



ARPAT
Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

REGIONE
TOSCANA



Acque marino costiere
della Toscana.
Monitoraggio 2022
e proposta di
classificazione
provvisoria





Acque marino costiere
della Toscana.
Monitoraggio 2022
e proposta di
classificazione
provvisoria

Firenze, 2023

Acque marino costiere della Toscana. Monitoraggio 2022 e proposta di classificazione provvisoria

Autori:

Antonio Melley - ARPAT, Direzione tecnica -Settore Indirizzo tecnico delle attività

Daniela Verniani - ARPAT, Area Vasta Costa - Settore Mare

Esperti su singole tematiche

- Fitoplancton: Daniela Verniani - ARPAT, Area Vasta Costa - Settore Mare
- Macrozoobenthos: Ornella Bresciani, Giulio Busoni, Arcangela Pavia - ARPAT, Laboratorio Area Vasta Costa - Biologia
- *Posidonia oceanica*: Cecilia Mancusi - ARPAT, Area Vasta Costa - Settore Mare
- Macroalghe: Enrico Cecchi, Michela Ria - ARPAT, Area Vasta Costa - Settore Mare

Si ringrazia tutto il personale del Settore Mare, che ha effettuato i sopralluoghi e i campionamenti previsti dal programma di monitoraggio delle acque marino costiere della Toscana, e quello dei Laboratori dell'Area Vasta Costa e Area Vasta Centro, che ha effettuato tutte le analisi necessarie

Editing e copertina:

ARPAT, Settore Comunicazione, informazione e documentazione

Immagine di copertina: ARPAT



ARPAT 2023

Indice

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.....	16
1.3.5 Elementi chimico fisici a sostegno (Fase I).....	19
1.3.6 Inquinanti chimici non prioritari (Fase II).....	20
1.4 Stato chimico.....	21
1.5 Struttura della rete di Monitoraggio.....	27
2. Risultati e Classificazione.....	31
2.1 Stato ecologico.....	31
2.1.1 I macroinvertebrati bentonici.....	31
2.1.2 Macroalghe.....	33
2.1.3 <i>Posidonia oceanica</i> (angiosperme).....	35
2.1.4 I popolamenti fitoplanctonici.....	38
2.1.5 La biomassa fitoplanctonica.....	43
2.1.6 Prima definizione dello stato ecologico.....	46
2.1.7 Elementi di qualità fisico – chimica a sostegno e idromorfologici - Fase I.....	47
2.1.7.1 Temperatura, salinità e ossigeno disciolto.....	48
2.1.7.2 Nutrienti.....	50
2.1.7.3 Indice Trofico TRIX.....	52
2.1.8 Elementi chimici a sostegno – Fase II.....	53
2.2 Stato chimico.....	54
2.2.1 Stato chimico nelle acque costiere.....	54
2.2.1.1 Mercurio e altri metalli.....	54
2.2.1.2 TBT, IPA e altre sostanze prioritarie.....	55
2.2.2 Stato chimico nel biota.....	57
2.2.2.1 Molluschi.....	57
2.2.2.2 Pesci.....	58

2.3 Sedimenti.....	59
3. Conclusioni.....	63
3.1 Stato ecologico provvisorio.....	63
3.2 Stato chimico provvisorio.....	65
4. Normativa di riferimento.....	68

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 2022 (primo anno del triennio 2022-24) può solo fornire alcune indicazioni provvisorie.

Lo **Stato ecologico** descrive la qualità delle acque integrando le informazioni provenienti dagli Elementi di Qualità Biologica (biomassa fitoplanctonica, macroalghe, *Posidonia oceanica* e macrozoobenthos) con quelle ottenute dagli elementi chimico-fisici a sostegno (indice trofico TRIX) e dalle sostanze chimiche non prioritarie nelle acque (tabella 1/B D.Lgs. 172/2015). Nel 2022 solo la biomassa fitoplanctonica è stata monitorata in tutti i 16 corpi idrici toscani, mentre gli altri EQB hanno avuto una copertura di non più di un terzo, e in nessun corpo idrico sono stati monitorati tutti i 4 EQB.

Lo stato ecologico provvisorio, sulla base dei dati raccolti nel 2022, mostrerebbe:

- il **69%** (11) dei corpi idrici toscani in qualità **elevata**;
- il **25%** (4) in qualità **buona**, a causa di 2 popolamenti di macroinvertebrati bentonici (Costa dell'Albegna e di Burano) e di 3 praterie di posidonia (Costa dell'Argentario e le 2 dell'Isola d'Elba) in non perfetto stato di conservazione;
- il corpo idrico Costa del Serchio (**6%**) in classe **sufficiente** a causa di una stato trofico elevato (biomassa fitoplanctonica e indice TRIX).

Stato ecologico ELEVATO	Stato ecologico BUONO	Stato ecologico SUFFICIENTE
69%	25%	6%

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

Lo **Stato chimico** descrive la qualità dei corpi idrici in base alla presenza di sostanze chimiche nelle acque e nel biota (tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015), distinguendo tra “Buono” e “Mancato conseguimento dello stato buono”. Nel 2022 il monitoraggio chimico nella colonna d'acqua è stato effettuato su tutti i corpi idrici, mentre la matrice biota (pesci e molluschi) è stata analizzata in un numero assolutamente insufficiente.

Una prima valutazione dello stato chimico (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, solo il mercurio, in modo abbastanza inspiegabile, risulta superiore a SQA-CMA in 1 campione al Giglio (Arcipelago Isole Minori);
- in Costa del Serchio sono state rilevate concentrazioni di TBT superiori SQA-MA e di benzo[ghi]perilene >SQA-CMA, come in Costa Pisana per quest'ultima sostanza;

- a Carbonifera (Costa Follonica) il benzo[a]pirene supera lo SQA-MA ed altri 3 IPA (benzo[k]fluorantene, benzo[b]fluorantene e benzo[ghi]perilene) in uno stesso campione (26 luglio) risultano eccedere la concentrazione massima (SQA-CMA);
- 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**, il **75% dei corpi idrici** (12) della Toscana risulta essere in uno **stato chimico buono**.

I dati rilevati nel biota, come detto, sono assolutamente insufficienti per poter dare un giudizio complessivo e attendibile, ma se, da un lato, i 3 campioni analizzati (su 9 teorici) di molluschi non aggiungono alcun elemento di criticità, i 3 campioni di **pesci** (su 16 previsti) sono risultati tutti con concentrazioni di mercurio e difenileteri bromurati (PBDE) superiori agli SQA, determinando il **peggioramento** dello stato chimico di **altri 2 corpi idrici** (Costa Argentario e Arcipelago Isola d'Elba).

In definitiva, integrando i risultati ottenuti dal monitoraggio delle acque e del biota, **nel 2022 il 63% dei corpi idrici della Toscana risulta essere in uno stato chimico buono**.



Per quanto in Toscana i **sedimenti** non vengano usati per la definizione dello stato chimico, anche nel 2022 si è continuato a monitorare le concentrazioni di tutte le sostanze (tabella 2/A, 3/A e 3/B del D.Lgs. 172/2015) in questa matrice. Si è così avuto conferma dei valori ampiamente superiori a quelli di fondo naturale per il **mercurio** ad Antignano (Costa Livornese) e Rosignano, determinati, con ogni probabilità, dagli apporti dello scarico generale dello stabilimento Solvay nel corso del tempo. Inoltre, **arsenico e cromo** risultano in concentrazioni elevate nei sedimenti della maggior parte dei corpi idrici della Toscana, come osservato da almeno 10 anni, mentre nel 2022 l'**esaclorobenzene** supera lo SQA nei sedimenti di Elba Sud e Giglio, ma non ad Antignano e Rosignano, che dal 2016 al 2021 avevano fatto registrare i valori massimi.

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, sia dal punto di vista ambientale che 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 e degli impatti provocati dalle attività umane, nonché 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

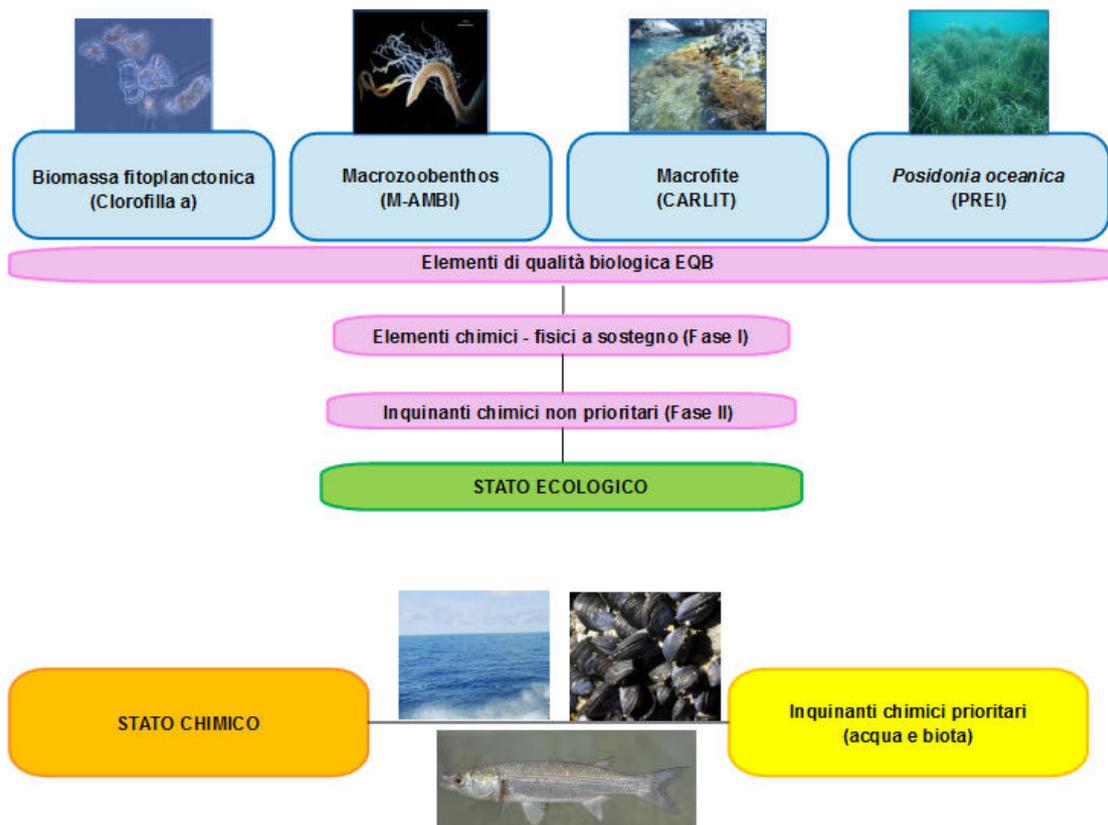
dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento e, nell'Allegato 1, le modalità per il monitoraggio dei corpi idrici, individuando gli elementi qualitativi per la classificazione. Con il successivo D.M. 260/2010 sono stati stabiliti i criteri tecnici per la classificazione dello 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 marine 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) e 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, costituita 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 m³).

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. 1.3.5), 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 state 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 tassonomica¹, 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, ecc.) o singole classi (Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Rhaphidophyceae, Xantophyceae, Coccolithophyceae, Euglenophyceae) e ordini (Ebridia, ecc.) 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.

¹ Per la tassonomia del fitoplancton si fa riferimento a quanto riportato nel sito www.algaebase.ORG

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).

Tabella 1 - Limiti di classe per l'EQB Fitoplancton nei corpi idrici costieri di macrotipo 3 (valore di riferimento 0,9 mg/m³ di chl-a) e relativo Stato Ecologico

Biomassa fitoplanctonica (mg/m ³ 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 e 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 e il riciclo degli elementi. Infine, la maggior parte delle specie bentoniche vive all'interno della sabbia e 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, i 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 m²), di 3 campioni (repliche). Il sedimento viene, quindi, sottoposto ad analisi granulometrica² 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, con raccolta 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).

Per i macroinvertebrati bentonici si applica l'Indice M-AMBI, una evoluzione dell'indice AMBI integrato con l'Indice di diversità di Shannon-Wiener e il numero di specie (S), elaborando le

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)

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
≥ 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 a 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. trochanter e <i>Dendropoma</i> ³)	20
Conpopolamenti a <i>Cystoseira</i>	<i>C. brachycarpa/ crinita/ elegans</i>	Popolamenti a <i>C. brachycarpa/crinita/elegans</i>	20
	Cystoseira in zone riparate	Popolamenti a <i>C. barbata/foniculacea/humilis/spinosa</i>	20
	<i>C. amentacea/mediterranea 5</i>	Cinture continue a <i>C. amentacea/mediterranea</i>	20
	<i>C. amentacea/mediterranea 4</i>	Cinture quasi continue a <i>C. amentacea/mediterranea</i>	19
	<i>C. amentacea/mediterranea 3</i>	Popolamenti abbondanti a <i>C. amentacea/mediterranea</i>	15
	<i>C. amentacea/mediterranea 2</i>	Popolamenti scarsi a <i>C. amentacea/mediterranea</i>	12
	Cystoseira compressa	Popolamenti a <i>C. compressa</i>	12
<i>Cystoseira amentacea/mediterranea 1</i>		Rare piante isolate di <i>C. amentacea/mediterranea</i> ⁴	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 Cyanobatteria 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 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.

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)

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); le specie appartenenti al genere *Cystoseira* sono infatti 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 quali *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, 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, 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 sua notevole sensibilità ad ogni perturbazione naturale o artificiale in atto nell'ambiente la rende la posidonia un ottimo indicatore biologico per determinare le 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, in ogni stazione su un fondale di 15 m, vengano definite 3 aree (400 m² circa ciascuna, distanziate di 10 m tra loro), in ciascuna delle quali si effettuano:

- misure di densità dei fasci fogliari;
- prelievi di fasci ortotropi;
- campionamento del sedimento per l'analisi granulometrica²;
- stime di ricoprimento, tipo di substrato, continuità della prateria, % matte morta;
- valutazione sulla presenza (%) di *Caulerpa racemosa*, *C. taxifolia* e *Cymodocea nodosa*;

- misure (opzionali) di intensità della luce e della temperatura;
- prelievo (opzionale) di 6 fasci nel limite inferiore per analisi di lepidocronologia.

Inoltre, in corrispondenza del limite inferiore vengono effettuati transetti orizzontali, allo scopo di rilevarne densità, profondità e tipologia.

Come per il macrozoobenthos e le macrofite, la cadenza di questo campionamento è triennale ed il giudizio di qualità ecologica per la prateria a *Posidonia oceanica* è calcolato mediante l'indice PREI (Posidonia Rapid Easy Index), che integra gli effetti di differenti impatti delle attività antropiche (immissioni di inquinanti nelle acque e/o nei sedimenti, alterazioni fisico-morfologiche del tratto costiero, ecc.). L'indice viene calcolato elaborando i dati relativi a densità fogliare per fascio, biomassa degli epifiti, biomassa fogliare e profondità del limite inferiore della prateria, 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).

La modalità di calcolo dell'indice PREI prevede l'applicazione della seguente equazione:

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

dove

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

dove

- $N_{\text{densità}}$ = rapporto tra il valore misurato e quello di riferimento della densità fogliare;
- $N_{\text{superficie fogliare}}$ = rapporto tra valore misurato e quello di riferimento della superficie fogliare;
- $N_{\text{biomasse}} = [1 - (\text{biomassa epifiti} / \text{biomassa fogliare})] * 0,5$;
- $N_{\text{limite inferiore}}$ = rapporto tra la profondità misurata del limite inferiore, alla quale va aggiunto il valore lambda (λ) 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

$$\text{inferiore indicativa di cattive condizioni (12 m), cioè} = \frac{\text{profondità misurata} + \lambda - 1}{\text{profondità di riferimento} - 12}$$

Il risultato finale dell'Indice 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 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. 1.3.1) 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 (azoto totale, azoto ammoniacale, nitriti e nitrati), fosforate (fosforo totale e ortofosfati) e silicati, che servono per lo sviluppo della biomassa fitoplanctonica.

Le sorgenti di **azoto** in ambiente marino sono principalmente individuate nell'agricoltura, nel comparto zootecnico, negli scarichi civili e industriali, oltre che nel dilavamento dei terreni determinato dalle precipitazioni atmosferiche. Le componenti azotate ricercate sono l'azoto totale (N-tot) e le sue forme inorganiche disciolte dell'azoto nitroso o nitriti (N-NO₂), nitrico o nitrati (N-NO₃) e ammoniacale (N-NH₃), la cui somma (DIN = Dissolved Inorganic Nitrogen), viene utilizzata nel calcolo dell'indice trofico TRIX.

