

Monitoraggio acque marino costiere della Toscana

Attività di
monitoraggio
triennio 2019-2021

*Proposta di
classificazione*



Monitoraggio acque marino costiere della Toscana

Attività di
monitoraggio
triennio 2019-2021

*Proposta di
classificazione*

Firenze, 2022

MONITORAGGIO ACQUE MARINO COSTIERE DELLA TOSCANA

Attività di monitoraggio triennio 2019-2021

Proposta di classificazione

A cura di: ARPAT, Settore Mare

Autrice: *Daniela Verniani* - ARPAT, Settore Mare

Sopralluoghi e campionamenti:

Michela Ria, Enrico Cecchi, Cecilia Mancusi, Giacomo Marino, Andrea Nicastro, Riccardo Biancalana, Alessandro Voliani - ARPAT, Settore Mare

Analisi matrici biologiche:

Daniela Verniani (fitoplancton),
Cecilia Mancusi (Posidonia oceanica),
Enrico Cecchi, Michela Ria (macroalghe),
Riccardo Biancalana (sorting macrozoobenthos) - ARPAT Settore Mare

Analisi macrozoobenthos:

ARPAT, Laboratorio Area Vasta Costa, Biologia

Analisi nutrienti, granulometria, analisi chimiche:

ARPAT, Laboratori Area Vasta Costa e Area Vasta Centro



Editing e copertina: ARPAT, Settore Comunicazione, informazione e documentazione
Foto, ARPAT

ARPAT 2022

Pesci.....	66
6. Sedimenti.....	73
7. Conclusioni.....	80
7.1 Stato ecologico triennio 2019-2021.....	80
7.2 Stato chimico triennio 2019-2021.....	83
Normativa di riferimento.....	87
Bibliografia.....	89

1. Sintesi della relazione

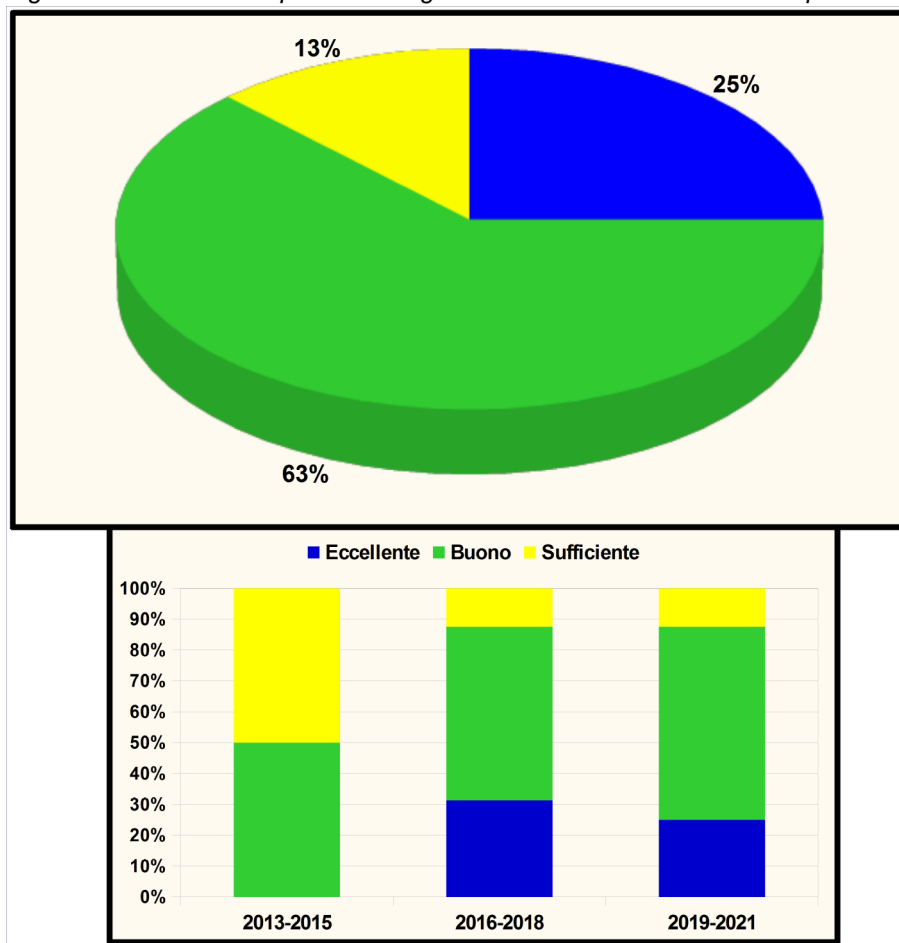
La classificazione dei corpi idrici costieri viene determinata in base allo stato ecologico (DM 260/2010 e ss.mm.ii.) e allo stato chimico (D.Lgs. 172/2015 e DGRT 264/2018). La rete di monitoraggio è stata pianificata in accordo con la Regione Toscana (DGRT 608/2015) e comprende, per ciascun corpo idrico, uno o più siti di campionamento, per un totale di 19 stazioni e 16 corpi idrici.

Lo **Stato ecologico** descrive la qualità delle acque integrando le informazioni provenienti dagli Elementi di Qualità Biologica - EQB (biomassa fitoplanctonica, macroalghe, macrozoobenthos e *Posidonia oceanica*) con quelle ottenute dagli elementi chimico-fisici a sostegno (indice TRIX) e dagli inquinanti chimici non prioritari (tabella 1/B D.Lgs 172/2015). L'elaborazione definitiva dello stato ecologico di un corpo idrico avviene alla fine di un triennio, quando è possibile effettuare la media dei risultati ottenuti in 3 anni di campionamento per la biomassa fitoplanctonica e per il TRIX e il completamento dei monitoraggi per il calcolo di tutti gli altri EQB che hanno cadenza triennale. I possibili livelli di classificazione sono 5, in ordine decrescente di qualità ambientale: "Elevato", "Buono", "Sufficiente", "Scarso", "Cattivo".

