale il principio di classificazione "One Out - All Out", secondo il quale lo stato ecologico è determinato dal più basso dei giudizi riscontrati per i singoli EQB ed è sufficiente il superamento dello SQA di una sola sostanza per non raggiungere il buono stato chimico. Lo stato di qualità ambientale "buono" (obiettivo da raggiungere ai sensi del D.Lgs. 152/2006 per tutti i corpi idrici) si raggiunge solo se entrambi i profili, ecologico e chimico, sono in stato buono.

### 4.1 Stato ecologico provvisorio

Come abbiamo visto, nel 2023 il solo EQB monitorato in tutte le 19 stazioni distribuite nei 16 corpi idrici toscani è stata la biomassa fitoplanctonica, mentre per gli altri la copertura territoriale è stata parziale con circa un terzo dei corpi idrici, senza che in nessuno dei 16 corpi idrici sia stato completato il monitoraggio di tutti i 4 EQB.

Riassumendo i risultati emersi per i singoli **elementi di qualità biologica** per il biennio 2022 - 2023 (Tabella 41), possiamo evidenziare quanto segue:

- la biomassa fitoplanctonica (vedi par. 56) risulta in stato elevato in tutti i corpi idrici ad eccezione di Costa del Serchio (sufficiente nel 2022 e buono nel 2023), nel quale è in progressivo aumento (1,4 mg/m<sup>3</sup> Chl-a nel triennio 2016-18; 1,6 mg/m<sup>3</sup> Chl-a nel triennio 2019-21; 1,7mg/m<sup>3</sup> Chl-a nel biennio 2022-2023), probabilmente, a causa degli apporti del canale Burlamacca (emissario del Lago di Massaciuccoli);
- per i popolamenti a macrozoobenthos (vedi par. 35) l'indice M-AMBI, nel biennio 2022-2023, classifica 7 corpi idrici in stato elevato (Costa del Cecina, Piombino, Follonica, di Punta Ala, dell'Ombro, dell'Uccellina e dell'Argentario), 2 in buono (Costa dell'Albegna e di Burano) e 1 (Arcipelago isole Minori) in sufficiente, ma quest'ultimo dato non deve essere considerato per lo stato ecologico;



- la classificazione ecologica delle macroalghe della fascia intertidale (vedi par. 38) sulla base dell'indice CARLIT risulta essere elevata nelle 3 stazioni di Giglio, Capraia e Montecristo (Arcipelago - Isole minori) monitorate nel 2022 e buona nelle 2 stazioni dell'Isola d'Elba (Elba Nord e Elba Sud) esaminate nel 2023, confermando quanto già rilevato nei trienni precedenti;
- tra le praterie di *Posidonia oceanica* indagate nel biennio 2022-2023 (vedi par. 40), i corpi idrici di Costa dell'Argentario, Costa di Burano, Arcipelago Isola d'Elba e Arcipelago Isole minori sono in stato ecologico buono, mentre Costa dell'Albegna è sufficiente; tali dati confermano quanto già rilevato sia nel 2016-18 che nel 2019-21, fatta eccezione per Costa dell'Argentario che era sempre stata classificata in stato ecologico elevato.

Sottoponendo queste valutazioni alla verifica (Fase I) con gli elementi chimico fisici a sostegno (vedi par. 60), lo stato ecologico verrebbe confermato per tutti i corpi idrici compreso Costa del Serchio, dove il valore medio dell'indice trofico TRIX (4,8) conferma lo stato sufficiente già evidenziato per la biomassa fitoplanctonica.