La presenza del **fosforo** in mare può essere dovuta ad attività di tipo antropico (industrie conserviere, mangimifici, allevamenti di animali, ecc.) e fenomeni naturali (dilavamento del suolo); come fosforo totale (P-tot) è un indicatore della presenza di particolato organico di origine detritica o fitoplanctonica, mentre come ortofosfato (P-PO₄) è la componente direttamente assimilabile da parte del fitoplancton, utilizzato nel calcolo dell'indice trofico TRIX.

Al fine di misurare il livello trofico degli ambienti marino costieri e per segnalare eventuali scostamenti significativi di trofia in aree naturalmente a basso livello trofico, viene utilizzato **l'indice trofico TRIX** una combinazione di ossigeno in saturazione, clorofilla *a* e nutrienti, la cui formula è riportata di seguito.

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

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.

1.3.6 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 6), 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.

Tabella 6 - 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			

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 \leq LOQ ;
- stato buono = media annuale minore o uguale a SQA;
- stato sufficiente = media annuale superiore a SQA.

1.4 Stato chimico

Dato che, come visto (par. 1.1) 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. 1.3.6), 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 sedimenti⁵.

Tabella 7 - Valori di fondo naturali nelle acque costiere della Toscana (da All. B alla DGRT 264/2018)

Stazione ⁶	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

⁵ Punto 7 del paragrafo A.2.8 dell'Allegato 1 alla parte III del D.Lgs. 152/2006

⁶ Per l'ubicazione delle stazioni e del relativo corpo idrico costiero vedi par. 1.5

Stazione	Acque (µg/L)		Sedimenti (mg/kg s.s.)					
	Cadmio	Mercurio	Arsenico	Cadmio	Cromo	Mercurio	Nichel	Piombo
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

I risultati dello “Studio per la definizione dei Valori di Fondo naturale nei sedimenti e nelle acque marino costiere”⁷ 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 7).

Nella tabella 8 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 8 - Inquinanti chimici monitorati nella matrice acqua dei corpi idrici costieri della Toscana

N.	Sostanza ⁸	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
9	Clorpirifos -Clorpirifos etile (P)	2921-88-2	26	Pentaclorobenzene (PP)	608-93-5
9 bis	Aldrin (E)	309-00-2	27	Pentaclorofenolo (P)	87-86-5
	Dieldrin (E)	60-57-1	28	Benzo(a)pirene (PP)	50-32-8
	Endrin (E)	72-20-8		Benzo(b)fluorantene (PP)	205-99-2
	Isodrin (E)	465-73-6		Benzo(k)fluorantene (PP)	207-08-09
		Benzo(g,h,i)perilene (PP)		191-24-2	
9 ter	DDT totale (E)	n.a		Indeno(1,2,3- cd)pirene (PP)	193-39-5
	p,p'-DDT (P)	50-29-3	29	Simazina (P)	122-34-9
10	1,2-Dicloroetano (P)	107-06-2	29 bis	Tetracloroetilene (E)	127-18-4
11	Diclorometano (P)	75-09-2	29 ter	Tricloroetilene (E)	79-01-6
12	Di(2-etilesil)ftalato - DEHP (P)	117-81-7	30	Tributilstagno (composti) (tributilstagnocazione)	36643-28-4
13	Diuron (P)	330-54-1			

⁷ https://www.arpato.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arpato/studio-per-la-determinazione-dei-valori-di-fondo-naturale-nei-sedimenti-e-nelle-acque-marine-costiere/attachment_download/pubblicazione

⁸ 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
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
31	Triclorobenzene P	12002-48-1
32	Triclorometano (P)	67-66-3
33	Trifluralin (P)	1582-09-8

Come accennato, il D.Lgs. 172/2015 prevede che alcune sostanze vadano ricercate anche all'interno di organismi marini (biota), introducendo SQA obbligatori e distinguendo quali parametri analizzare nei pesci e nei molluschi/gasteropodi. La matrice biota viene monitorata con cadenza annuale e le analisi eseguite (Tabella 9) sono quelle indicate dalla tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015, ad eccezione di alcuni contaminanti, quali Esabromociclododecano (HBCDD), Eptacloro ed eptacloro epossido, per i quali attualmente i laboratori ARPAT non dispongono di risorse strumentali ottimali.

Tabella 9 - Inquinanti chimici monitorati nella matrice biota dei corpi idrici costieri della Toscana

N.	Sostanza ⁹	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 ISPRA¹⁰, si deve applicare la normalizzazione di tutti i dati disponibili rispetto al livello trofico dell'organismo considerato e 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 10).

⁹ Vedi nota a pag. 23

¹⁰ 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

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 misurate devono essere normalizzate rispetto ad un contenuto lipidico del 5% per i pesci e del 1% per i molluschi.

Tabella 10: 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 11) per la definizione dello stato chimico.

Tabella 11: SQA corretti per il livello trofico del biota (da ISPRA, 2016, modificato)

Sostanza	SQA (µg/kg p.u.)	TMF ¹¹	SQA corretto normalizzato				Unità di misura
			Livello trofico Pesci			Molluschi	
			4	3	2		
Difenileteri bromurati (PBDE)	0,0085 ¹²	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

11 TMF = Fattore di Magnificazione Trofica stabilito dalla Linea Guida di ISPRA

Sostanza	SQA (µg/kg p.u.)	TMF	SQA corretto normalizzato				Molluschi	Unità di misura
			Livello trofico Pesci					
			4	3	2			
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	

Legenda;
 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 e analisi nelle diverse fasi dei monitoraggi marini a partire dalla fine degli anni '90, la Regione Toscana ha correttamente scelto di mantenere anche il monitoraggio dei sedimenti con l'obiettivo di avere una continuità di informazioni per una migliore interpretazione dei dati ambientali.

Tabella 12 - Inquinanti chimici monitorati nella matrice sedimenti dei corpi idrici costieri della Toscana

Sostanza	Numero CAS	Tabella 2/A	Tabella 3/A	Tabella 3/B
Arsenico	7440-38-2			x
Cadmio	7440-43-9	x	x	
Cromo totale	7440-47-3			x
Cromo VI	-			x
Mercurio	7439-97-6	x	x	
Piombo	7439-92-1	x	x	
Tributilstagno	-	x	x	
Antracene	120-12-7	x	x	
Benzo(a)pirene	50-32-8		x	
Benzo(b)fluorantene	205-99-2		x	
Benzo(k)fluorantene	207-08-09		x	
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2		x	

12 Attualmente i laboratori di ARPAT non riescono a raggiungere il livello di quantificazione necessaria per lo SQA nel biota dei PBDE

Sostanza	Numero CAS	Tabella 2/A	Tabella 3/A	Tabella 3/B
Indeno-pirene	193-39-5		x	
Fluorantene	206-44-0		x	
Naftalene	91-20-3	x	x	
Aldrin	309-00-2	x	x	
α - esaclorocicloesano	319-84-6	x	x	
β - esaclorocicloesano	319-85-7	x	x	
γ- esaclorocicloesano	58-89-9	x	x	
DDT	-	x	x	
DDD	-	x	x	
DDE	-	x	x	
Dieldrin	60-57-1	x	x	
Esaclorobenzene	118-74-1		x	
Σ T.E. PCDD, PCDF (diossine e furani) e PCB diossina simili	-		x	
PCB totali	-			x

Di conseguenza, ARPAT esegue campionamenti di sedimenti marini tramite Box Corer 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 12).

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%¹³.

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 costiere¹⁴ 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.

¹³ Vedi nota 2 alla Tabella 2/A del D.Lgs. 172/2015

¹⁴ 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)

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).

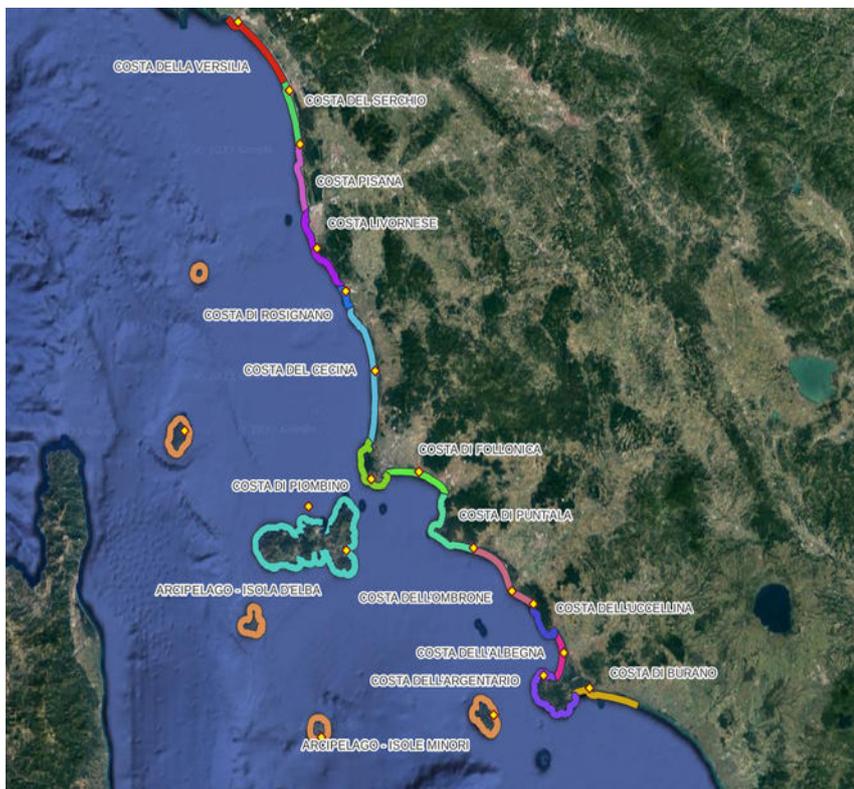
In generale in Toscana si distinguono:

- 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 6), 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).

Figura 6: Corpi idrici costieri della Toscana e relative stazioni di monitoraggio delle acque



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 13), 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.

Tabella 13: Corpi idrici costieri della Toscana e relative stazioni di monitoraggio con indicate le matrici indagate

Corpo Idrico		Stazione		Campionamenti per matrice						
Denominazione	Codice WISE ¹⁵	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 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 Punt'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 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

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

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 del battello oceanografico Poseidon, 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.

2. RISULTATI E CLASSIFICAZIONE

Nell'anno 2022 sono stati effettuati 147 campionamenti/sopralluoghi, corrispondenti a circa l'87% (tabella 2.1) dei 169 programmati perché, a causa di problemi di tipo amministrativo e organizzativo, non è stato possibile reperire i mitili e i pesci (biota) nella maggior parte dei corpi idrici previsti.

Tabella 2.1 - Attività svolte da ARPAT nel 2022 per il monitoraggio delle acque costiere della Toscana

Matrice	Tipo attività	Effettuate nel 2022
Fitoplancton	Campionamenti	104
Macrozoobenthos	Campionamenti	6
Macroalghe	Campionamenti	3
Posidonia oceanica	Aree monitorate	4
Posidonia oceanica	Immersioni subacquee	16
Sedimento	Campionamenti	19
Biota	Campioni/sopralluoghi	6
Sonda multiparametrica	Misure	8.013
Nutrienti	Analisi chimiche	729
Stato ecologico acqua (tab. 1/B)	Analisi chimiche	2.600
Stato chimico acqua e biota (tab. 1/A)	Analisi chimiche	4.721
Stato chimico sedimenti (tab. 2/A, 3/A e 3/B)	Analisi chimiche	494

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) caratterizza la colonna d'acqua e può influenzare, soprattutto, le comunità fitoplanctoniche rispetto a quelle bentoniche, si è ritenuto di invertire il normale ordine di esposizione dei risultati sugli EQB, antepoendo 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

Tra il 18 e 20 di ottobre 2022, come da programma, sono stati prelevati campioni nei 6 corpi idrici della costa toscana meridionale (Costa Punt'Ala, Ombrone, Uccellina, Bruna, Albegna, Argentario e Burano). Le restanti stazioni di monitoraggio, poiché la frequenza è triennale, saranno campionate nel corso degli anni 2023 e 2024.

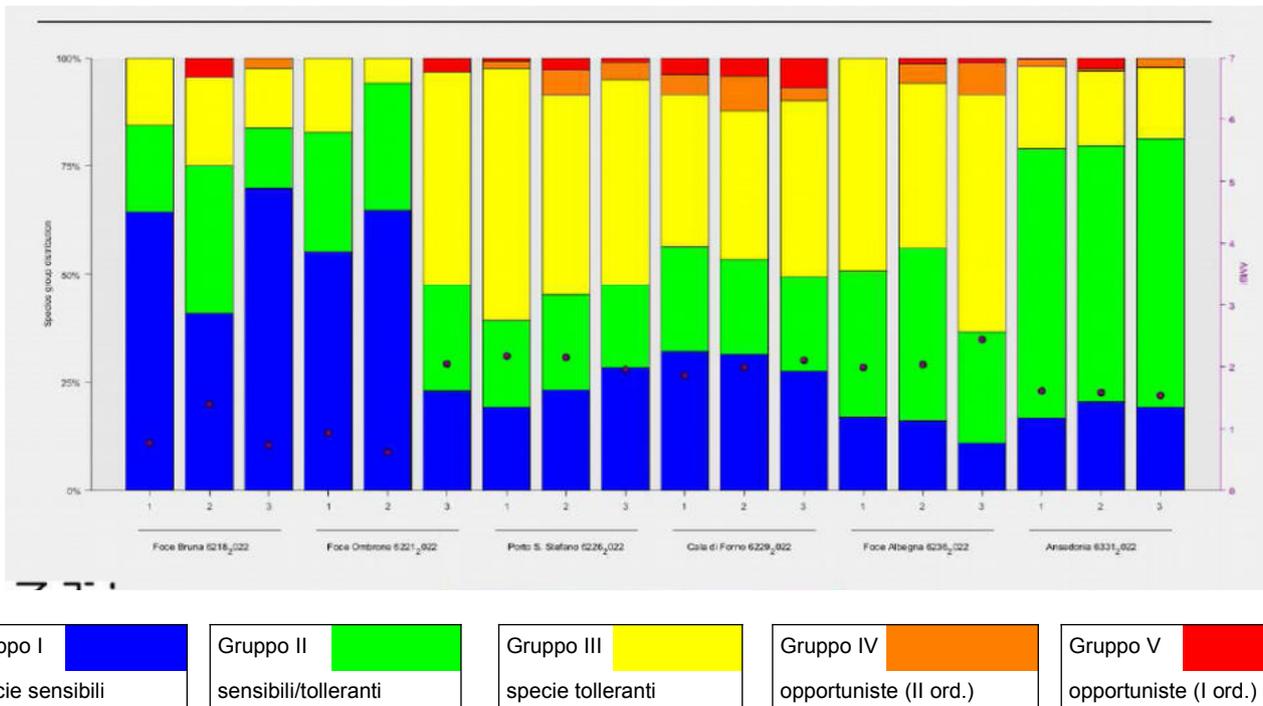
Dal punto di vista granulometrico le 6 zone sono caratterizzate da una netta prevalenza (>90%) di sabbie (tabella 2.2), ad eccezione di Foce Albegna e Porto S. Stefano, dove la componente pelitica rappresenta, rispettivamente, il 28% ed il 41%. In queste stesse 2 stazioni vi è una percentuale più elevata, rispetto alle altre, di carbonio organico totale (TOC) ed entrambe queste caratteristiche possono aver influenzato il popolamento di macroinvertebrati.

Tabella 2.2 - Frazioni granulometriche e carbonio organico totale (TOC) nei sedimenti dei popolamenti a macroinvertebrati bentonici monitorati nel 2022

Corpo idrico	Stazione	Frazione Granulometrica (%)			TOC %
		Ghiaia	Sabbia	Peliti	
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,1	94,9	5,0	< 1
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,0	95,8	4,2	< 1
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,3	92,9	6,8	1,1
Costa Albegna	Foce Albegna	0,1	71,7	28,2	1,7
Costa Argentario	Porto S.Stefano	0,7	57,9	41,4	1,2
Costa Burano	Ansedonia	0,6	92,6	6,8	< 1

L'analisi delle comunità ha permesso di individuare 138 specie di macroinvertebrati bentonici nei 6 campioni con un minimo di 36 specie nella stazione di Foce Ombrone e un massimo di 66 a Cala di Forno.

Figura 2.1 - Distribuzione dei 5 gruppi ecologici nelle diverse repliche di ogni stazione 2022



La distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici per ciascuna delle 3 repliche (figura 2.1) evidenzia una situazione diversa per le stazioni della parte meridionale (da costa Uccellina a Costa Burano) rispetto alle altre 2, situate davanti alla foce del Bruna e dell'Ombrone, dove prevalgono nettamente le specie sensibili, con valori spesso superiori al 50% dell'intero popolamento. Invece, da Cala di Forno a Porto S. Stefano (3 stazioni) assume un maggior peso il gruppo III delle specie tolleranti, mentre ad Ansedonia è il gruppo intermedio tra sensibili e tolleranti ad essere caratterizzante della comunità macrozoobentonica.