Lo stato ecologico del triennio 2019-2021 risulta Elevato/Buono per tutti i corpi idrici indagati, ad eccezione di Costa del Serchio e Costa Albegna, che risultano essere in classe Sufficiente. Anche il triennio precedente è stato caratterizzato da 2 corpi idrici in classe sufficiente (Costa Rosignano e Costa dell'Albegna) e il resto in classe Elevato/Buono. Diversa la situazione nel triennio 2013-2015, nel quale metà dei corpi idrici risultavano in classe Sufficiente mentre l'altra metà aveva un giudizio di qualità ambientale Buono (figura 1.1).

**Il giudizio di qualità ecologica dei corpi idrici della Toscana
per il triennio 2019-2021 risulta essere
per il 25% ELEVATO, per il 63% BUONO e per il 12% SUFFICIENTE**

Figura 1.1: Giudizio di qualità ecologica triennio 2019-2021 e trienni precedenti



Lo **Stato chimico** descrive la qualità dei corpi idrici in base alla presenza di sostanze chimiche prioritarie nelle acque e nel biota (tabelle 1/A del D.Lgs 172/2015). I possibili livelli di classificazione sono 2: “Buono” o “Mancato conseguimento dello stato buono”.

Nella matrice acqua, nel 2019 il **mercurio** non risponde ai requisiti richiesti dalla normativa (D.Lgs 172/2015 e DGRT 264/2018) in Costa pisana, e nel 2019 e nel 2020 in Costa del Cecina. Le concentrazioni di **benzo[ghi]pirilene** superano l'SQA-MA in Costa Piombino nel 2020 e Costa dell'Ombrone nel 2021, mentre il **di(2-etilesilftalato)** risulta eccedere la concentrazione dello standard di qualità ambientale in Costa Albegna nel 2020. Per quanto riguarda il parametro Tributilstagno e composti non sono stati rilevati superamenti del SQA – CMA, mentre solo Costa pisana, nel 2019, e Costa del Serchio, in tutti e tre gli anni del triennio in esame, risultano non conformi per il superamento del SQA - MA. Tutte le altre sostanze dell'elenco di priorità risultano inferiori allo standard ambientale e per lo più le loro concentrazioni sono al di sotto del limite di quantificazione. La percentuale dei corpi idrici che sono classificati come mancato conseguimento dello stato chimico Buono per la matrice acqua nel triennio 2019-2021 è del 44%, contro il 100% del triennio precedente.

Le analisi condotte sugli organismi di *Mytilus galloprovincialis* e *Donax trunculus* indicano che le concentrazioni rilevate per:

- **fluorantene e benzo[a]pirene** sono, in tutte le stazioni monitorate, minori del limite di quantificazione o dello standard di qualità ambientale.
- **diossina e composti diossina-simili** risultano superiori allo SQA - MA solo nel corpo idrico Costa Argentario, nel 2021.

Le analisi **nei pesci** per determinare la presenza di sostanze dell'elenco di priorità hanno indicato che

- il **mercurio** supera gli standard di qualità ambientali in tutti i corpi idrici monitorati;
- l'**acido perfluorottansolfonico (PFOS)** è stato rilevato con valori superiori allo standard di qualità ambientale solo in alcuni corpi idrici e non in tutti gli anni in esame (Costa Pisana, Costa livornese, Costa del Cecina, Costa Punt'Ala, Costa dell'Ombrone, Costa dell'Uccellina e Costa dell'Argentario);
- l'**esaclorobenzene** presenta superamenti dello standard ambientale nei corpi idrici di Costa Rosignano (2020 e 2021), Costa dell'Uccellina (2019 e 2020), Costa Punt'Ala (2021) e Costa dell'Argentario (2021);
- le concentrazioni dei composti **Difenileteri bromurati PBDE** risultano essere superiori allo standard di qualità ambientale in tutti i corpi idrici toscani;
- i **PCDF+PCDD+PBC-DL** superano lo standard di qualità ambientale nel periodo 2019-2021 in quattro corpi idrici: Costa livornese (2019), Costa Follonica (2021), Costa Punt'Ala (2020 e 2021) e Costa Argentario (2021), confermando, in questo ultimo caso, quanto già rilevato dalle analisi di questi composti nei mitili;
- il **dicofol**, l'**esaclorobutadiene** e il **DDT** risultano conformi in tutti i corpi idrici indagati in tutti e tre gli anni in esame.

**Integrando i risultati ottenuti dal monitoraggio delle acque superficiali e del biota
il 100% dei corpi idrici monitorati della Toscana risulta essere in
uno stato chimico NON BUONO.**

2. Introduzione

La Direttiva Europea 2000/60/CE (Water Framework Directive - WFD o Direttiva Quadro sulle acque - DQA), recepita a livello nazionale dal D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. e dal D.Lgs. 30/2009, 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 sia a livello amministrativo-gestionale. La direttiva persegue obiettivi ambiziosi come prevenire il deterioramento qualitativo e quantitativo dello stato delle acque, con il conseguente miglioramento, e assicurare un utilizzo sostenibile, basato sulla protezione a lungo termine, delle risorse idriche disponibili.