**Tabella 41: classificazione provvisoria dello stato ecologico delle acque marino costiere toscane: 2022-2023**

Corpo Idrico	Elementi di qualità biologica				Stato ecologico provvisorio			
	Chl-a 2022-23	M-AMBI	CARLIT	PREI	Su EQB	Fase I TRIX (2022-23)	Fase II	Finale
Costa della Versilia	0,9	§	NP	NP	Elevato	3,7	Elevato	Elevato
Costa del Serchio	1,7	§	NP	NP	Buono	4,8	Elevato	Sufficiente
Costa pisana	0,8	§	NP	NP	Elevato	3,8	Elevato	Elevato
Costa livornese	0,5	§	§	§	Elevato	3,6	Elevato	Elevato
Costa di Rosignano	0,4	§	NP	§	Elevato	3,6	Elevato	Elevato
Costa del Cecina	0,4	0,82 <sup>#</sup>	NP	NP	Elevato	3,6	Elevato	Elevato
Costa di Piombino	0,4	0,95 <sup>#</sup>	§	§	Elevato	3,5	Elevato	Elevato
Costa di Follonica	0,3	0,92 <sup>#</sup>	NP	§	Elevato	3,3	Elevato	Elevato
Costa Punta Ala	0,6	0,83 <sup>*</sup>	NP	NP	Elevato	3,5	Elevato	Elevato
Costa dell'Ombrone	0,5	0,81 <sup>*</sup>	NP	NP	Elevato	3,8	Elevato	Elevato
Costa dell'Uccelina	0,5	0,93 <sup>*</sup>	§	NP	Elevato	3,5	Elevato	Elevato
Costa dell'Albegna	0,5	0,73 <sup>*</sup>	NP	0,479 <sup>#</sup>	Sufficiente	3,4	Elevato	Sufficiente
Costa dell'Argentario	0,6	0,88 <sup>*</sup>	§	0,704 <sup>*</sup>	Buono	3,6	Elevato	Buono
Costa di Burano	0,8	0,80 <sup>*</sup>	§	0,558 <sup>#</sup>	Buono	3,7	Elevato	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	0,3	§	0,70	0,691	Buono	3,1	Elevato	Buono
Arcipelago Isole Minori	0,2	(0,51) <sup>31#</sup>	0,97	0,712	Buono	3,0	Elevato	Buono

**Legenda:**

\* campionamenti del 2022; #campionamenti del 2023

§ = campionamenti previsti nel 2024; NP = EQB non previsto in questo corpo idrico

Le concentrazioni degli inquinanti non prioritari (vedi par. 64) nelle acque, invece, non modificano i giudizi già acquisiti sullo stato ecologico (Fase II) perché sono tutte inferiori agli standard di qualità ambientale e spesso anche del limite di quantificazione.

In definitiva, quindi, lo stato ecologico provvisorio, sulla base dei dati raccolti nel biennio 2022-2023, mostrerebbe:

- il **63%** (10) dei corpi idrici toscani in qualità **elevata**;
- il **25%** (4) in qualità **buona**;
- il **12%** (2) in classe **sufficiente**.

Se queste valutazioni venissero confermate alla fine del triennio 2022-24, la classificazione complessiva dello stato ecologico sarebbe leggermente migliorata rispetto ai trienni precedenti, quando la maggioranza delle acque marine della Toscana era in qualità buona (56% nel 2016-18 e 63% nel 2019-21) e il 12% era sufficiente.

## 4.2 Stato chimico provvisorio

Per quanto riguarda le sostanze presenti nella **colonna d'acqua** (vedi par. 65), possiamo dare una prima valutazione dello stato chimico (Tabella 42) nel biennio 2022- 2023 sulla base dei superamenti rispetto agli SQA:

- nel caso dei metalli, il mercurio risulta superiore alla concentrazione massima ammissibile (>SQA-CMA) in 3 casi (Giglio nel 2022, Rosignano ed Elba Nord nel 2023), mentre il nicel risulta superiore alla media annuale (>SQA-MA) in 4 corpi idrici (Costa livornese, Costa dell'Uccellina, Costa dell'Argentario e Arcipelago Isole Minori), in 2 dei quali (Costa livornese e Costa dell'Argentario) sono stati rilevati superamenti della SQA-CMA;
- in Costa del Serchio sono state rilevate concentrazioni di TBT superiori alla media annuale (SQA-MA) nel 2022 e nel 2023;
- in costa Pisana e Costa del Serchio le concentrazioni di benzo[ghi]perilene nel 2022 risultano eccedere la concentrazione massima (SQA-CMA);
- a Carbonifera (Costa di Follonica) il benzo[a]pirene supera lo SQA-MA ed altri 3 IPA (benzo[k]fluorantene, benzo[b]fluorantene e benzo[ghi]pirilene) in uno stesso campione (26 luglio) risultano eccedere la concentrazione massima (SQA-CMA) nel 2022;
- tutte le altre sostanze dell'elenco di priorità risultano inferiori agli standard ambientali e spesso del limite di quantificazione.

Sulla base della sola matrice acqua nel biennio 2022-2023, il 44% dei corpi idrici (7) della Toscana risulta essere in uno stato chimico buono ed il 56% (9) non buono.