Tali diverse caratteristiche vengono evidenziate (tabella 2.3) anche dal calcolo dell'indice AMBI¹⁶ con valori più elevati (tra 1,98 e 2,15) nelle stazioni centrali della costa maremmana (Cala di Forno, Foce Albegna e Porto S.Stefano), mentre Ansedonia ha un valore intermedio (1,57) rispetto ai due corpi idrici più a Nord (Costa Punta Ala e Costa Ombrone), che hanno un AMBI prossimo a 1 (rispettivamente di 0,966 e 1,197). 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: 4 corpi idrici risultano nel 2022 in stato elevato e 2, Costa Albegna e Costa Burano, in buono.

Tabella 2.3 - Stato ecologico per l'EQB macroinvertebrati bentonici nei corpi idrici costieri - Anno 2022

Corpo idrico	Stazione	AMBI	Indice diversità (H)	Numero specie (S)	M-AMBI	Stato ecologico
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,966	4,50	39	0,83	Elevato
Costa Ombrone	Foce Ombrone	1,197	4,61	36	0,81	Elevato
Costa Uccellina	Cala di Forno	1,981	5,02	66	0,93	Elevato
Costa Albegna	Foce Albegna	2,150	4,24	38	0,73	Buono
Costa Argentario	Porto S.Stefano	2,092	4,76	61	0,88	Elevato
Costa Burano	Ansedonia	1,570	3,56	53	0,80	Buono

2.1.2 Macroalghe

Nel 2022 (campagna svolta dal 6 maggio al 26 giugno) sono state monitorate solo le 3 stazioni, localizzate nelle isole minori dell'Arcipelago Toscano (corpo idrico Arcipelago Isole Minori) di Capraia, Giglio e Montecristo. Le restanti stazioni verranno campionate, come da programma, nel resto del triennio, poiché, come per il macrozoobenthos e le angiosperme la cadenza di questo campionamento è triennale.

Dal punto di vista della composizione specifica, i popolamenti macroalgali delle coste insulari sono abbastanza diversi:

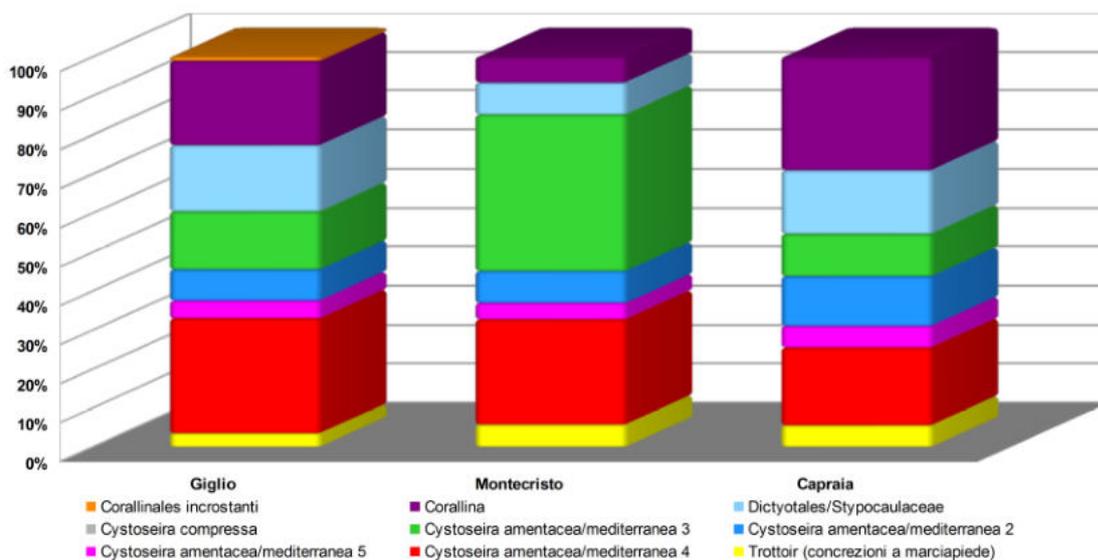
- a Capraia il popolamento di macroalghe è rappresentato in modo abbastanza equilibrato da *Corallina* (29,1%), *Cystoseira amentacea/mediterranea* a cintura (20%) e Dictyotales/Stypocaulaceae (16,4%);
- a Montecristo prevale *Cystoseira amentacea/mediterranea* a grandi chiazze (40,2%);

16 Software AMBI 6.0 sulla base di una lista specie aggiornata a maggio 2022

- al Giglio sono maggiormente rappresentati i popolamenti con *Cystoseira amentacea/mediterranea* a cintura (29,50%) e *Corallina* (21,60%).

Nel 2019 (ultimo rilevamento del triennio di monitoraggio precedente) il popolamento in queste stesse 3 stazioni era leggermente diverso, con una minor presenza, ad esempio, di *Corallina* (a Capraia e Giglio), con diverse associazioni a *Cystoseira amentacea/mediterranea* (C3 e C2 a Capraia nel 2019 invece che C3 e C4) o con una diversa specie prevalente di cistoseira a Montecristo (*Cystoseira compressa* al 37%)

Figura 2.2 - Struttura delle comunità macroalgali monitorate nel 2022



Il calcolo dell'indice CARLIT (RQE) per il 2022 indica uno stato ecologico elevato in tutte le 3 stazioni del corpo idrico costiero Arcipelago Isole Minori (tabella 2.4), confermando quello del triennio 2019-21 che aveva visto i valori più elevati di tutta la Toscana in queste stesse stazioni.

Tabella 2.4 - Stato ecologico per l'EQB macroalghe litorali (macrofite) nei corpi idrici costieri monitorati nel 2022

Corpo idrico	Stazione	RQE (CARLIT)		Stato ecologico
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,98	Valore medio 0,97	Elevato
	Montecristo	1,04		
	Capraia	0,88		

2.1.3 *Posidonia oceanica* (angiosperme)

Nel 2022 sono state campionate, tra 8 giugno e 28 luglio, 4 aree per lo studio della *Posidonia oceanica* (Porto Santo Stefano, Elba Nord, Elba Sud e Montecristo), appartenenti ai 3 corpi idrici di Costa Argentario, Arcipelago Isola d'Elba e Arcipelago Isole Minori.

I dati granulometrici (Tabella 2.5) e di carbonio organico totale (TOC) mostrano una significativa differenza della prateria di Porto S. Stefano rispetto a quelle dell'Arcipelago, con una composizione uniforme ed equamente ripartita (ca. 50%) tra ghiaia e sabbia ed un'elevata concentrazione di sostanza organica (>10%), confermando quanto rilevato nel precedente triennio (2019). Invece, nelle stazioni di Elba (Nord e Sud) e Montecristo si ha una netta prevalenza della frazione sabbiosa (>60%), con alcune variazioni tra limite inferiore e zona intermedia della stessa prateria e uno scarso contenuto di TOC (meno del 2%), caratteristiche simili a quelle già rilevate (2019) ad eccezione della composizione di Elba Sud che era maggiormente distribuita tra le 3 frazioni granulometriche.

Tabella 2.5 - Frazioni granulometriche e carbonio organico totale (TOC) nei sedimenti delle praterie di *Posidonia oceanica* monitorate nel 2022

Corpo idrico	Stazione	Zona di prateria	Frazione granulometrica (%)			TOC (% s.s.)
			Ghiaia	Sabbia	Peliti	
Costa dell'Argentario	Porto S. Stefano	Limite inferiore	54,5	40,6	4,9	10,7
		Intermedia	49,5	50,0	0,5	11,4
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	Limite inferiore	2,7	69,5	27,8	< 1
		Intermedia	13,2	82,3	4,5	1,1
	Elba Sud	Limite inferiore	17,6	81,8	0,6	1,9
		Intermedia	14,1	78,4	7,5	< 1
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	Limite inferiore	0,3	96,2	3,5	1,6
		Intermedia	33,5	64,0	2,5	< 1

Entrando nel dettaglio dei vari descrittori che compongono l'indice PREI per le singole praterie monitorate nel 2022 possiamo osservare quanto segue:

- Porto Santo Stefano:
 - la prateria è discontinua, pura, impiantata su un substrato misto di sabbia e matte, soprattutto in corrispondenza del limite inferiore;
 - la stazione intermedia è caratterizzata da un ricoprimento dell'80%, l'analisi fenologica (135 foglie in totale) ha mostrato un numero medio di circa 4 foglie per ciuffo e lunghezza media di 56 cm per le foglie adulte, 19 per le intermedie e 1,4 cm per le giovanili;
 - il limite inferiore (24-27 m di profondità) ha un ricoprimento del 75% ed un numero medio di circa 5 foglie per ciuffo con lunghezza media di 50 cm per le foglie adulte, 11 per le intermedie e 1 cm per le giovanili;

- **Elba Nord:**
 - il limite inferiore, con densità di 234 fasci/m² e ricoprimento del 60%, si presenta discontinuo, di tipo regressivo ($\lambda=-3$), ad una profondità di 21 m, impiantato su un substrato di matte; l'analisi fenologica (149 foglie in totale) ha mostrato un numero medio di circa 5 foglie per ciuffo e lunghezza media di 31,5 cm per le foglie adulte, 27,7 per le intermedie e 1 cm per le giovanili;
 - la stazione intermedia è caratterizzata da un profilo continuo su substrato sabbioso, con ricoprimento del 90%, una densità di 365 fasci/m², con un numero medio di 6 foglie per ciuffo e lunghezza media di 58 cm per le foglie adulte, 50 per le intermedie e 1 cm per le giovanili;

Tabella 2.6 - Descrittori dell'indice PREI (EQB Posidonia oceanica) nei corpi idrici monitorati nel 2022

Stazione	Parametro	UdM	Valore	N ¹⁷	RQE ¹⁷	RQE (PREI)
Porto S. Stefano	Densità fogliare	fasci/m ²	431,25	0,72	0,665	0,704
	Superficie fogliare	cm ² /fascio	258,61	0,83		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	86,24	0,43		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	587,83			
	Profondità limite infer.	m	24,0	0,35		
	Tipo di limite	λ	-3			
Elba Nord	Densità fogliare	fasci/m ²	364,58	0,61	0,675	0,714
	Superficie fogliare	cm ² /fascio	302,73	0,98		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	49,11	0,47		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	796,68			
	Profondità limite infer.	m	23,0	0,31		
	Tipo di limite	λ	-3			
Elba Sud	Densità fogliare	fasci/m ²	261,81	0,44	0,624	0,667
	Superficie fogliare	cm ² /fascio	294,40	0,95		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	126,53	0,45		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	1255,82			
	Profondità limite inferiore	m	21,0	0,35		
	Tipo di limite	λ	0			
Montecristo	Densità fogliare	fasci/m ²	584,72	0,98	0,828	0,853
	Superficie fogliare	cm ² /fascio	244,50	0,79		
	Biomassa epifiti (E)	mg/fascio	87,23	0,46		
	Biomassa fogliare (L)	mg/fascio	1098,83			
	Profondità limite inferiore	m	32,5	0,67		
	Tipo di limite	λ	-3			

17 Per la spiegazione di N per i diversi descrittori e di RQE' vedi par. 1.3.4

- Elba Sud:
 - il campionamento ha evidenziato una prateria impiantata su matre e sabbia, di tipo continua e pura;
 - a 15 m di profondità (stazione intermedia) il ricoprimento è pari al 97,5% e la densità di 262 fasci/m², con una lunghezza media di circa 60 cm per le foglie adulte, 70 cm per le intermedie e 1 cm per quelle giovanili;
 - il limite inferiore (21 m), di tipo netto ($\lambda=0$), ha una densità di 153 fasci/m² e un ricoprimento dell'80%; le foglie adulte hanno una lunghezza media di 35 cm circa, quelle intermedie di 41 cm e quelle giovanili di circa 2 cm;
 - i ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 133 foglie analizzate per questo sito) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 5 (giovanili, adulte e intermedie) per entrambe le stazioni (intermedia e limite inferiore);
- Montecristo:
 - prateria impiantata su matre e roccia, di tipo discontinua e pura, con un ricoprimento del 100% ed una densità pari a 585 fasci/m² per quanto riguarda la stazione intermedia a 15 m; a questa profondità sono state misurate 127 foglie con una media di foglie per fascio, considerando le tre tipologie (adulte, intermedie, giovanili), pari a 5 ed una lunghezza media di 60 cm per le foglie adulte, di circa 25 cm per quelle intermedie e 1 cm per le giovanili;
 - lungo il limite inferiore (32,5 m di profondità), di tipo regressivo ($\lambda=-3$), si è registrata una densità di 217 fasci/m² ed un ricoprimento del 92,5%; le foglie adulte (21) hanno una lunghezza di circa 61cm, le intermedie (14) di 53 cm e le giovanili (13) di 1 cm.

In definitiva, quindi, l'indice PREI per il 2022 relativamente ai 3 corpi idrici indagati indica (Tabella 2.7) uno stato di conservazione migliore nella prateria dell'Isola di Montecristo, tanto che risulterebbe in stato ecologico elevato, ma tale valutazione dovrà essere confermata dagli esiti del monitoraggio nelle altre 2 praterie di Capraia e Giglio, appartenenti al medesimo corpo idrico dell'Arcipelago - Isole Minori che verrà effettuato nel 2023.

Tabella 2.7 - Stato ecologico per l'EQB *Posidonia oceanica* (angiosperme) nei corpi idrici monitorati nel 2022

Corpo idrico	Stazione	RQE (PREI)		Stato ecologico
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	0,704		Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,714	Valore medio 0,691	Buono
	Elba Sud	0,667		
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	0,853		Elevato

Le praterie di Porto S. Stefano (Costa dell'Argentario), Elba Nord e Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba) hanno tutte un indice PREI intorno a 0,7 al quale corrisponde uno stato ecologico buono e questo giudizio sarebbe una conferma per l'Isola d'Elba (buono anche nel 2019-21), mentre sarebbe un peggioramento per l'Argentario che era elevato nel precedente triennio (PREI = 0,791).

2.1.4 I popolamenti fitoplanctonici

Complessivamente, nel 2022, sono stati analizzati 104 campioni per la determinazione qualitativa del fitoplancton (frequenze bimestrale) nelle 19 stazioni di monitoraggio e sono stati identificati 379 taxa a diverso raggruppamento tassonomico (tabella 2.8).

Tabella 2.8 - Numero di categorie tassonomiche individuate per ciascun raggruppamento principale

Raggruppamento tassonomico	Specie	Genere	Taxa superiori
Bacillariophyta	151	12	1
Miozoa	141	3	2
Cyanobacteria	1	1	5
Chlorophyta/Charophyta		2	15
Cryptophyta	2		1
Chrysophyceae			1
Dictyochophyceae			4
Haptophyta	21	1	1
Euglenophyceae			1
Ebriida			1
Altro Fitoplancton	3		1
Totale	352	19	8

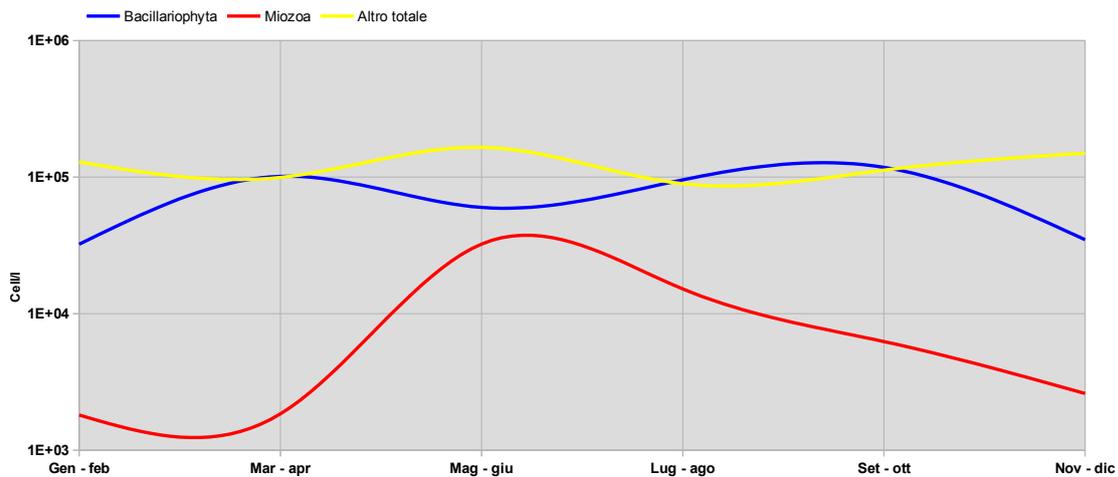
Nel 2022 l'abbondanza del fitoplancton ha avuto un andamento diverso per le 3 componenti principali (diatomee, dinoflagellati e altro fitoplancton), ma con caratteristiche stagionali abbastanza tipiche delle acque costiere del mediterraneo settentrionale (figura 2.3):

- le diatomee con picchi nei periodi primaverile (marzo/aprile) e inizio autunno (settembre/ottobre);
- i dinoflagellati con aumenti nella tarda primavera inizio estate.