Inoltre si propone di:

- impedire un ulteriore deterioramento, 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 "buono" per tutte le acque entro il 2015 (sia per le acque superficiali che per quelle sotterranee) e mantenere, dove già esistente, lo stato "elevato". In caso di non raggiungimento degli obiettivi previsti entro il 2015, la norma prevede di individuare, giustificando opportunamente tale scelta, nuove scadenze per gli stessi: 2021 o 2027.

La Direttiva stabilisce che i singoli Stati Membri affrontino la tutela delle acque a livello di "bacino idrografico" e l'unità territoriale di riferimento per la gestione del bacino è individuata nel "distretto idrografico", area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere, indipendentemente dalle strutture. In ciascun distretto idrografico gli Stati Membri devono adoperarsi affinché vengano effettuate analisi delle caratteristiche del distretto, esami relativi all'impatto provocato dalle attività umane sullo stato delle acque superficiali e sotterranee e analisi di tipo economico dell'utilizzo idrico. Per ogni distretto, deve essere predisposto un programma di misure che tenga conto delle analisi effettuate e degli obiettivi ambientali fissati dalla Direttiva, con lo scopo ultimo di raggiungere uno stato "buono".

I programmi di misure sono indicati nei Piani di Gestione che gli Stati Membri devono predisporre per ogni singolo bacino idrografico e che rappresentano pertanto lo strumento di programmazione/attuazione per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti dalla direttiva.

Per stabilire lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici e valutare il raggiungimento del buono stato ambientale, le autorità competenti devono pertanto attuare programmi di monitoraggio in

modo tale da poter mettere in atto le contromisure necessarie al raggiungimento dell'obiettivo dato dalla Direttiva. Il D.Lgs. 152/2006 dà mandato alle Regioni di attuare il monitoraggio dei corpi idrici, attività che rappresenta uno strumento utile e necessario per conoscere lo stato della risorsa idrica e fornire un supporto alla pianificazione di azioni di risanamento a livello territoriale. Il monitoraggio, inoltre, consente di verificare nel tempo se le misure adottate sono state efficaci o meno. Ad ARPAT, in quanto ente tecnico di supporto alla Regione Toscana, è stato affidato il compito di svolgere le attività di monitoraggio dello stato della qualità ambientale dei corpi idrici. Con il D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. vengono definite le modalità con cui effettuare la classificazione dello stato di qualità dei corpi idrici: in particolare, per le acque marino costiere, sono previsti vari elementi per la definizione dello Stato Ecologico e contaminanti inorganici/organici nella matrice acqua per la definizione dello Stato Chimico.

Il successivo D.M. 56/2009 definisce 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 dello Stato Ecologico e dello Stato Chimico. Infine, nel successivo DM 260/2010, recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, sono definite le modalità per la classificazione dei corpi idrici da effettuare al termine del ciclo di monitoraggio. Il DM 260/2010, a seguito dell'emanazione della Decisione della Commissione europea 2018/229/UE del 12/02/2018, ha successivamente subito modifiche riguardanti i valori di delimitazioni tra classi di qualità.

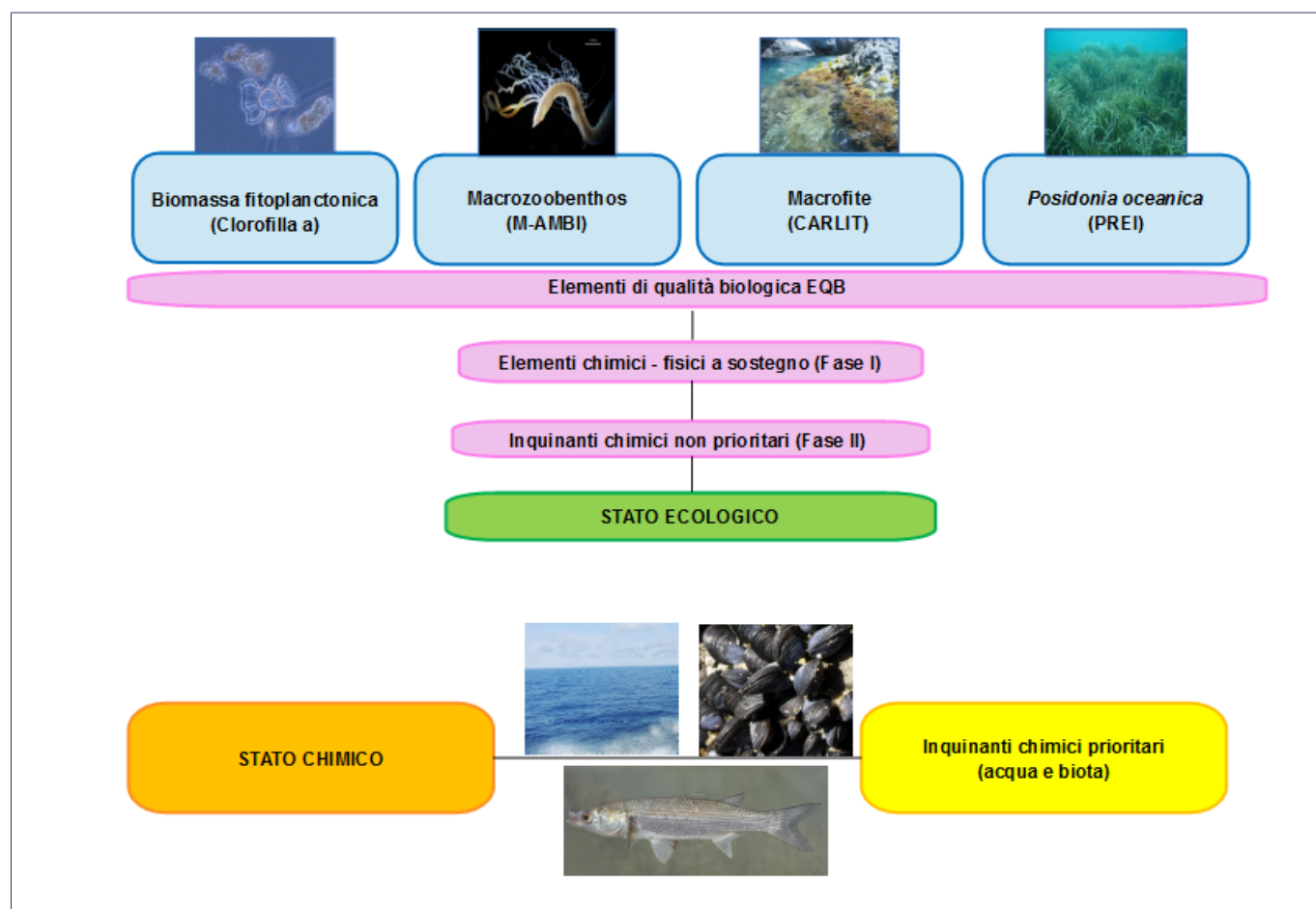
Per quanto riguarda invece lo stato chimico, lo Stato italiano ha emanato il D.Lgs. 172/15 in attuazione della direttiva 2013/39/UE, che modifica le direttive 2000/60/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie. Il provvedimento aggiunge 12 nuovi inquinanti alle 33 sostanze prioritarie già individuate per la loro pericolosità. Le sostanze aggiunte derivano da prodotti fitosanitari, biocidi, sostanze chimiche industriali e sottoprodotti di combustione. Il D.Lgs 172/15 modifica il Codice dell'Ambiente (D.Lgs 152/06) intervenendo sugli articoli 74 (definizioni) e 78 (Standard di qualità ambientale) e sull'allegato I alla Terza parte. L'obiettivo è quello di raggiungere il buono stato chimico delle acque entro il 2021 per le le sostanze chimiche individuate in passato e entro il 2027 per le nuove 12 sostanze.