I dati rilevati nel **biota**, come detto (vedi par. 69), indicano alte concentrazioni (>SQA-CMA) di mercurio e PBDE in quasi tutte le stazioni, mentre per Costa del Cecina risulta anche il superamento del DDT e l'esaclorobenzene (HCB) in Costa di Follonica e Costa dell'Albegna.

In definitiva, integrando i risultati ottenuti dal monitoraggio delle acque e del biota (Tabella 42), nei 2 anni monitorati il 94% dei corpi idrici della Toscana (15 su 16) non raggiunge lo stato

chimico buono nel biennio 2022-2023, ma la sola eccezione (Foce Ombrone) è dovuta alla mancanza di campioni di biota sia nel 2022 che nel 2023.

**Tabella 42: sostanze superiori a SQA e stato chimico provvisorio dei corpi idrici costieri della Toscana nel 2022- 2023**

Corpo idrico	Sostanze superiori a SQA				Stato chimico provvisorio
	Acqua		Biota		
	>SQA-MA	>SQA-CMA	Molluschi	Pesci	
Costa della Versilia	-	-	NP	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Costa del Serchio	TBT (2022 e 2023	Benzo[g,h,i]perilene (2022)	-	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Costa pisana	-	Benzo[g,h,i]perilene (2022)	-	Mercurio (2022), PBDE (2022 e 2023)	Non buono
Costa livornese	Nichel (2023)	Nichel (2023)	c.n.e.	PBDE (2023)	Non buono
Costa di Rosignano		Mercurio (2023)	c.n.e.	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Costa del Cecina	-	-	NP	Mercurio, PBDE e DDT (2023)	Non buono
Costa di Piombino	-	-	c.n.e.	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Costa di Follonica	Benzo[a]pirene (2022)	Benzo[b]fluorantene (2022), Benzo[k]fluorantene (2022), Benzo[g,h,i]perilene (2022)	-	Mercurio, PBDE e HCB (2023)	Non buono
Costa Punta Ala	-	-	NP	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Costa dell'Ombrone	-	-	NP	c.n.e	
Costa dell'Uccellina	Nichel (2023)	-	NP	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Costa dell'Albegna	-	-	NP	Mercurio, PBDE e HCB (2023)	Non buono
Costa dell'Argentario	Nichel (2023)	Nichel (2023)	-	Mercurio e PBDE (2022 e 2023),	Non buono
Costa di Burano	-	-	NP	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Arcipelago Isola d'Elba	-	Mercurio (2023)	c.n.e.	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
Arcipelago Isole Minori	Nichel (2023)	Mercurio (2022)	c.n.e.	Mercurio e PBDE (2023)	Non buono
<b>Legenda:</b> a.n.e. = analisi non effettuata; c.n.e = campione non effettuato; NP = monitoraggio non previsto in questo corpo idrico					

Pur non essendo stata considerata ai fini dello stato chimico dei corpi idrici costieri, l'analisi dei **sedimenti** (vedi par. 71) è interessante perché, oltre a fornire indicazioni sulla situazione attuale, può essere utilizzata per valutare l'andamento nel tempo dei contaminanti persistenti (o che tendono a restare insolubili). I sedimenti, infatti, sono la destinazione finale in cui si

accumulano queste sostanze (e si stratificano in base al tempo e ai tassi di sedimentazione) ed in Toscana si controllano le concentrazioni di molte di queste da oltre 20 anni.

Fermo restando che con uno specifico studio del 2015 (vedi par. 25) ARPAT ha identificato una serie di anomalie geochimiche lungo la costa toscana, nel 2023 sono state confermate alcune situazioni di concentrazioni eccedenti questi livelli e di probabile origine antropica:

- le stazioni di Antignano (Costa livornese) e di Rosignano presentano valori ampiamente superiori a quelli di fondo naturale per il mercurio, determinati, probabilmente, dagli apporti storici dello scarico generale dello stabilimento Solvay<sup>29</sup>;
- arsenico e cromo risultano presenti in concentrazioni elevate nei sedimenti marini della maggior parte dei corpi idrici della Toscana, come osservato da almeno 10 anni, senza una precisa spiegazione, ad eccezione, forse, dell'arsenico nei sedimenti di Elba Sud e di Piombino, questione probabilmente legata alle anomalie minerarie dell'Isola d'Elba orientale.