La componente principale del popolamento è mediamente costituita dall'altro fitoplancton (60%) e dalle diatomee (35%), mentre i dinoflagellati rappresentano circa il 5%.

La densità fitoplanctonica maggiore ($1,3 \times 10^6$ cell/l) è stata rinvenuta nella stazione di Nettuno (costa del Serchio) nel periodo settembre-ottobre, mentre la minima ($3,4 \times 10^4$ cell/l) a Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba) a gennaio-febbraio.

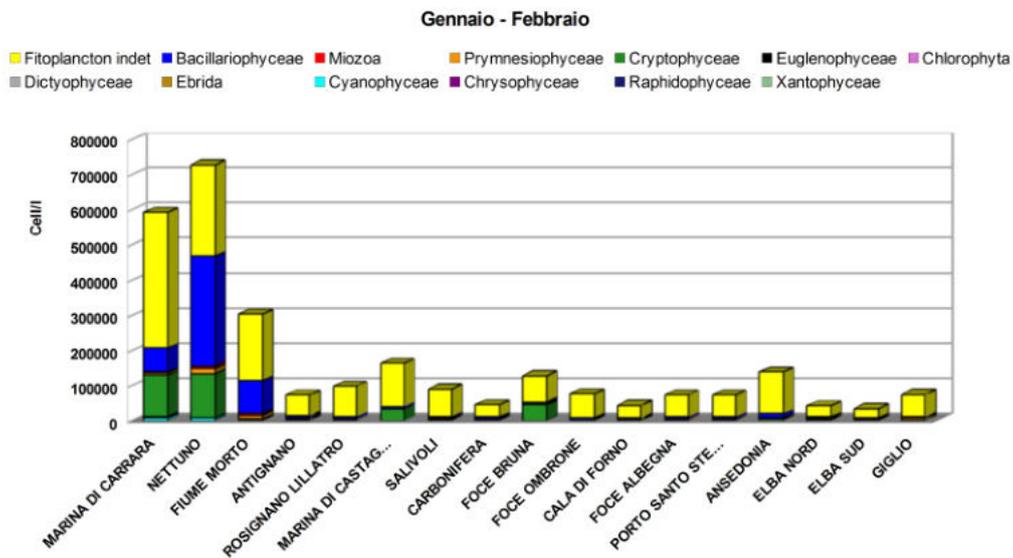
Figura 2.3 - Densità fitoplanctonica media delle principali componenti fitoplanctoniche – Anno 2022



Gennaio-febbraio

Il periodo più propriamente invernale è stato caratterizzato da un popolamento (figura 2.4) costituito essenzialmente da fitoplancton indeterminato di dimensioni inferiori a 20µm (63%) e da diatomee (20%). Solo la stazione Nettuno (Costa del Serchio) ha caratteristiche diverse con il 43% di diatomee (varie specie di *Chaetoceros* soprattutto *C. debilis*, *C. constrictus*, *C. contortus*), 17% di criptoficee e 36% di fitoplancton indeterminato.

Figura 2.4- Composizione popolamenti fitoplanctonici gennaio-febbraio 2022



Per quanto riguarda le abbondanze, le densità maggiori sono state riscontrate nella zona nord Toscana in particolare a Nettuno con $7,3 \times 10^5$ cell/l; la concentrazione minore è individuata a Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba) con $3,4 \times 10^4$ cell/l.

In generale le diatomee più rappresentate in questo periodo sono *Cylindrotheca closterium*, *Chaetoceros peruvianus*, *Thalassionema nitzschiodes*.

Tra i dinoflagellati dominano le gymnodiniales, piccoli dinoflagellati non tecati con diametro inferiore a 20µm di difficile riconoscimento al microscopio ottico, e *Heterocapsa nieii*.

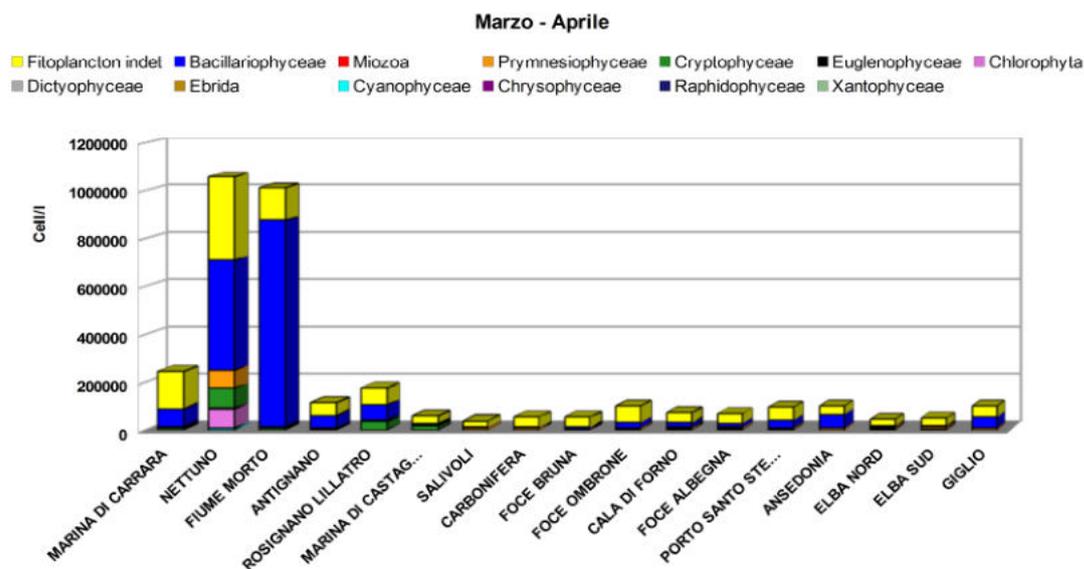
Per l'altro fitoplancton i taxa più frequenti sono coccolitoforidi, le criptoficee e *Dictyocha fibula*, tipica delle acque più fredde.

Marzo - aprile

Durante il successivo periodo di inizio primavera (marzo-aprile), la percentuale media delle diatomee aumenta al 50% mentre quella dell'altro fitoplancton diminuisce al 37% (figura 2.5).

Nel caso di Fiume Morto la percentuale delle diatomee arriva fino all'83% per la presenza di *Pseudo-nitzschia spp. del "Nitzschia delicatissima Complex"*, *Leptocylindrus danicus* e varie specie appartenenti al genere *Chaetoceros*.

Figura 2.5 - Composizione popolamenti fitoplanctonici marzo- aprile 2022



La stazione di Nettuno, rispetto al periodo precedente, diversifica maggiormente le componenti dell'altro fitoplancton per l'aumento dei coccolitoforidi, soprattutto *Syracosphaera pulchra*, delle cloroficee di acqua dolce (*Monoraphidium arcuatum*, *M. komarkovae* e *Coelastrum microporum*) e dei cianobatteri (*Planctolyngbya limnetica*, *Merismopedia glauca* e *Raphidiopsis raciborskii*) provenienti dal canale Burlamacca.

Le densità massime sono state registrate a Nettuno e Fiume Morto (rispettivamente $1,1 \times 10^6$ e $1,3 \times 10^6$ cell/l) mentre la minima nel corpo idrico di Piombino con $3,7 \times 10^4$ cell/l.

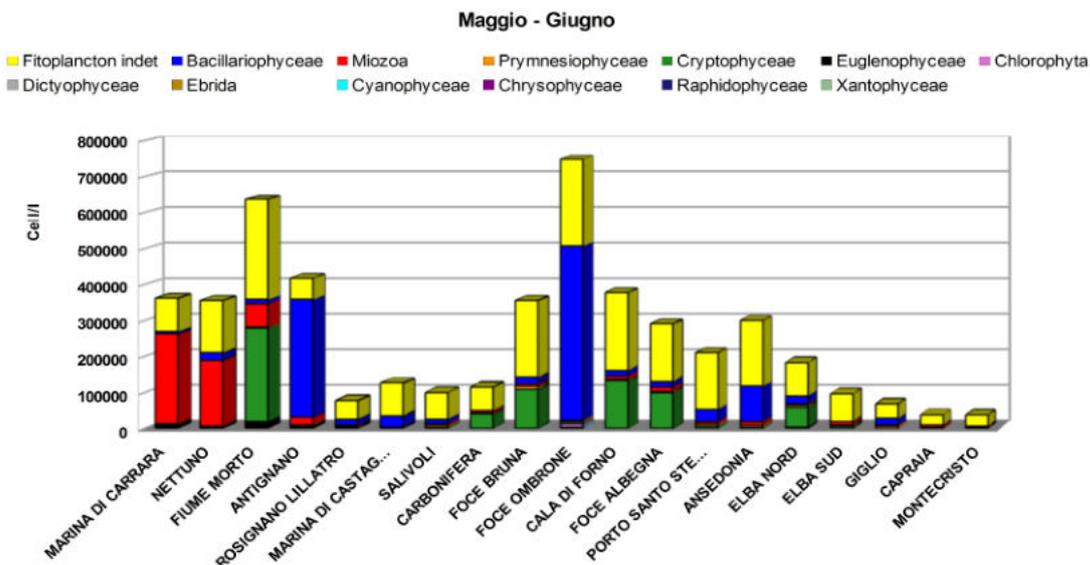
Gli organismi più frequenti sono per le diatomee *Pseudo-nitzschia spp. del "Nitzschia delicatissima Complex"*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia longissima* e *Cerataulina pelagica*, per le dinoflagellate le piccole gymnodiniales, e per l'altro fitoplancton le criptoficee e i coccolitoforidi (in particolare *Syracosphaera pulchra*).

Maggio - giugno

A maggio-giugno, la caratteristica più evidente è l'aumento dei dinoflagellati (13%), in particolare nell'area nord Toscana (figura 2.6), mentre la consistenza delle diatomee si dimezza (23%) e l'altro fitoplancton aumenta leggermente (47%).

Foce Ombrone presenta la densità massima del periodo con $7,5 \times 10^5$ cell/l, dovuta alla presenza di diatomee (65%) e in particolare a *Cyclotella atomus* e *C. catenata*. La minima densità è invece stata registrata a Montecristo con $3,7 \times 10^4$ cell/l.

Figura 2.6 - Composizione popolamenti fitoplanctonici maggio - giugno 2022



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

Luglio - agosto

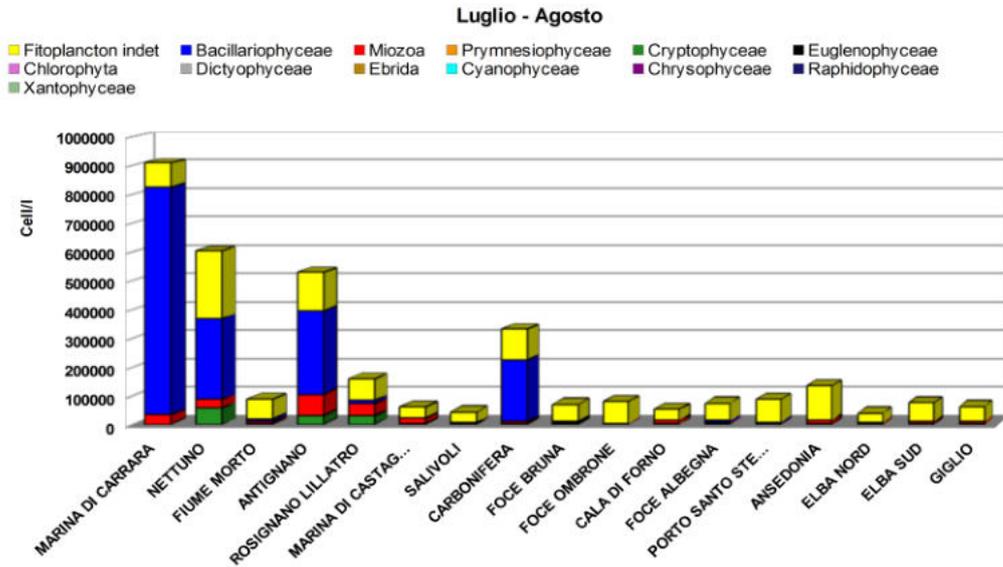
In piena estate la percentuale media delle diatomee e del fitoplancton indeterminato \varnothing inf. $20\mu\text{m}$ è rispettivamente di 48 e 40%, mentre i dinoflagellati scendono al 8% (figura 2.7).

In questo periodo la densità fitoplanctonica massima è registrata a Massa Carrara (Costa Versilia) con $9,1 \times 10^5$ cell/l, per la presenza di *Chaetoceros socialis* e *Leptocylindrus danicus* (le diatomee qui raggiungono l'87% del popolamento), mentre la minima è stata rilevata nella stazione di Elba Nord con $3,9 \times 10^4$ cell/l.

Le diatomee più rappresentate in questo periodo sono *Leptocylindrus danicus* e *Pseudo-nitzschia spp.* del “*Nitzschia delicatissima Complex*” mentre tra i dinoflagellati dominano le

gymnodiniales di piccole dimensioni, *Scrippsiella acuminata* e *Heterocapsa nieii*. Per l'altro fitoplancton, oltre ai piccoli flagellati, risultano frequente i coccolitoforidi e le criptoficee.

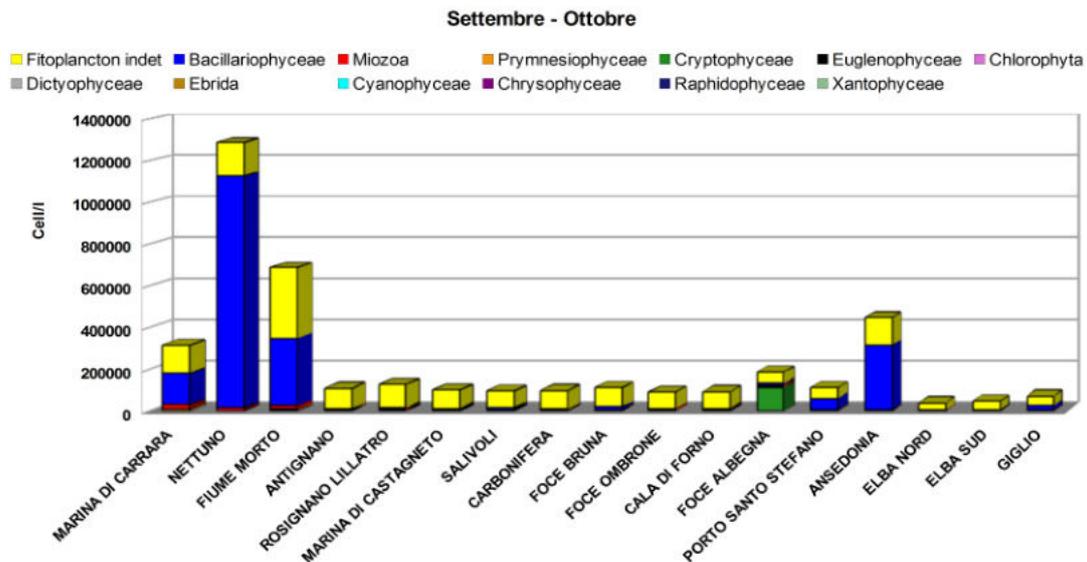
Figura 2.7 - Composizione popolamenti fitoplanctonici luglio - agosto 2022



Settembre – Ottobre

A inizio autunno, la composizione media del popolamento resta molto simile a quella del periodo precedente con una netta prevalenza di diatomee ed altro fitoplancton quasi nelle stesse percentuali (rispettivamente 50 e 43%), mentre i dinoflagellati scendono ulteriormente al 3% (figura 2.8).