Inoltre, in accordo con il punto 7 del capoverso A.2.8, Allegato 1 alla parte III del D.Lgs. 152/06, la Regione Toscana ha dato mandato ad ARPAT di verificare e stabilire quali fossero i valori di fondo naturali in acqua e sedimenti: la presenza di metalli in concentrazioni superiori agli standard ambientali, rilevata nel periodo di monitoraggio 2010-2013, faceva presupporre infatti un'ipotetica origine naturale. I risultati dello studio pubblicato da ARPAT "Studio per la definizione dei Valori di Fondo naturale nei sedimenti e nelle acque marino costiere" sono stati recepiti con DGRT 1273/2016 e utilizzati per modificare gli standard di qualità ambientale stabiliti dalle tabelle 1/A e 1/B. Tale delibera è stata successivamente modificata, con sostituzione dell'allegato A con allegato B nella successiva delibera regionale n. 264 del 20/3/2018.

3. Stato Ecologico e stato chimico delle acque marino costiere

La classificazione dei corpi idrici costieri viene determinata in base allo stato ecologico, secondo le indicazioni della Direttiva 200/60/CE. A ciascun corpo idrico vengono assegnati uno stato ecologico e uno stato chimico (figura 3.1). Lo Stato Ecologico è dato dagli esiti dei monitoraggi degli elementi di qualità biologica, di qualità fisico-chimica a sostegno e degli inquinanti specifici non appartenenti all'elenco di priorità (tabella 1/B colonna d'acqua del D.Lgs 172/15), secondo quanto riportato nelle indicazioni del D.M. 260/2010 e le successive modifiche apportate dalla Decisione della Commissione Europea 2018/229/UE; lo Stato Chimico invece è determinato dai risultati delle analisi chimiche condotte su acqua e biota in base a quanto stabilito dal D.Lgs 172/2015 e alla DGRT 264/2018.

Figura 3.1 - Classificazione ecologica e chimica dei corpi idrici



3.1 Stato ecologico

La classificazione dello stato ecologico viene determinata **al termine di un ciclo triennale** di campionamenti per il **monitoraggio operativo** e il DM 260/2010 stabilisce che lo stato ecologico del corpo idrico sia classificato in base alla classe più bassa, risultante dai dati di monitoraggio 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 dei risultati ottenuti in FASE I con i dati degli inquinanti chimici non prioritari

3.1.1 Elementi di qualità biologica

Biomassa fitoplanctonica – Viene stimata in funzione della quantità di clorofilla *a* misurata in superficie. Occorre fare riferimento sia ai rapporti di qualità ecologica (EQR) sia ai valori assoluti, espressi in mg/m³ di concentrazione di clorofilla *a*. Secondo questo EQB la classificazione dello stato ecologico di un corpo idrico deve tener conto, per il confronto con i valori della tabella, della variazione, in un periodo di almeno un anno, della clorofilla *a*. Ogni corpo idrico viene monitorato con frequenza bimestrale. Alla fine del ciclo del monitoraggio operativo si ottengono per ciascun corpo idrico 3 valori di clorofilla *a*, uno per ogni anno di monitoraggio: **il valore da attribuire al sito è dato dalla media di questi 3 valori annuali**.