Tra le sostanze di sintesi, nel 2022 oltre ad un leggero superamento dello SQA per il dieldrin a Piombino, si deve sottolineare la particolare distribuzione dell'esaclorobenzene (HCB), che nel 2023 supera lo standard di qualità ambientale nelle stazioni di Antignano (Costa livornese) e Rosignano (Costa di Rosignano), come accaduto quasi sempre dal 2016, con forti analogie alla distribuzione del mercurio e, quindi, con una probabile origine comune.

La presenza di mercurio in quantità significative e spesso superiori agli SQA nelle diverse matrici controllate (acqua, pesci e sedimenti) è una caratteristica di molta parte dei corpi idrici costieri della Toscana, ma diventa una costante in Costa di Rosignano per la presenza storica dello scarico generale dello stabilimento Solvay, con una tendenza all'aumento nei sedimenti tra 2013 e 2023 ed accoppiato spesso a concentrazioni elevate di esaclorobenzene.

## 5. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riportano i riferimenti alla normativa citata nella presente Relazione ed ordinata per tipologia (comunitaria, nazionale e regionale) e data di emanazione (decrescente)

2018/229/UE	Decisione (UE) 2018/229 della Commissione del 12 febbraio 2018 <i>“che istituisce, a norma della direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, i valori delle classificazioni dei sistemi di monitoraggio degli Stati membri risultanti dall’esercizio di intercalibrazione e che abroga la decisione 2013/480/UE della Commissione”</i>
2013/39/UE	Direttiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 agosto 2013 <i>“che modifica le direttive 2000/60/CE e 2008/105/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque”</i>
2008/105/UE	Direttiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 <i>“relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive del Consiglio 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE e 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio”</i>
D.Lgs. 172/2015	Decreto Legislativo 13 ottobre 2015 n. 172 <i>“attuazione della direttiva 2013/39/UE, che modifica le direttive 2000/60/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque”</i>
D.M. 260/2010	Decreto 8 novembre 2010 n. 260 <i>“Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del D.Lgs. 152/06, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell’articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo”</i> .
D.M. 56/2009	Decreto Ministeriale 14 aprile 2009 n. 56 <i>“Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del D.Lgs. 152/06, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell’articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo”</i> .
D.M. 131/2008	Decreto Ministeriale 16 giugno 2008 n. 131 <i>“Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni) per la modifica delle norme tecniche del D.Lgs. 152/06, recante: “Norme in materia ambientale”, predisposto ai sensi dell’articolo 75, comma 4, dello stesso decreto”</i> .
D.Lgs. 152/2006	Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 <i>“Norme in materia ambientale”- Parte Terza “Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione delle risorse idriche”</i>
DGRT 264/2018	Delibera della Giunta Regionale della Toscana n. 264 del 20 marzo 2018 <i>“D.Lgs. n. 152/2006 e 172/2015. Aggiornamento dei corpi idrici marino-costieri della Toscana e adozione dei nuovi valori di fondo in acqua e sedimenti. Integrazione dell’allegato “C” alla DGRT n. 608/2015 e sostituzione dell’allegato “A” alla DGRT n. 1273/2016”</i>
DGRT 1273/2016	Delibera della Giunta Regionale della Toscana n. 1273 del 12 dicembre 2016 <i>“Determinazione dei valori di fondo naturali per lo stato chimico ed ecologico delle acque marino costiere e modifica del codice regionale dei corpi idrici marino costieri”</i>
DGRT 608/2015	Delibera della Giunta Regionale della Toscana n. 608 del 18 maggio 2015 <i>“Monitoraggio dei corpi idrici marino costieri della Toscana – modifiche e integrazioni alla DGR n. 550/14”</i>



DGRT 550/2014	Delibera della Giunta Regionale della Toscana n.550 del 7 luglio 2014 <i>“Attuazione D.L.gs 152/2006 e D.Lgs. 30/2009. Monitoraggio dei corpi idrici marino costieri della Toscana. Modifiche ed integrazioni alla delibera di Giunta n. 939/2009 e n. 100/2010”</i>
DGRT 100/2010	Delibera della Giunta Regionale della Toscana n. 100 del 8 febbraio 2010 <i>“Rete di Monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee della Toscana in attuazione delle disposizioni di cui al D. Lgs. 152/06 e del D.Lgs. 30/09”</i>