Figura 2.8 - Composizione popolamenti fitoplanctonici settembre - ottobre 2022



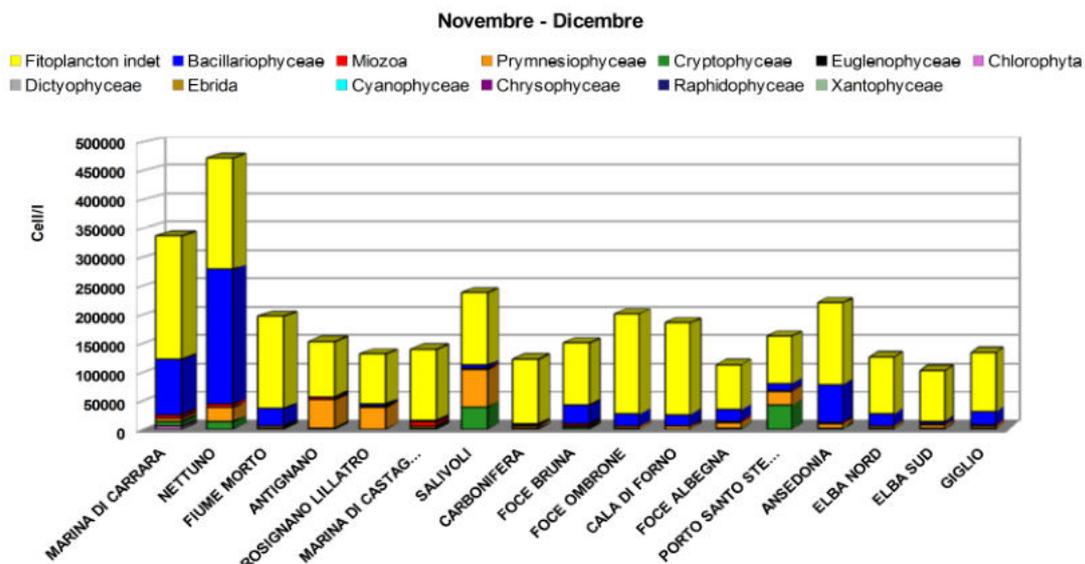
In questo periodo la densità fitoplanctonica massima è registrata a Nettuno (Costa del Serchio) con $1,3 \times 10^6$ cell/l, per la presenza di *Chaetoceros socialis* e *Thalassiosira gravida*, mentre la minima è stata rilevata nella stazione di Elba Nord con $4,0 \times 10^4$ cell/l.

Le diatomee più rappresentate in questo periodo sono *Nitzschia longissima* e *Proboscia alata* e pennate di piccole dimensioni. Tra i dinoflagellati dominano organismi di piccole dimensioni tecati e non, mentre per l'altro fitoplancton, oltre alle piccole forme indeterminate, i coccolitoforidi.

Novembre - dicembre

La percentuale media delle diatomee diminuisce fino al 19% mentre quella del fitoplancton indeterminato \emptyset inf.20 μ m aumenta al 68% (Figura 2.9). In questo periodo la densità fitoplanctonica massima è registrata a Nettuno (Costa del Serchio) con $4,7 \times 10^5$ cell/l, per la presenza di *Leptocylindrus danicus* e del fitoplancton indeterminato \emptyset inf.20 μ m, mentre la minima è stata rilevata nella stazione di Elba Sud con $1,0 \times 10^5$ cell/l.

Figura 2.9 - Composizione popolamenti fitoplanctonici novembre - dicembre 2022



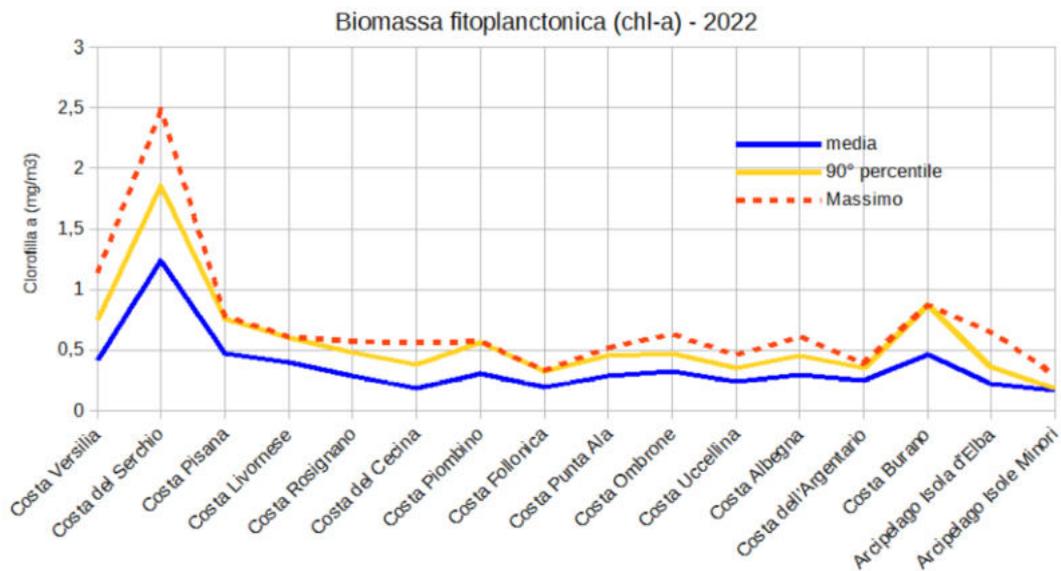
Le diatomee più rappresentate in questo periodo sono pennate non identificate di piccole dimensioni, *Cylindrotheca closterium*, *Proboscia alata* e *Pseudo-nitzschia* spp. del "Nitzschia delicatissima Complex". Tra i dinoflagellati dominano organismi non tecati di piccole dimensioni mentre tra l'altro fitoplancton, oltre quello indeterminato <20 μ m, i coccolitoforidi e le criptoficee.

2.1.5 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:

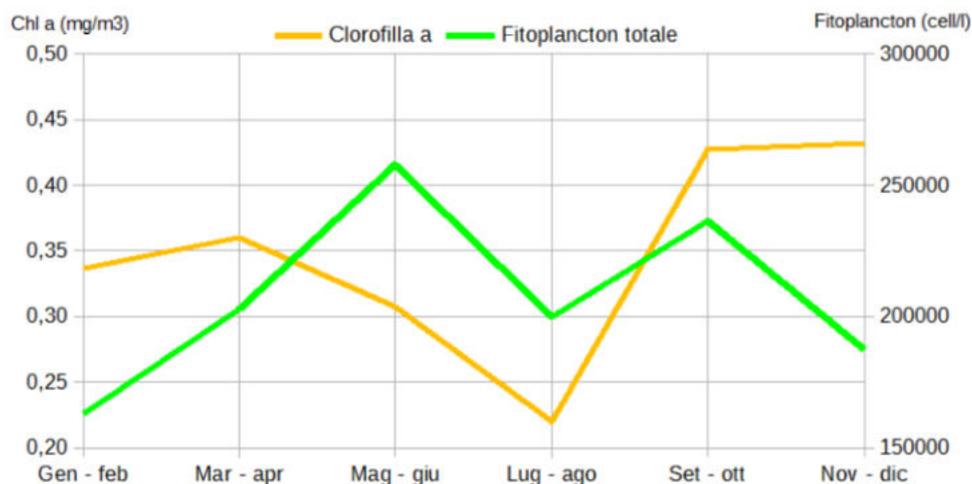
- i valori più elevati, sia come media annuale sia come 90° percentile dei dati annuali (valore utilizzato per il calcolo di RQE) sia come massima concentrazione, si osservano (Figura 2.10) nelle stazioni di monitoraggio della costa settentrionale e, in particolare, a Nettuno (Costa del Serchio);
- l'andamento stagionale complessivo (media delle concentrazioni rilevate in tutte le stazioni campionate in uno stesso periodo) di clorofilla è abbastanza allineato con quello del fitoplancton totale (Figura 2.11) con un forte calo nel periodo estivo, rispetto a 2 momenti di maggior proliferazione in primavera ed autunno.

Figura 2.10: Concentrazione di biomassa fitoplanctonica (chl-a) nei corpi idrici costieri nel 2022



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 e, con ogni probabilità, le diatomee come comunità fitoplanctonica dominante in queste condizioni.

Figura 2.11: Andamento stagionale di biomassa fitoplanctonica media (chl-a) nel 2022



I dati (tabella 2.9) di concentrazione media di clorofilla “a” (Chl-a) elaborati per il calcolo del RQE, mostrano che per il 2022 tutte le stazioni monitorate e i relativi corpi idrici si trovano in stato ecologico elevato eccetto Costa del Serchio (Stazione Fiume Morto) in stato sufficiente.

Tabella 2.9 - Stato ecologico per EQB biomassa fitoplanctonica nei corpi idrici costieri monitorati nel 2022

Corpo idrico costiero	Stazione di monitoraggio	Chl a (mg/m ³) – 90° percentile	RQE	Stato ecologico
Costa Versilia	Marina di Carrara	0,7	1,00	Elevato
Costa del Serchio	Nettuno	1,9	0,48	Sufficiente
Costa Pisana	Fiume Morto	0,8	1,00	Elevato
Costa Livornese	Antignano	0,6	1,00	Elevato
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,5	1,00	Elevato
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,4	1,00	Elevato
Costa Piombino	Salivoli	0,6	1,00	Elevato
Costa Follonica	Carbonifera	0,3	1,00	Elevato
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,5	1,00	Elevato
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,5	1,00	Elevato
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,4	1,00	Elevato
Costa Albegna	Foce Albegna	0,4	1,00	Elevato
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	0,4	1,00	Elevato
Costa Burano	Ansedonia	0,9	1,00	Elevato
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,3	1,00	Elevato
	Elba Sud	0,5	1,00	
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,3	1,00	Elevato
	Capraia	0,2	1,00	
	Montecristo	0,1	1,00	

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/m³ Chl-a nel triennio 2016-18 a 1,6 mg/m³ Chl-a nel triennio 2019-21), 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.

Se per quantità tali apporti non possono essere certo confrontati con quelli provenienti dall'Arno, dobbiamo, però, ricordare che la stazione di monitoraggio della 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 e indice TRIX sembrano confermare questa ipotesi. Infine, l'aumento delle temperature superficiali del mare, determinato dai cambiamenti climatici e particolarmente evidente in tutta la costa settentrionale toscana, potrebbe aver favorito la proliferazione delle microalghe.

2.1.6 Prima definizione dello stato ecologico

Sulla base dei 4 elementi di qualità biologica controllati nel 2022, per quanto i dati siano provvisori per vari motivi (medie nel triennio per la biomassa fitoplanctonica e stazioni da controllare nel 2023 o nel 2024 per gli altri EQB), si può tentare una prima definizione dello stato ecologico delle acque costiere della Toscana. Questa valutazione verrà successivamente sottoposta alle verifiche di Fase I (vedi par. 2.1.8) e Fase II (vedi par. 2.1.8) per confermare o meno la qualità ecologica.

I dati completi di biomassa fitoplanctonica, espressi come 90° percentile della concentrazione media annuale di clorofilla "a" (chl-a), determinano uno stato ecologico (Tabella 2.10) elevato in quasi il 95% delle stazioni ed in 15 dei 16 corpi idrici, con la sola eccezione di Costa del Serchio. Integrando il giudizio emerso da questo primo EQB con i risultati parziali (6 stazioni sulle 18 previste) dei macroinvertebrati bentonici (indice M-AMBI), si osserva un peggioramento per 2 corpi idrici (Costa dell'Albegna e Costa di Burano) che da elevato scendono a stato ecologico buono.

Se il successivo utilizzo delle macroalghe litorali (indice CARLIT) non modifica la qualità dell'unico corpo idrico monitorato nel 2022 (Arcipelago Isole Minori), il monitoraggio delle praterie di posidonia (indice PREI) di Porto S. Stefano e dell'Isola d'Elba determinano un peggioramento di questi 2 corpi idrici nello stato ecologico buono.

In definitiva, quindi, sulla base dei soli EQB monitorati nel 2022, 4 corpi idrici costieri della Toscana risultano in stato ecologico buono (25%), 1 in classe sufficiente (6%) e 11 in stato elevato (69%).

Tabella 2.10 - Stato ecologico sulla base dei singoli EQB monitorati nei corpi idrici costieri toscani nel 2022

Corpo Idrico	Stazione	Elementi di qualità biologica				Stato ecologico provvisorio
		Chl-a	M-AMBI	CARLIT	PREI	
Costa Versilia	Marina di Carrara	0,7	§	NP	NP	Elevato
Costa del Serchio	Nettuno	1,9	§	NP	NP	Sufficiente
Costa Pisana	Fiume Morto	0,8	§	NP	NP	Elevato
Costa Livornese	Antignano	0,6	§	§	§	Elevato
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	0,5	§	NP	§	Elevato
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,4	§	NP	NP	Elevato
Costa Piombino	Salivoli	0,6	§	§	§	Elevato
Costa Follonica	Carbonifera	0,3	§	NP	§	Elevato
Costa Punt'Ala	Foce Bruna	0,5	0,83	NP	NP	Elevato
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,5	0,81	NP	NP	Elevato
Costa dell'Uccelina	Cala di Forno	0,4	0,93	§	NP	Elevato
Costa Albegna	Foce Albegna	0,4	0,73	NP	§	Buono
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	0,4	0,88	§	0,704	Buono
Costa Burano	Ansedonia	0,9	0,80	§	§	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,3	§	§	0,714	Buono
	Elba Sud	0,5	§	§	0,667	
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,3	§	0,98	§	Elevato
	Capraia	0,2	§	1,04	§	
	Montecristo	0,1	NP	0,88	0,853	

Legenda:

§ = campionamenti previsti nel 2023 o nel 2024; NP = EQB non previsto in questo corpo idrico

2.1.7 Elementi di qualità fisico – chimica a sostegno e idromorfologici - Fase I

Al fine della classificazione dello stato ecologico, gli elementi chimico fisico 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.

2.1.7.1 Temperatura, salinità e ossigeno disciolto

I valori medi di temperatura e salinità superficiale delle acque costiere Toscane, suddivisi nei sei periodi di campionamento (tabella 2.11), mostrano variazioni stagionali imputabili ai fenomeni di evaporazione e precipitazione, oltre che agli apporti fluviali:

- massimi in estate (38,2ppt e 26,5°C di media; 38,5ppt come massimo in Costa Albegna e 29,9°C in Costa del Serchio), quando sono massimi l'irraggiamento solare (riscaldamento di aria e acqua) e l'evaporazione, mentre le precipitazioni e, di conseguenza, le portate fluviali sono minime, soprattutto durante il 2022;
- minimi in inverno (37,1ppt e 13,5°C di media; 32,9ppt in Costa del Serchio e 10,7°C in Costa della Versilia) 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).

Tabella 2.11: Valori medi di temperatura, ossigeno e salinità misurati nel 2022

Periodo	Salinità (ppt)	Ossigeno disciolto (%)	Temperatura superficiale (°C)
Gennaio -febbraio	37,1	93,3	13,5
Marzo-aprile	38,0	92,8	13,2
Maggio - giugno	37,5	101,3	18,6
Luglio - agosto	38,2	111,8	26,5
Settembre - ottobre	38,1	94,8	24,0
Novembre - dicembre	37,8	90,5	17,8
media annuale	37,8	97,5	18,9
Massimo annuale	38,5	126,2	29,9
Minimo annuale	32,9	78,7	10,7

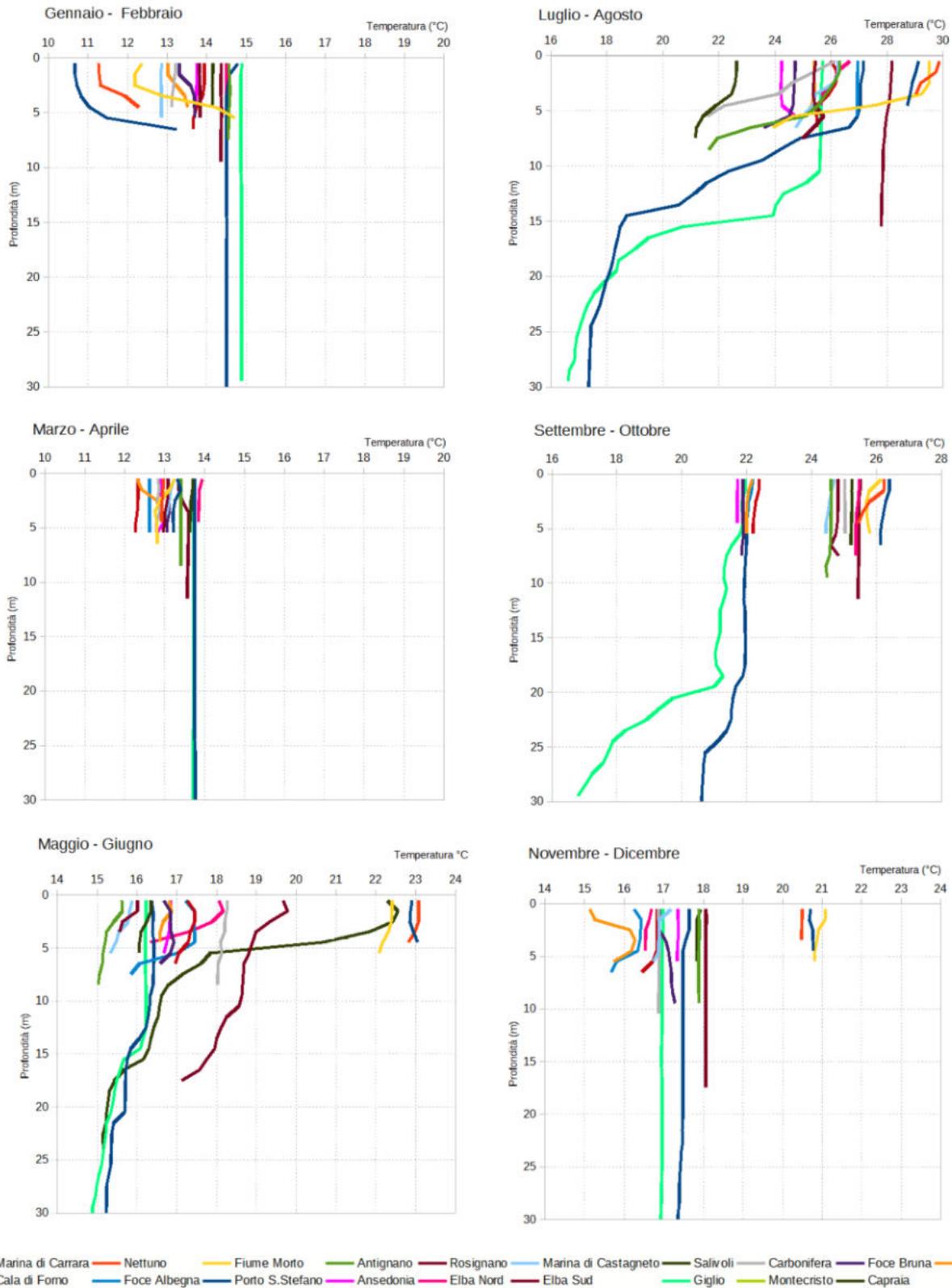
Per quanto riguarda l'ossigeno disciolto nelle acque superficiali, i valori massimi coincidono con il periodo primavera estate (Costa Follonica campagna maggio giugno 126,2%), mentre i più bassi con il periodo invernale (Costa Rosignano campagna novembre dicembre 78,7%).