Macrozoobenthos – Per i macroinvertebrati bentonici si applica l'Indice M-AMBI: questo è un indice multivariato che deriva da una evoluzione dell'AMBI integrato con l'Indice di diversità di Shannon-Wiener ed il numero di specie (S). La modalità di calcolo dell'M-AMBI prevede l'elaborazione delle suddette 3 componenti con tecniche di analisi statistica multivariata. Il valore dell'M-AMBI varia tra 0 e 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Ogni corpo idrico viene esaminato con cadenza triennale.

Macrofite – Per le macroalghe viene applicato l'indice CARLIT (CARtografia LITorale). Il metodo prende in considerazione le comunità superficiali di macroalghe del substrato roccioso che, rispondendo in tempi relativamente brevi a cambiamenti delle condizioni ambientali, sono adatte per la valutazione dello stato ecologico delle acque marine. Ogni corpo idrico viene monitorato con frequenza triennale.

Angiosperme – Il giudizio di qualità ecologica per la prateria a *Posidonia oceanica* è calcolato mediante l'indice ecologico PREI (Posidonia Rapid Easy Index), che integra a livello informativo gli effetti di differenti cause riconducibili agli impatti delle attività antropiche come le alterazioni fisiche, chimiche e biologiche, indotte da agenti inquinanti nelle acque e nei sedimenti, o da significative alterazioni fisico-morfologiche del tratto costiero. L'indice viene calcolato elaborando i dati relativi ai seguenti parametri: densità foliare per fascio, biomassa degli epifiti, biomassa foliare, profondità e tipologia del limite inferiore. Il valore del PREI varia tra 0 e 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Il risultato finale dell'applicazione dell'Indice PREI non fornisce un valore assoluto, ma direttamente il rapporto di qualità

ecologica (RQE). Lo stato cattivo corrisponde a una recente non sopravvivenza di *P. oceanica*, ovvero, alla sua scomparsa da meno cinque anni. Anche in questo caso ogni corpo idrico viene monitorato con frequenza triennale.

Una volta analizzati questi elementi biologici e calcolati i loro indici, si procede ad assegnare una prima classificazione che dovrà essere confermata o modificata, tramite l'utilizzo degli elementi di qualità fisico-chimica (FASE I) e poi degli inquinanti chimici non prioritari (FASE II).

3.1.2 Elementi chimico fisici a sostegno (FASE I)

Nell'ambito delle acque marino costiere gli elementi di qualità fisico-chimica, quali ossigeno disciolto e nutrienti, concorrono alla definizione dello stato ecologico stesso, mentre gli elementi idromorfologici (regime correntometrico, esposizione moto ondoso, profondità e composizione del substrato) devono essere utilizzati per migliorare l'interpretazione dei risultati.

La temperatura e la salinità contribuiscono alla definizione della densità dell'acqua di mare e, quindi, della stabilità, parametro su cui è basata la tipizzazione su base idrologica. Dalla stabilità della colonna d'acqua discende la tipo-specificità delle metriche e degli indici utilizzati per la classificazione degli EQB. La trasparenza, misurata tramite Disco Secchi, è impiegata come elemento ausiliario per integrare e migliorare l'interpretazione del monitoraggio degli EQB, in modo da pervenire all'assegnazione di uno stato ecologico certo. 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.

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

dove:

Chl *a* = Clorofilla "a" in µg/L OD% = % di ossigeno disciolto in valore assoluto della saturazione

DIN = azoto solubile in µg/L P tot = fosforo totale in µg/L

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 questo valore è uguale a 4,0. Considerando che il monitoraggio degli elementi chimico fisici è annuale, verrà attribuito al corpo idrico, **allo scadere dei 3 anni, un valore pari al valore medio dei 3 TRIX ottenuti durante il ciclo di monitoraggio.**

3.1.3 Inquinanti chimici non prioritari (FASE II)

Il D.Lgs. 172/2015 sostituisce la tabella 1/B del DM 260/2010 con una tabella analoga che aggiorna le sostanze da ricercare. In base alle conoscenze del territorio e alle pressioni ambientali su di esso esercitate, nel triennio ARPAT ha condotto indagini sulla matrice acqua per la ricerca degli analiti riportati nella tabella 3.1.

Tabella 3.1 - 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			

La valutazione dello stato di qualità dei corpi idrici viene effettuata sulla base della *tabella 4.5/a "Definizione dello stato ecologico elevato, buono, e sufficiente per gli elementi chimici a sostegno"* del DM 260/2010, modificata con il D.Lgs. 172/2015 che definisce Elevato lo stato di qualità per gli inquinanti specifici a sostegno degli EQB quando la *"media delle concentrazioni delle sostanze di sintesi, misurate nell'arco di un anno, sono minori o uguali ai limiti di quantificazione delle migliori tecniche a costi sostenibili. Le concentrazioni delle sostanze di origine naturale ricadono entro i livelli di fondo naturale."*

3.2 Stato chimico

Il D.Lgs. 172/2015 prevede che, “**ai fini della classificazione delle acque superficiali, il monitoraggio chimico**” venga eseguito “**nella colonna d'acqua e nel biota**”, introducendo (art. 78) “standard di qualità ambientale” (SQA) obbligatori anche per questa seconda matrice (biota), distinguendo quali parametri ricercare nei pesci e nei molluschi/gasteropodi.