I profili verticali di temperatura (figura 2.12) confermano l'influenza fondamentale degli apporti fluviali: in Costa Versilia, del Serchio e pisana in pieno inverno (gennaio-febbraio), ad esempio, vi è uno strato superficiale nettamente più freddo (10-12°C) di quelli sottostanti, che mostrano temperature (13-15°C) uguali a quelle di tutti gli altri corpi idrici, con profilo pressoché costante dalla superficie al fondo.

Con il passare delle settimane e l'aumento del riscaldamento da parte della radiazione solare, il profilo tende a diventare omogeneo in tutte le stazioni (marzo/aprile) e, successivamente (maggio/giugno), quando le temperature superficiali superano quelle delle masse d'acqua sottostanti, ancora poco o nulla interessate dalla diffusione del calore, si forma un termocline ad

andamento inverso, con uno strato superiore più caldo (dai 16°C dei primi giorni di maggio ai 25°C di giugno) rispetto a quelli sottostanti (15-17°C).

Figura 2.12- Profili di temperatura nelle diverse campagne del 2022



Nel periodo estivo, con l'accumulo da parte delle masse d'acqua di calore in superficie (fino a 23-30°C), il gradiente termico aumenta progressivamente negli strati sottostanti (ad esempio a Porto S. Stefano si passa da 27,1°C della superficie a temperature inferiori a 22°C intorno a 10m di profondità fino ad arrivare a 16,5°C a 40m).

Con l'inizio dell'autunno, la ripresa delle precipitazioni ed abbassamento delle temperature esterne e, soprattutto, con la maggior instabilità idrodinamica (mareggiate), le masse d'acqua appaiono per lo più totalmente rimescolate con temperature tra 24-26°C a settembre e tra 21-22°C di ottobre. Fanno eccezione le Porto Santo Stefano e Isola del Giglio, che, avendo profondità maggiori, continuano a mantenere una stratificazione anche in questo periodo, con temperature intorno a 22°C fino a 20m, che scendono bruscamente di 2-5°C fino al fondo.

A novembre/dicembre il processo di rimescolamento delle masse d'acqua si è completato e tutte le stazioni hanno profili quasi costanti dalla superficie al fondo, con temperature che vanno dai 21°C circa di novembre a 15-18°C di dicembre.

2.1.7.2 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. 1.3.5), 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 Versilia (tabella 2.12), probabilmente a causa dell'apporto di sostanza organica da parte dei corsi d'acqua maggiormente presenti in questa zona.

Tabella 2.12 - Concentrazioni medie annuali di fosforo totale (P-tot) e fosforo ortofosfato (P-PO₄) nel 2022

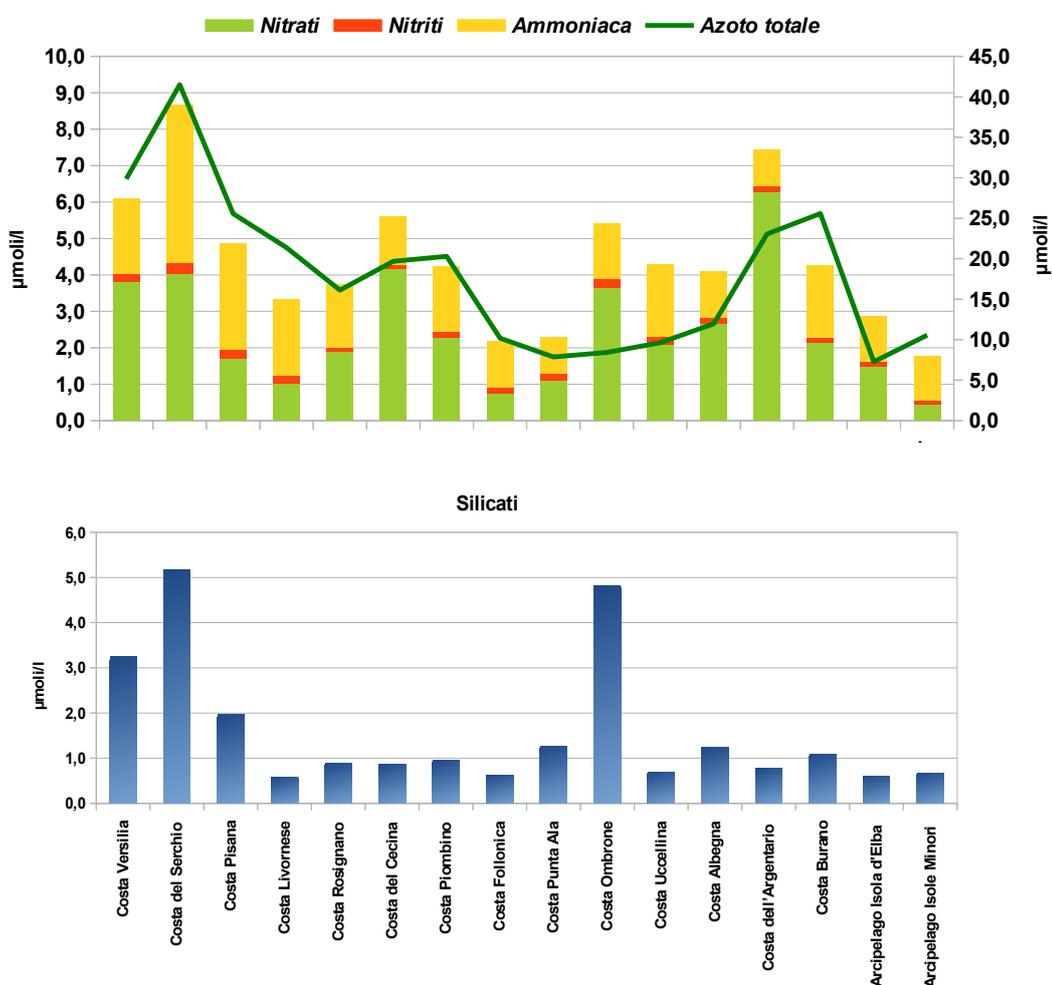
Corpo idrico	Media annuale (µmol/l)		Corpo idrico	Media annuale (µmol/l)	
	P-tot	P-PO ₄		P-tot	P-PO ₄
Costa Versilia	0,5	0,2	Costa Punta Ala	0,3	0,2
Costa del Serchio	0,7	0,4	Costa Ombrone	0,3	<0,2
Costa Pisana	0,4	0,2	Costa Uccellina	<0,2	<0,2
Costa Livornese	0,4	0,2	Costa Albegna	0,2	<0,2
Costa Rosignano	0,2	<0,2	Costa dell'Argentario	0,2	<0,2
Costa del Cecina	0,2	<0,2	Costa Burano	0,3	<0,2
Costa Piombino	0,2	<0,2	Arcipelago Isola d'Elba	0,2	<0,2
Costa Follonica	<0,2	<0,2	Arcipelago Isole Minori	0,2	<0,2

Il fattore fluviale come fonte di arricchimento di sostanza organica particellata delle acque costiere sembra confermato anche dai dati di azoto totale con concentrazioni mediamente più elevate negli stessi 3 corpi idrici della costa Nord (figura 2.13) e dal fatto che il valore massimo registrato nel 2022 (101 µmol/l N-tot) si sia rilevato a Costa del Serchio a settembre in concomitanza del picco di biomassa fitoplanctonica (2,48 µg/l chl-a; 1,3×10⁶ cell/l).

Anche i valori medi di N-tot relativamente più elevati di Porto S. Stefano (Costa Argentario) e Ansedonia (Costa Burano) rispetto agli altri corpi idrici delle coste meridionali potrebbero essere in relazione agli apporti terrigeni che, in questo caso, sarebbero da riferirsi ai canali emissari della Laguna di Orbetello. Analoga considerazione potrebbe essere fatta per i nitrati, la cui concentrazione media più alta (5,4 $\mu\text{mol/l}$) risulta essere quella della stazione di Porto S. Stefano (Costa Argentario). Questi risultati sono anche coerenti con quanto osservato nel triennio precedente, con un progressivo aumento (dal 2019 al 2021) di tutte le componenti azotate nella stazione di Ansedonia, situata a circa 500m dal canale di sbocco della Laguna.

Per quanto riguarda l'azoto nitroso (nitriti) e l'ammoniaca le concentrazioni sono risultate quasi sempre sotto il limite di quantificazione e sulla base dei pochi valori misurati quelli più alti per il 2022 sono state le medie calcolate a Costa del Serchio (4,4 $\mu\text{mol/l}$ N-NH₃; 0,3 $\mu\text{mol/l}$ N-NO₂).

Figura 2.13 - Concentrazioni medie annuali di (in alto) azoto totale e delle 3 forme di azoto inorganico disciolto (nitriti, nitrati e ammoniaca) e di silicati (in basso) nei corpi idrici toscani nel 2022



La presenza di silicati in mare è maggiore nei corpi idrici interessati da apporti fluviali e, quindi, i valori medi sono più alti nella zona a Nord (concentrazione massima di 5,2 $\mu\text{mol/l}$ a Costa del Serchio) e nella stazione prossima alla foce dell'Ombrone (4,8 $\mu\text{mol/l}$).

2.1.7.3 Indice Trofico TRIX

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

Nel 2022 i valori medi annuali (Tabella 2.13) mostrano un generalizzato aumento, tutti superiori a 3, ad eccezione delle isole minori dell'Arcipelago, mentre nel triennio 2019-21 erano solo 6 i corpi idrici in questa situazione (da Costa Versilia a Costa pisana, Costa Follonica, Ombrone e di Burano). Quelli più elevati (>3,5), che in precedenza erano solo i 3 più a Nord, adesso diventano ben 8, ampliandosi da Costa Versilia fino a Costa di Rosignano (5 corpi idrici), oltre a Costa Ombrone, dell'Argentario e di Burano.

Ricordando che il valore di TRIX = 4,0 è il limite tra stato ecologico Buono e Sufficiente per il macrotipo 3 Bassa stabilità, al quale appartengono tutti i corpi idrici costieri della Toscana, sulla base dei dati 2022 dell'indice trofico il corpo idrico Costa del Serchio risulterebbe confermato in stato sufficiente, giudizio già ottenuto con l'EQB biomassa fitoplanctonica.

Tabella 2.13 - Valori medi annuali dell'indice trofico TRIX 2022

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

2.1.8 Elementi chimici a sostegno – Fase II

Come già detto (par. 1.3.6), 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 in tutti gli anni di monitoraggio dei due trienni precedenti (2016-18 e 2019-21), anche nel 2022 non si sono evidenziati superamenti degli SQA per nessuna delle sostanze ricercate. Inoltre, tranne i 2 elementi metallici (arsenico e cromo), i cui risultati sono riportati in Tabella 2.14, le concentrazioni di tutte le altre sostanze (pesticidi organoclorurati, fitofarmaci, ecc.) di origine sintetica 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 2022 non comporterebbe alcun peggioramento di classe, ma, come detto per le altre fasi, bisogna attendere il completamento del triennio 2022-2024.

Tabella 2.14 - Concentrazioni medie annuali di Arsenico e Cromo nei corpi idrici costieri nel 2022

Corpo idrico	Stazioni	Arsenico ¹⁸	Cromo ¹⁹
Costa Versilia	Marina di Carrara	2	2
Costa del Serchio	Nettuno	2	2
Costa Pisana	Fiume Morto	2	2
Costa Livornese	Antignano	2	3
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	2	2
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	2	1
Costa Piombino	Salivoli	2	2
Costa Follonica	Carbonifera	2	1
Costa Punta Ala	Foce Bruna	2	1
Costa Ombrone	Foce Ombrone	2	1
Costa Uccellina	Cala di Forno	2	1
Costa Albegna	Foce Albegna	2	2
Costa Argentario	Porto S. Stefano	2	1
Costa Burano	Ansedonia	2	2
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	2	2
	Elba Sud	2	2
Arcipelago Isole Minori	Giglio	2	2
	Montecristo	2	2
	Capraia	2	2

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

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

2.2 Stato chimico

Lo stato chimico, come detto (par. 1.4) 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

2.2.1.1 Mercurio e altri metalli

Le concentrazioni di mercurio e cadmio nelle acque marine della Toscana sono state per tutto il 2022 molto basse, talvolta addirittura inferiori ai livelli di quantificazione (LOQ), tanto che, le concentrazioni medie annuali (Tabella 2.15) sono state tutte ampiamente al di sotto degli SQA e degli eventuali valori di fondo naturali (Vedi Tabella 7), senza che emergano neppure differenze significative tra i diversi corpi idrici costieri.

Tabella 2.15 - Concentrazioni medie annuali ($\mu\text{g/l}$) di mercurio, cadmio, nichel e piombo nelle acque nel 2022

Corpo idrico	Stazione	Cadmio ²⁰	Mercurio	Nichel	Piombo
Costa Versilia	Marina di Carrara	< 0,05	0,01	2,4	0,6
Costa del Serchio	Nettuno	< 0,05	0,03	2,0	0,5
Costa Pisana	Fiume Morto	< 0,05	0,01	1,7	0,6
Costa Livornese	Antignano	< 0,05	0,02	1,1	0,5
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	< 0,05	0,01	1,1	0,2
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	< 0,05	0,01	1,4	0,2
Costa Piombino	Salivoli	< 0,05	0,02	1,4	0,3
Costa Follonica	Carbonifera	< 0,05	0,02	2,0	0,4
Costa Punt'Ala	Foce Bruna	< 0,05	0,02	0,7	0,3
Costa Ombrone	Foce Ombrone	< 0,05	0,01	0,9	0,4
Costa Uccellina	Cala di Forno	< 0,05	0,02	2,4	0,5
Costa Albegna	Foce Albegna	< 0,05	0,02	1,5	0,3
Costa Argentario	Porto S. Stefano	< 0,05	0,02	3,1	0,6
Costa Burano	Ansedonia	< 0,05	0,01	1,0	0,5
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	< 0,05	0,01	0,7	0,4
	Elba Sud	< 0,05	0,02	1,4	0,6
Arcipelago Isole Minori	Giglio	< 0,05	0,02	1,2	0,3
	Montecristo	< 0,05 ⁽²¹⁾	0,01 ⁽²¹⁾	3,4 ⁽²¹⁾	0,7 ⁽²¹⁾
	Capraia	< 0,05 ⁽²¹⁾	0,01 ⁽²¹⁾	1,8 ⁽²¹⁾	1,6 ⁽²¹⁾
SQA-MA		0,2	Vedi Tabella 7	8,6	1,3

20 Per il cadmio le concentrazioni sono state nel 2022 sempre inferiori al LOQ di 0,05 $\mu\text{g/l}$

21 Nel 2022 è stato analizzato solo 1 campione, per cui i valori non possono essere confrontati con gli SQA-MA

Nel caso del mercurio, però, il confronto con le concentrazioni massime ammissibili (SQA-CMA) della tabella 1/A D.Lgs. 172/2015 rivela un caso di superamento nelle acque dell'Isola del Giglio (campionamento del 20/10/2022), con un valore di 0,09 µg/l (SQA-CMA = 0,07µg/l). Premettendo che questa stazione non era stata presa in considerazione dallo Studio sui valori di fondo (DGRT 1273/2016) e che, quindi, non sono stati definiti dei limiti diversi da quelli del D.Lgs. 172/2015, come accaduto per quasi tutte le altre stazioni di monitoraggio (Tabella 7), questo superamento è di difficile spiegazione soprattutto in una zona sostanzialmente incontaminata come le isole minori dell'Arcipelago Toscano (mai accaduto prima) e, in generale, si tratta di casi estremamente sporadici: nei 2 trienni precedenti è accaduto solo 9 volte che si rilevassero analoghi superamenti (4 tra 2016-18 e 5 tra 2019-21), senza che si evidenziasse una qualche stazione particolarmente interessata.

Per quanto riguarda gli altri 2 metalli (nichel e piombo) le concentrazioni sono mediamente molto basse ed ampiamente inferiori agli SQA-MA, per quanto misurabili (>LOQ), ma, come accaduto in precedenza, nel 2022 non si evidenziano variazioni significative per un qualche corpo idrico o stazione.

2.2.1.2 TBT, IPA e altre sostanze prioritarie

Il tributilstagno e i suoi composti (TBT) sono sostanze utilizzate principalmente nelle vernici antivegetative delle imbarcazioni e, come tali, sono persistenti, bioaccumulabili e quasi ubiquitarie. Nel 2022, le concentrazioni medie (Tabella 2.16) sono state tendenzialmente più elevate nella zona più settentrionale della costa toscana, dove la presenza di insediamenti portuali (Marina di Carrara e Viareggio) è un fattore di potenziale inquinamento specifico, aumentato dai bassi fondali e da un minor ricambio idrico rispetto ad altre aree portuali (Livorno, Piombino, Portoferraio). Nel caso di Costa del Serchio, come già accaduto in tutti i 3 anni 2019-21, viene superato lo SQA-MA, ma non la concentrazione massima ammissibile.

Per quanto riguarda gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), sono sottoprodotti della combustione incompleta di combustibili fossili, materia inorganica e legname e sono, 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). Nella Tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015 è previsto il monitoraggio di 5 diversi IPA nelle acque marine, tutti indicati come sostanze pericolose prioritarie, ma lo SQA-MA viene indicato solo per il benzo[a]pirene (BaP)²², che, nel 2022, viene superato solo a Carbonifera (Costa di Follonica). Questo superamento è determinato, in pratica, da 1 solo campione (26 luglio) sui 6 prelevati che presenta concentrazioni molto elevate di tutti gli IPA analizzati, arrivando a superare anche lo SQA-CMA nel caso del Benzo[g,h,i]perilene (0,0040 µg/l), del Benzo[b]fluorantene (0,100µg/l) e del Benzo[k]fluorantene (0,021µg/l).

La concentrazione di Benzo[g,h,i]perilene supera lo SQA-CMA (0,00082 µg/l) anche a Nettuno (Costa del Serchio) nel prelievo del 12/09/2022 (0,00140 µg/l) ed a Fiume Morto (Costa Pisana) il 12/03/2022 (0,00230 µg/l).

22 Vedi nota 11 alla Tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015

Tabella 2.16 - Concentrazioni medie annuali ($\mu\text{g/l}$) di TBT, BaP, BkF e DEHP nelle acque costiere nel 2022

Corpo idrico	Stazione	TBT	BaP	BkF	DEHP
Costa Versilia	Marina di Carrara	0,00008	0,00003	0,00050	0,8
Costa del Serchio	Nettuno	0,00052	0,00005	0,00050	0,2
Costa Pisana	Fiume Morto	0,00010	0,00003	0,00050	0,5
Costa Livornese	Antignano	0,00013	0,00004	0,00050	0,5
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,00008	0,00005	0,00050	0,2
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,00008	0,00003	0,00050	0,3
Costa Piombino	Salivoli	0,00007	0,00011	0,00117	0,3
Costa Follonica	Carbonifera	0,00006	0,00087	0,00775	0,2
Costa Punt'Ala	Foce Bruna	0,00008	0,00003	0,00050	0,4
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,00008	0,00003	0,00050	0,2
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,00008	0,00005	0,00050	0,7
Costa Albegna	Foce Albegna	0,00008	0,00005	0,00075	0,2
Costa Argentario	Porto S. Stefano	0,00008	0,00003	0,00050	0,3
Costa Burano	Ansedonia	0,00007	0,00004	0,00050	0,4
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,00008	0,00007	0,00050	0,5
	Elba Sud	0,00007	0,00005	0,00050	0,6
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,00007	0,00007	0,00050	0,4
	Montecristo	0,00005 ⁽²¹⁾	0,00003 ⁽²¹⁾	0,00050 ⁽²¹⁾	0,3 ⁽²¹⁾
	Capraia	0,00005 ⁽²¹⁾	0,00003 ⁽²¹⁾	0,00050 ⁽²¹⁾	1,7 ⁽²¹⁾
SQA-MA		0,00020	0,00017	N.D. ²³	1,3

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 2022 si sia ritrovato in quantità rilevabili in tutti i 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 Albegna) nel 2017 e nel 2020.

Per quanto riguarda tutte le altre sostanze ricercate (fitofarmaci, pesticidi e altri composti organoalogenati, ecc.), come accaduto nei 2 trienni precedenti, nel 2022 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 2022, risulterebbe non buono (Tabella 2.17) in 4 dei corpi idrici toscani (Costa del Serchio, pisana, di Follonica e Arcipelago – Isole minori).

23 Per gli idrocarburi policiclici aromatici lo SQA-MA in acqua si riferisce solo alla concentrazione di benzo(a)pirene (Vedi nota 11 alla Tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015)

Tabella 2.17 - Sostanze superiori a SQA e stato chimico nelle acque costiere della Toscana nel 2022

Corpo idrico	Stazione	Sostanze superiori a SQA		Stato chimico (acqua)
		>SQA-MA	>SQA-CMA	
Costa Versilia	Marina di Carrara			Buono
Costa del Serchio	Nettuno	TBT	Benzo[g,h,i]perilene	Non buono
Costa Pisana	Fiume Morto		Benzo[g,h,i]perilene	Non buono
Costa Livornese	Antignano			Buono
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro			Buono
Costa del Cecina	Marina di Castagneto			Buono
Costa Piombino	Salivoli			Buono
Costa Follonica	Carbonifera	Benzo[a]pirene	Benzo[b]fluorantene, Benzo[k]fluorantene, Benzo[g,h,i]perilene	Non buono
Costa Punt'Ala	Foce Bruna			Buono
Costa Ombrone	Foce Ombrone			Buono
Costa Uccellina	Cala di Forno			Buono
Costa Albegna	Foce Albegna			Buono
Costa Argentario	Porto S. Stefano			Buono
Costa Burano	Ansedonia			Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord			Buono
	Elba Sud			Buono
Arcipelago Isole Minori	Giglio		Mercurio	Non buono
	Montecristo			Buono
	Capraia			Buono

2.2.2 Stato chimico nel biota

Nel 2022 il biota è stato controllato in 4 stazioni per la matrice molluschi bivalvi e 3 per la matrice pesci, invece delle 25 previste (rispettivamente 9 e 16) dal piano di monitoraggio (vedi Tabella 13), a causa di difficoltà nel reperimento degli organismi marini nelle diverse zone di pesca e di problemi amministrativi.

2.2.2.1 Molluschi

Oltre ai problemi suddetti, purtroppo, il reperimento di telline è stato particolarmente scarso, tanto che quelle prelevate in Costa del Serchio sono risultate insufficienti per poter eseguire qualsiasi analisi, mentre con quelle della Costa Pisana è stato possibile analizzare solo il contenuto di diossine e composti diossino-simili (PCDF+PCDD+PBC-DL).

Le concentrazioni rilevate (tabella 2.18), come accaduto spesso in passato, sono state estremamente basse in generale, sempre abbondantemente al di sotto dello standard ambientale per tutte le 3 sostanze, e inferiori al LOQ per fluorantene e benzo[a]pirene.

Tabella 2.18 - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{kg}$) di diossine, fluorantene e benzo[a]pirene rilevate nei molluschi (biota) dei corpi idrici costieri nel 2022 (vedi par. 1.4)

Corpo idrico	Mollusco	PCDD+PCDF+PCB-DL	Fluorantene	BaP
Costa del Serchio	<i>Donax trunculus</i>	a.n.e.	a.n.e.	a.n.e.
Costa Pisana	<i>Donax trunculus</i>	0,0011	a.n.e.	a.n.e.
Costa Livornese	c.n.e.			
Costa Rosignano	c.n.e.			
Costa Piombino	c.n.e.			
Costa Follonica	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,0010	(< 9)	(< 1)
Costa Argentario	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,0021	(< 9)	(< 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 detto, i nostri laboratori attualmente non dispongono delle risorse per l'implementazione dei metodi per la ricerca di esabromociclododecano (HBCDD), eptacloro e eptacloro epossido, le analisi condotte sui pesci campionati nel 2022 (3 corpi idrici) hanno indicato una situazione di bioaccumulo di mercurio (Hg) e difenileteri bromurati (PBDE) con tutte le concentrazioni rilevate superiori agli SQA (Tabella 2.19), mentre per l'acido perfluorottansolfonico (PFOS), l'esaclorobenzene (HCB), i DDT, le diossine e composti (furani e policlorobifenili) diossina simili (PCDF+PCDD+PCB-DL) e le altre sostanze (dicofol ed esaclorobutadiene) risultano conformi in tutti i corpi idrici indagati.

Per quanto il confronto con gli anni precedenti sia difficilmente attendibile, vista l'esiguità di dati a disposizione per il 2022 (3 su 16 corpi idrici), 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.

Per quanto riguarda l'esaclorobenzene, una sostanza le cui concentrazioni più elevate e, spesso, anche superiori allo SQAm, si sono ritrovate in modo pressoché costante tra 2017 e 2021 in determinati corpi idrici (Costa livornese, di Rosignano, dell'Uccellina e dell'Argentario), il confronto è quasi impossibile, dato che solo 1 di questi è stato monitorato nel 2022, ma proprio i muggini provenienti da Costa dell'Argentario hanno mostrato valori significativi di HCB, per quanto inferiori allo standard normalizzato.

Un caso particolare, infine, è il PFOS, che è risultato presente con concentrazioni >SQA nella maggior parte dei corpi idrici tra 2017 e 2019, per poi quasi scomparire (nel 2020 sempre conforme e nel 2021 un solo superamento).

Tabella 2.19 - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{kg}$) di mercurio (Hg), PFOS, esaclorobenzene (HCB), PBDE, diossine (PCDD, PCDF, PCB-DL) e DDT totale rilevate nei pesci (biota) dei corpi idrici costieri nel 2022, dopo normalizzazione (vedi par. 1.4), con evidenziati i valori >SQA

Corpo idrico	Specie	LT	Hg	PFOS	HCB	PBDE	PCDD, PCDF, PCB-DL	DDT totale
Costa Versilia	c.n.e.							
Costa del Serchio	c.n.e.							
Costa Pisana	<i>Chelon auratus</i>	3	48	(< 0,1)	< 0,1	30,0	0,0021	1,7
Costa Livornese	c.n.e.							
Costa Rosignano	c.n.e.							
Costa del Cecina	c.n.e.							
Costa Piombino	c.n.e.							
Costa Follonica	c.n.e.							
Costa Punta Ala	c.n.e.							
Costa Ombrone	c.n.e.							
Costa Uccellina	c.n.e.							
Costa Albegna	c.n.e.							
Costa Argentario	<i>Mugil cephalus</i>	3	290	(< 0,1)	16,0	1,0	0,0019	3,4
Costa Burano	c.n.e.							
Arcipelago Isola d'Elba	<i>Chelon labrosus</i>	3	48	(< 0,1)	< 0,1	9,0	0,0014	0,4
Arcipelago Isole Minori	c.n.e.							
SQA normalizzato			Vedi Tabella 11					
Legenda: LT= livello trofico; c.n.e = campione non effettuato;								

Integrando i dati delle sostanze superiori agli SQA nelle acque (Tabella 2.17) con quelli del biota, pur nella esiguità dei campioni effettuati nel 2022 sui pesci e molluschi, lo stato chimico provvisorio risulta non buono in 6 dei corpi idrici toscani, aggiungendo ai 4 già visti per le acque (Costa del Serchio, pisana, di Follonica e Arcipelago – Isole minori) quelli con superamenti di mercurio e PBDE nei pesci di Costa Argentario e Isola d'Elba.

2.3 Sedimenti

Sono stati effettuati 18 prelievi di sedimenti tra il 14 aprile e il 20 dicembre 2022 e dal punto di vista della composizione granulometrica si osserva una netta prevalenza (75-90%) della componente più fine (peliti) nella maggior parte delle stazioni (14). Fanno eccezione, le 3 stazioni delle isole minori dell'Arcipelago toscano nelle quali si ha una prevalenza di sabbie (a Montecristo e Capraia) o una ripartizione quasi uguale tra peliti e sabbie (Giglio), composizione analoga a quelle rilevate a Rosignano e Marina di Castagneto. Le ghiaie, com'era prevedibile a

queste distanze dalla costa, sono quasi assenti (<2%), ad eccezione del Giglio e soprattutto del fondale di Montecristo (23%).

Tabella 2.20 - Frazioni granulometriche nei sedimenti dei corpi idrici costieri nel 2022

Corpo idrico	Stazione	Frazione Granulometrica (%)		
		Ghiaia	Sabbia	Peliti
Costa Versilia	Marina di Carrara	1,3	15,4	83,3
Costa del Serchio	Nettuno	0,1	6,9	93,0
Costa Pisana	Fiume Morto	0,2	1,8	98,0
Costa Livornese	Antignano	0,2	2,0	97,8
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,4	52,3	47,3
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,9	4,7	94,4
Costa Piombino	Promontorio di Piombino	0,2	38,2	61,6
Costa Follonica	Carbonifera	0,5	1,7	97,8
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,6	3,1	96,3
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,7	9,3	90,0
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,2	1,7	98,1
Costa Albegna	Foce Albegna	0,2	1,1	98,7
Costa Argentario	Porto S. Stefano	1,6	1,3	97,1
Costa Burano	Ansedonia	1,6	23,4	75,0
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,8	21,0	78,2
	Elba Sud	0,8	6,1	93,1
Arcipelago Isole minori	Giglio	1,3	49,3	49,4
	Montecristo	23,0	73,4	3,6
	Capraia	5,8	77,0	17,2

Per quanto riguarda le sostanze ricercate nei sedimenti, dobbiamo, innanzitutto, ricordare che per alcuni metalli sono stati definiti i valori di fondo naturale (Tabella 7) che sostituiscono gli SQA per molte delle stazioni di monitoraggio della Toscana.

Le concentrazioni di mercurio (Hg) rilevate nei sedimenti (Tabella 2.21) della parte meridionale della costa toscana (da Cala di Forno ad Ansedonia), pur essendo superiori agli SQA (considerando anche la tolleranza del 20%²⁴), risultano compatibili con 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, anche nel 2022 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 da pressioni antropiche e, con ogni probabilità, legate agli scarichi dello stabilimento Solvay. Il fatto, però, che le concentrazioni nel corso degli anni sembrano diminuire leggermente, soprattutto ad Antignano (tra 0,9 e 1,8 mg/kg s.s. nel 2016-20), dove, nel corso dei decenni, si sono depositati

24 Vedi nota 2 alla Tabella 2/A del D.Lgs. 172/2015

la maggior parte dei solidi sospesi emessi dallo scarico Solvay e trasportati dalle correnti costiere²⁵, potrebbe indicare che l'apporto principale di mercurio sia cessato dopo le modifiche alle celle elettrolitiche dell'impianto (2005-06).