Nella tabella 3.2 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 3.2 - Inquinanti chimici monitorati nella matrice acqua

N.	Sostanza	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
9 ter	DDT totale (E)	n.a		Benzo(g,h,i)perilene (PP)	191-24-2
	p.p'-DDT (P)	50-29-3		Indeno(1,2,3- cd)pirene (PP)	193-39-5
10	1,2-Dicloroetano (P)	107-06-2	29	Simazina (P)	122-34-9
11	Diclorometano (P)	75-09-2	29 bis	Tetracloroetilene (E)	127-18-4
12	Di(2-etilesil)ftalato - DEHP (P)	117-81-7	29 ter	Tricloroetilene (E)	79-01-6
13	Diuron (P)	330-54-1	30	Tributilstagno (composti) (tributilstagnocazione)	36643-28-4
14	Endosulfan (PP)	115-29-7	31	Triclorobenzeni P	12002-48-1
15	Fluorantene (P)	206-44-0	32	Triclorometano (P)	67-66-3
16	Esaclorobenzene (PP)	118-74-1	33	Trifluralin (P)	1582-09-8
17	Esaclorobutadiene (PP)	87-68-3			

La matrice biota viene monitorata con cadenza annuale e le analisi eseguite su campioni di pesci/mitili sono quelle indicate dalla tabella 1/A del D.Lgs. e riportate nella successiva tabella 3.3. Per questo particolare tipo di monitoraggio si fa riferimento alle linee guida emanate da ISPRA in ottemperanza al D.Lgs. 172/15 (Art. 78-undecies comma g), “Linee guida per il monitoraggio delle sostanze prioritarie (secondo D.Lgs 172/15)”.

Tabella 3.3 - Inquinanti chimici monitorati nella matrice biota

N.	Sostanza	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

Attualmente i laboratori ARPAT non dispongono di risorse strumentali ottimali ai fini dell'implementazione dei metodi per la ricerca dei contaminanti previsti dal D.Lgs 172/15 per la matrice pesci, quali Esabromociclododecano (HBCDD), Eptacloro e eptacloro epossido.

Il D.Lgs. 172/15 specifica chiaramente che la classificazione delle acque superficiali debba essere eseguita nella colonna d'acqua e nel biota: le Regioni e le Province autonome possono utilizzare, limitatamente alle sostanze riportate nella tabella 2/A, la matrice sedimento al fine della classificazione dei corpi idrici marino costieri e di transizione. ARPAT, infine, esegue campionamenti di sedimenti marini con l'obiettivo di avere una continuità di informazioni sui sedimenti per una migliore interpretazione dei dati ambientali. Il campionamento è previsto con frequenza annuale. I campionamenti sono volti alla ricerca di tutti i parametri contenuti nella tabelle 2/A, 3/A e 3/B del D.Lgs.172/15 (tabella 3.4)

Tabella 3.4 - Inquinanti chimici monitorati nella matrice sedimenti

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	
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

4. Struttura della rete di Monitoraggio

Il DM 131/2008 recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici, recepito dalla Regione Toscana con il DGRT 416/2009, definisce le metodologie per effettuare la tipizzazione delle acque superficiali, l'individuazione dei corpi idrici superficiali e l'analisi delle pressioni e degli impatti. I criteri per la tipizzazione dei corpi idrici consentono la caratterizzazione delle acque costiere con valori medi annuali di stabilità verticale (N) della colonna d'acqua secondo le tre tipologie:

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

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

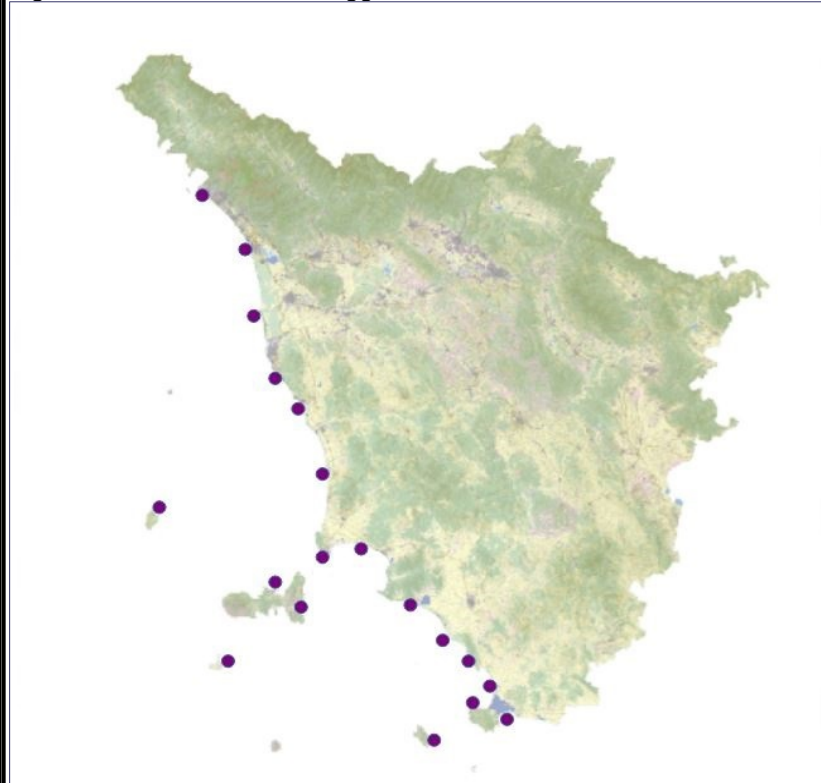
Integrando la classe di stabilità con le classi di tipologia costiera basate su descrittori geomorfologici, ai corpi idrici toscani sono state attribuite le seguenti classi A3 (rilievi montuosi-bassa stabilità) E3 (Pianura alluvionale- bassa stabilità) e F3 (Pianura di dune - bassa stabilità). In generale 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 - 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 con la DGRT 100/2010 ha approvato 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 con 19 stazioni, lungo i 442 Km di litorale (figura 4.1). Per le coordinate dei punti di campionamento relative alle singole matrici indagate, si rimanda alla DGRT 608/2015.