Tabella 2.21 - 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 2022 con evidenziati i superamenti dei valori di fondo e/o degli SQA

Corpo idrico	Stazione	Hg	Cd	Pb	HCB	As	Cr
Costa Versilia	Marina di Carrara	0,08	< 0,2	15	< 0,1	12	103
Costa del Serchio	Nettuno	0,09	< 0,2	15	< 0,1	13	107
Costa Pisana	Fiume Morto	0,08	< 0,2	13	< 0,1	11	94
Costa Livornese	Antignano	0,73	< 0,2	23	0,3	19*	103*
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,66	0,3	14	0,4	36	119*
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,11	< 0,2	11	< 0,1	20*	157*
Costa Piombino	Promontorio di Piombino	0,19	0,3	35	0,1	73*	125*
Costa Follonica	Carbonifera	0,26	< 0,2	28	0,1	35	118
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,22	0,2	25	< 0,1	32*	118
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,1	< 0,2	18	< 0,1	14	122
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,46*	< 0,2	23	0,1	29*	122
Costa Albegna	Foce Albegna	0,89*	< 0,2	23	< 0,1	27*	115
Costa Argentario	Porto S. Stefano	0,65*	< 0,2	28	< 0,1	34*	110
Costa Burano	Ansedonia	1,11*	< 0,2	29	0,1	32*	45
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,14	< 0,2	35	< 0,1	49	136*
	Elba Sud	0,12	< 0,2	56*	1,4	186	174
Arcipelago Isole minori	Giglio	0,17	< 0,2	30	< 0,1	24	39
	Montecristo	0,01	< 0,2	< 10	2,6	2,1	< 10
	Capraia	0,03	< 0,2	< 10	< 0,1	6,9	19
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 7				Vedi Tabella 7	

Legenda:
* = valori che superano gli SQA, ma inferiori ai valori di fondo della Tabella 7

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 (56 mg/kg s.s.), ma restando comunque inferiore al valore di fondo (75 mg/kg s.s.).

Le acque intorno all'Isola d'Elba e, in particolare alle coste sud orientali, da sempre presentano concentrazioni elevate di questo metallo, tanto che con lo Studio di ARPAT sui valori di fondo

²⁵ Per approfondimenti vedere anche la pubblicazione di ARPAT sulla "Qualità delle acque marino costiere prospicienti lo scarico Solvay di Rosignano (LI)" del 2014 e scaricabile al link https://www.arpato.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arpato/qualita-delle-acque-marino-costiere-prospicienti-lo-scarico-solvay-di-rosignano-li/attachment_download/pubblicazione

(DGRT 1273/2016) è stata definita la concentrazione naturale massima per i 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 5 (Rosignano, Carbonifera, Elba Nord e Sud, e Giglio) e 10 stazioni;
- il cromo esavalente (Cr^{VI}) non supera mai gli SQA.

Questa generalizzata presenza di quantità elevate di arsenico e cromo nei sedimenti marini della Toscana nel 2022 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, presumibilmente entrambe collegate alle anomalie minerarie dell'Isola d'Elba orientale (vedi sopra).

Tra le altre sostanze ricercate, si deve sottolineare la particolare distribuzione, nel 2022, dell'esaclorobenzene (HCB), che supera lo standard di qualità ambientale nelle stazioni di Elba Sud e Giglio, con concentrazioni molto elevate e mai rilevate prima in questi sedimenti. Viceversa, le stazioni di Antignano (Costa livornese) e di Rosignano, che dal 2016 al 2021, avevano fatto registrare i valori massimi e, quasi sempre, superiori allo SQA (0,4 mg/kg s.s.), nel 2022 sono rimaste appena al di sotto dello SQA (0,3-0,4 mg/kg s.s.). Il fatto che, fino ad oggi, le concentrazioni di HCB venissero ritrovate con valori massimi nei sedimenti di Antignano e, leggermente inferiori, a Rosignano, analogamente a quanto si osserva per il mercurio, ha fatto ipotizzare una possibile comune fonte di contaminazione nello scarico a mare dello stabilimento Solvay (vedi sopra), ma sono in corso approfondimenti per chiarire alcuni dubbi.

Tutte le altre sostanze previste dalle Tabelle 2/A, 3/A e 3/B (TBT, antracene, naftalene, aldrin, α -, β -, γ -esaclorocicloesano, DDT, DDE e DDD, vari IPA, PCB e composti diossina-simili, ecc.), sono risultate inferiori agli standard ambientale e spesso al di sotto del limite di quantificazione, ad eccezione del dieldrin, che nei sedimenti antistanti il Promontorio di Piombino, è risultato appena superiore (0,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ s.s.) allo SQA.

3. CONCLUSIONI

Come detto, la classificazione dello stato ecologico e chimico dei corpi idrici marino costieri può essere definita 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, così come i parametri chimici della colonna d'acqua (stato chimico). Il 2022 è il primo 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, proviamo a fornire un primo quadro sintetico dei principali risultati emersi nel 2022, confrontandoli, laddove possibile, con quelli dei trienni precedenti (2016-18 e 2019-21), per meglio comprendere eventuali tendenze.

Ricordiamo, infine, che sia lo stato ecologico che quello chimico devono rispondere a principi cautelativi e, quindi, devono essere valutati sulla base dei risultati peggiori emersi dai singoli indicatori e/o elementi, e 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 risulta tale sia sotto il profilo ecologico che chimico.

3.1 Stato ecologico provvisorio

Come abbiamo visto, nel 2022 il solo EQB monitorato in tutte le 19 stazioni distribuite nei 16 corpi idrici toscani è stata la biomassa fitoplanctonica; per gli altri la copertura territoriale è stata del tutto parziale (non più di un terzo), 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** nel 2022 (Tabella 3.1), possiamo evidenziare quanto segue:

- la biomassa fitoplanctonica (vedi par. 2.1.5) risulta in stato elevato in tutti i corpi idrici ad eccezione di Costa del Serchio, che è in stato sufficiente, a causa, probabilmente, degli apporti del canale Burlamacca (emissario del Lago di Massaciuccoli) in una zona di acque marine a basso fondale e scarso ricambio, che favorisce lo sviluppo del fitoplancton con un progressivo aumento negli ultimi anni (1,4 mg/m³ Chl-a nel triennio 2016-18; 1,6 mg/m³ Chl-a nel triennio 2019-21; 1,9 mg/m³ Chl-a nel 2022);
- per i popolamenti a macrozoobenthos (vedi par. 2.1.1) l'indice M-AMBI classifica 4 corpi idrici in stato elevato (Costa di Punta Ala, dell'Ombrone, dell'Uccellina e dell'Argentario) e 2 in buono (Costa dell'Albegna e di Burano), ma queste differenze potrebbero essere legate ad una diversa composizione dei sedimenti di fondo del 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;

- le macroalghe della fascia intertidale (vedi par. 2.1.2) sono state esaminate solo nelle 3 stazioni delle Isole Minori dell'Arcipelago (Giglio, Capraia e Montecristo), tutte in classe ecologica elevata sulla base dell'indice CARLIT;
- tra le praterie di *Posidonia oceanica* (vedi par. 2.1.3) indagate nel 2022, solo quella di Montecristo è in uno stato di conservazione ottimale, ma per attribuire lo stato ecologico elevato a tutto il corpo idrico dell'Arcipelago - Isole Minori si dovranno attendere gli esiti del monitoraggio nelle altre 2 praterie di Capraia e Giglio nel 2023; le praterie di Porto S. Stefano (Costa dell'Argentario), Elba Nord ed Elba Sud (Arcipelago Isola d'Elba) sono in uno stato ecologico buono, qualità che per quest'ultimo corpo idrico è una conferma di quanto rilevato sia nel 2016-18 che nel 2019-21.

Tabella 3.1 - Classificazione provvisoria dello stato ecologico delle acque marine costiere toscane nel 2022

Corpo Idrico	Elementi di qualità biologica				Stato ecologico provvisorio			
	Chl-a	M-AMBI	CARLIT	PREI	Su EQB	Fase I (TRIX)	Fase II	Finale
Costa Versilia	0,7	§	NP	NP	Elevato	3,5	Elevato	Elevato
Costa del Serchio	1,9	§	NP	NP	Sufficiente	4,4	Sufficiente	Sufficiente
Costa Pisana	0,8	§	NP	NP	Elevato	3,8	Elevato	Elevato
Costa Livornese	0,6	§	§	§	Elevato	3,6	Elevato	Elevato
Costa di Rosignano	0,5	§	NP	§	Elevato	3,6	Elevato	Elevato
Costa del Cecina	0,4	§	NP	NP	Elevato	3,3	Elevato	Elevato
Costa Piombino	0,6	§	§	§	Elevato	3,3	Elevato	Elevato
Costa Follonica	0,3	§	NP	§	Elevato	3,1	Elevato	Elevato
Costa Punt'Ala	0,5	0,83	NP	NP	Elevato	3,2	Elevato	Elevato
Costa Ombrone	0,5	0,81	NP	NP	Elevato	3,7	Elevato	Elevato
Costa dell'Uccelina	0,4	0,93	§	NP	Elevato	3,3	Elevato	Elevato
Costa Albegna	0,4	0,73	NP	§	Buono	3,4	Buono	Buono
Costa dell'Argentario	0,4	0,88	§	0,704	Buono	3,5	Buono	Buono
Costa Burano	0,9	0,80	§	§	Buono	3,6	Buono	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	0,4	§	§	0,691	Buono	3,1	Buono	Buono
Arcipelago Isole Minori	0,2	§	0,97	0,853 ²⁶	Elevato	2,4	Elevato	Elevato

Legenda:
 § = campionamenti previsti nel 2023 o nel 2024; NP = EQB non previsto in questo corpo idrico

Sottoponendo queste valutazioni dello stato ecologico alla verifica (Fase I) con gli elementi chimico fisici a sostegno (vedi par. 2.1.7), lo stato ecologico elevato verrebbe confermato per tutti i corpi idrici ad eccezione di Costa del Serchio, dove il valore medio dell'Indice Trofico TRIX (4,4) conferma lo stato sufficiente evidenziato dalla biomassa fitoplanctonica.

26 Il valore si riferisce alla sola prateria di posidonia dell'isola di Montecristo

Le concentrazioni degli inquinanti non prioritari (vedi par. 2.1.8) nelle acque, invece, non modificano i giudizi già acquisiti sullo stato ecologico (Fase II), perché sono tutte inferiori agli standard di qualità ambientale (SQA) e spesso anche del limite di quantificazione (LOQ).

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

- il **69%** (11) dei corpi idrici toscani in qualità **elevata**;
- il **25%** (4) in qualità **buona**;
- il **6%** (1) in classe **sufficiente**.

Se queste valutazioni venissero confermate alla fine del triennio 2022-24, la classificazione complessiva dello stato ecologico sarebbe nettamente 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 circa il 13% era sufficiente.

3.2 Stato chimico provvisorio

Rispetto allo stato ecologico, il monitoraggio dello stato chimico effettuato nel 2022 appare completo per quanto riguarda la colonna d'acqua, ma assolutamente insufficiente per la matrice biota, a causa della mancanza di numerosi campioni di pesci (soprattutto) e molluschi. Inoltre, come per la biomassa fitoplanctonica, il TRIX, ecc., anche i dati sulla contaminazione chimica delle acque devono essere valutati su un triennio di rilevazioni.

Premesso ciò, per quanto riguarda le sostanze presenti nella colonna d'acqua (vedi par. 2.2.1), possiamo dare una prima valutazione dello stato chimico (Tabella 3.2) sulla base dei superamenti osservati rispetto agli standard di qualità ambientale (SQA) stabiliti dal D.Lgs. 172/2015:

- nel caso dei metalli (Cd, Hg, Ni, Pb), si ha solo 1 caso con il mercurio che, in modo abbastanza inspiegabile, risulta superiore alla concentrazione massima ammissibile (>SQA-CMA) al Giglio (Arcipelago Isole Minori);
- in Costa del Serchio sono state rilevate concentrazioni di TBT superiori alla media annuale (SQA-MA) e di benzo[ghi]perilene superiori al massimo (>SQA-CMA), come accaduto anche in Costa Pisana per la stessa sostanza;
- a Carbonifera (Costa Follonica) il benzo[a]pirene supera lo SQA-MA ed altri 3 IPA (benzo[k]fluorantene, benzo[b]fluorantene e benzo[ghi]perilene) in uno stesso campione (26 luglio) risultano eccedere la concentrazione massima (SQA-CMA);
- tutte le altre sostanze dell'elenco di priorità risultano inferiori agli standard ambientali e spesso al limite di quantificazione.

Sulla base della sola matrice acqua, il 75% dei corpi idrici (12) della Toscana risulta essere in uno stato chimico buono e il 25% (4) non buono.

I dati rilevati nel biota, come detto (vedi par. 2.2.2), sono assolutamente insufficienti per poter dare un giudizio complessivo e attendibile, ma se, da un lato, i 3 campioni analizzati (su 9 teorici) di molluschi non aggiungono alcun elemento di criticità, i 3 campioni di pesci (su 16

previsti) sono risultati tutti con concentrazioni di mercurio e difenileteri bromurati (PBDE) superiori agli standard di qualità ambientale, determinando il peggioramento a stato chimico non buono di altri 2 corpi idrici (Costa Argentario e Arcipelago Isola d'Elba), dato che il terzo, Costa pisana, lo era già per il benzo[ghi]perilene >SQA-CMA.

In definitiva, integrando i risultati ottenuti dal monitoraggio delle acque e del biota (Tabella 3.2), nel 2022 il 63% dei corpi idrici della Toscana risulta essere in uno stato chimico buono.

Tabella 3.2 - Sostanze superiori a SQA e stato chimico provvisorio dei corpi idrici costieri della Toscana nel 2022

Corpo idrico	Sostanze superiori a SQA				Stato chimico provvisorio
	Acqua		Biota		
	>SQA-MA	>SQA-CMA	Molluschi	Pesci	
Costa Versilia	-	-	NP	c.n.e.	Buono
Costa del Serchio	TBT	Benzo[g,h,i]perilene	NP	c.n.e.	Non buono
Costa Pisana	-	Benzo[g,h,i]perilene	a.n.e.	Mercurio, PBDE	Non buono
Costa Livornese	-	-	c.n.e.	c.n.e.	Buono
Costa Rosignano	-	-	c.n.e.	c.n.e.	Buono
Costa del Cecina	-	-	NP	c.n.e.	Buono
Costa Piombino	-	-	c.n.e.	c.n.e.	Buono
Costa Follonica	Benzo[a]pirene	Benzo[b]fluorantene, Benzo[k]fluorantene, Benzo[g,h,i]perilene	NP	c.n.e.	Non buono
Costa Punt'Ala	-	-	NP	c.n.e.	Buono
Costa Ombrone	-	-	NP	c.n.e.	Buono
Costa Uccellina	-	-	NP	c.n.e.	Buono
Costa Albegna	-	-	NP	c.n.e.	Buono
Costa Argentario	-	-	NP	Mercurio, PBDE	Non buono
Costa Burano	-	-	NP	c.n.e.	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	-	-	c.n.e.	Mercurio, PBDE	Non buono
Arcipelago Isole Minori	-	Mercurio	c.n.e.	c.n.e.	Non buono

Legenda:
a.n.e. = analisi non effettuata; c.n.e = campione non effettuato; NP = EQB 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. 2.3) 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), per molte delle quali in Toscana, da oltre 20 anni, si controllano le concentrazioni.

Fermo restando che con uno specifico Studio del 2015 (vedi par. 1.4) ARPAT ha identificato una serie di anomalie geochimiche lungo la costa toscana, definendo degli specifici valori di

fondo naturale (Tabella 7) per alcuni metalli nei sedimenti (e nelle acque), nel 2022 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, con ogni probabilità, dagli apporti dello scarico generale dello stabilimento Solvay²⁵; queste concentrazioni elevate, riscontrate anche nei 2 trienni precedenti, sembrano diminuire leggermente, soprattutto ad Antignano, forse perché l'apporto principale di mercurio è cessato dopo le modifiche alle celle elettrolitiche dell'impianto (2005-06);
- 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, con valori spesso superiori anche ai valori di fondo naturale senza una precisa spiegazione, ad eccezione, forse, dell'**arsenico** nei sedimenti di Elba Sud e di Piombino, probabilmente legato alle anomalie minerarie dell'Isola d'Elba orientale.

Tra le sostanze di sintesi, oltre ad un leggero superamento dello SQA per il dieldrin a Piombino, si deve sottolineare la particolare distribuzione nel 2022 dell'**esaclorobenzene** (HCB), che supera lo standard di qualità ambientale nelle stazioni di Elba Sud e Giglio, con concentrazioni molto elevate e mai rilevate prima in questi sedimenti. Viceversa, le stazioni di Antignano (Costa livornese) e di Rosignano, che dal 2016 al 2021 avevano fatto registrare i valori massimi e, quasi sempre, superiori allo SQA, analogamente a quanto osservato per il mercurio, tanto da ipotizzare una possibile comune fonte di contaminazione nello scarico a mare dello stabilimento Solvay (vedi sopra), nel 2022 sono rimaste appena al di sotto dello SQA (0,3-0,4 mg/kg s.s.).

4. 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>



ARPAT

Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

ARPAT, via del Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

Tel. 055.32061 - Fax 055.3206324

urp@arpat.toscana.it