Tutte le indagini sono state effettuate tramite l'utilizzo del battello Poseidon, indispensabile per il prelievo dei campioni di acqua e di sedimento, nonché dei parametri biologici, costituendo la base di appoggio per gli operatori subacquei.

Figura 4.1 - Aree di monitoraggio marino costiere in Toscana



Corpo Idrico	Codice corpo idrico	Stazione	Codice stazione
Costa Versilia	IT09R000TN001AC	Marina Carrara	IT09S1662
Costa Serchio	IT09R019SE002AC	Nettuno	IT09S0966
Costa Pisana	IT09N002AR003AC	Fiume Morto	IT09S0961
Costa Livornese	IT09R000TC004AC	Antignano	IT09S0955
Costa di Rosignano	IT09R000TC005AC	Rosignano Lillatro	IT09S0968
Costa del Cecina	IT09R000TC006AC	Marina Castagneto	IT09S0958
Costa Piombino	IT09R000TC007AC	Salivoli	IT09S1663
Costa Follonica	IT09R000TC008AC	Carbonifera	IT09S0957
Costa Punt'Ala	IT09R000OM009AC	Foce Bruna	IT09S1661
Costa Ombrone	IT09R000OM010AC	Foce Ombrone	IT09S0962
Costa Uccellina	IT09R000OM011AC	Cala Forno	IT09S1660
Costa Albegna	IT09R000OM012AC	Foce Albegna	IT09S1659
Costa Argentario	IT09R000OM013AC	Porto S.Stefano	IT09S1664
Costa Burano	IT09R000OM014AC	Ansedonia	IT09S0954
Arcipelago Isola d'Elba	IT09R000TC015AC	Elba Nord	IT09S0959
		Elba Sud	IT09S0964
Arcipelago Isole Minori	IT09R000TC016AC	Giglio	IT09S2447
		Capraia	IT09S2284
		Montecristo	IT09S0965

5. Risultati e Classificazione

Il primo anno del triennio è stato caratterizzato da intense precipitazioni, soprattutto nel periodo autunnale, che hanno interessato in particolare le zone del nord e centro Italia, non permettendo di completare l'ultima campagna dell'anno (novembre-dicembre). Sono stati effettuati 159 sopralluoghi/campionamenti rispetto ai 169 previsti (attività svolta al 94%)

A partire da marzo del 2020 con lo scopo di contenere il contagio da Sars - Covid 19, le attività economiche considerate non essenziali, come le attività industriali, le attività agricole legate alla zootecnia e la pesca, i traffici marittimi, il turismo, sono state interrotte o fortemente ridotte. In questo contesto le attività di campionamento da parte del personale del Settore Mare si sono interrotte nel periodo marzo aprile a causa del lockdown. Nonostante il fermo, il Settore è riuscito a garantire l'87% delle attività previste.

Per quanto riguarda quest'ultimo anno del triennio, a causa di un grave guasto alla M/n Poseidon, non è stato possibile effettuare la II campagna di campionamenti relativi alla matrice acqua: per l'anno 2021 sono stati effettuati 154 campionamenti/sopralluoghi invece di 171, corrispondenti a circa il 90% del totale previsto.

In generale, le attività svolte nel triennio 2019-2021 sono state il 90% di quelle previste (459 su 508) e i dati analitici prodotti sono elencati in tabella (tabella 5.1).

Tabella 5.1 - Attività svolte da ARPAT nel triennio 2019-2021: Campioni e parametri

Campioni e parametri	Numero analisi nel triennio 2019-2021
Campioni di fitoplancton	263
Campioni di macrozoobenthos	18
Campioni di macroalghe	10
Campioni di Posidonia oceanica (aree monitorate)	12
Campioni sedimento	57
Campioni/sopralluoghi biota	75
Immersioni subacquee	50
Parametri sonda multiparametrica	19.873
Parametri nutrienti	1.708
Parametri tabella 1/A (acqua e biota) D.Lgs 172/15	12.276
Parametri tabella 1/B (acqua) D.Lgs 172/15	6.575
Parametri tabelle 2/A, 3/A e 3/B (sedimenti)	1.482

5.1 Stato ecologico

5.1.1 *Biomassa fitoplanctonica: popolamenti fitoplanctonici e clorofilla a, triennio 2019-2021*

Il fitoplancton, essendo il principale produttore primario in ambiente acquatico, si trova alla base della catena alimentare e permette il sostentamento dell'intera comunità biologica dell'ecosistema di cui fa parte. La concentrazione fitoplanctonica presenta notevoli variazioni stagionali dovute essenzialmente alla diversa radiazione luminosa, alla disponibilità delle sostanze nutritive, in particolare azoto e fosforo, e alle competizioni biologiche. L'intensità luminosa è in grado di influire sulla distribuzione delle varie specie lungo la colonna d'acqua. L'influenza dell'intensità luminosa può anche essere di tipo negativo: un eccesso di intensità luminosa può anche avere effetti inibitori sulla fotosintesi. Nelle regioni temperate le condizioni favorevoli per lo sviluppo vanno dalla primavera all'autunno. L'aumento di temperatura in generale, se non eccessivo, favorisce i processi metabolici; in altre parole ad una maggiore temperatura corrisponde una maggiore produzione di biomassa fitoplanctonica. Inoltre, la temperatura può condizionare altri fattori, come la solubilità dell'ossigeno e i movimenti delle masse d'acqua, ai quali il plancton è per definizione vincolato. La presenza dei nutrienti nelle acque marine è legata all'immissione degli stessi da parte dei corpi fluviali e alla loro mobilitazione dalle acque più profonde, dove avviene la degradazione della sostanza organica e dove quindi essi tendono ad accumularsi. Una grande disponibilità di nutrienti ha un effetto positivo fino a quando la biomassa fitoplanctonica prodotta viene consumata provocando un aumento proporzionale di biomassa nei livelli trofici successivi. Il fitoplancton che non è stato utilizzato come nutrimento, quando termina il proprio ciclo vitale si deposita sul fondo decomponendosi. Se la biomassa fitoplanctonica è grande, l'effetto di questa decomposizione, in concomitanza con incrementi di temperatura, stasi idrodinamica e stratificazione termica e salina, può portare a una carenza (ipossia) o assenza (anossia) di ossigeno nelle acque di fondo. Infine, le variazioni stagionali del fitoplancton dipendono dalle interazioni fra le diverse specie dell'ecosistema acquatico, quali competizione e predazione.

Le stazioni della rete di monitoraggio per la determinazione quali-quantitativa del fitoplancton sono state indagate con frequenza di campionamento bimestrale, per un totale, per l'anno 2021, di 87 campioni (totale campioni nel triennio 263).

L'analisi dei campioni è stata effettuata utilizzando il metodo di Uthermöhl, con volumi di sedimentazione in genere di 25-50 ml (raramente e solo per le stazioni di Nettuno e Fiume Morto sono state usate camere da 10 ml). I conteggi sono stati condotti sulla base delle indicazioni riportate nelle norme UNI EN 15204 del 2006 e UNI EN 15972 del 2012.

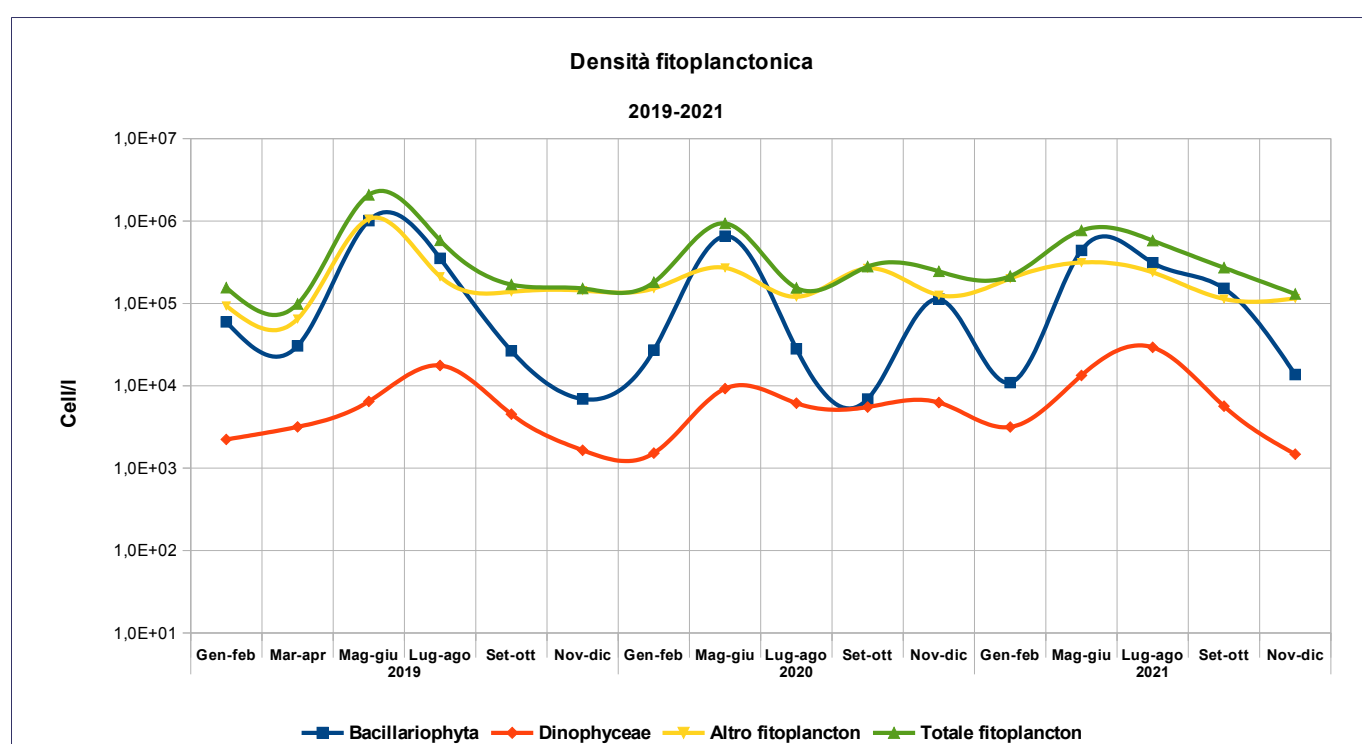
La determinazione quali-quantitativa del fitoplancton viene effettuata in base all'abbondanza come cell/L e alla composizione di:

- diatomee (*phylum* Bacillariophyta);
- dinoflagellati (*phylum* Miozoa, superclasse Dinoflagellata);

- “Altro fitoplancton” ovvero fitoflagellati e non, appartenente a vari *phyla* come Cyanobacteria, Chlorophyta/Charophyta, Cryptophyta, a classi come Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Rhaphidophyceae, Xanthophyceae (phylum Ochrophyta), Coccolithophyceae (phylum Haptophyta), Euglenophyceae (Phylum Euglenozoa), a ordini come Ebriida (phylum Cercozoa), e infine, Altro Fitoplancton indeterminato.

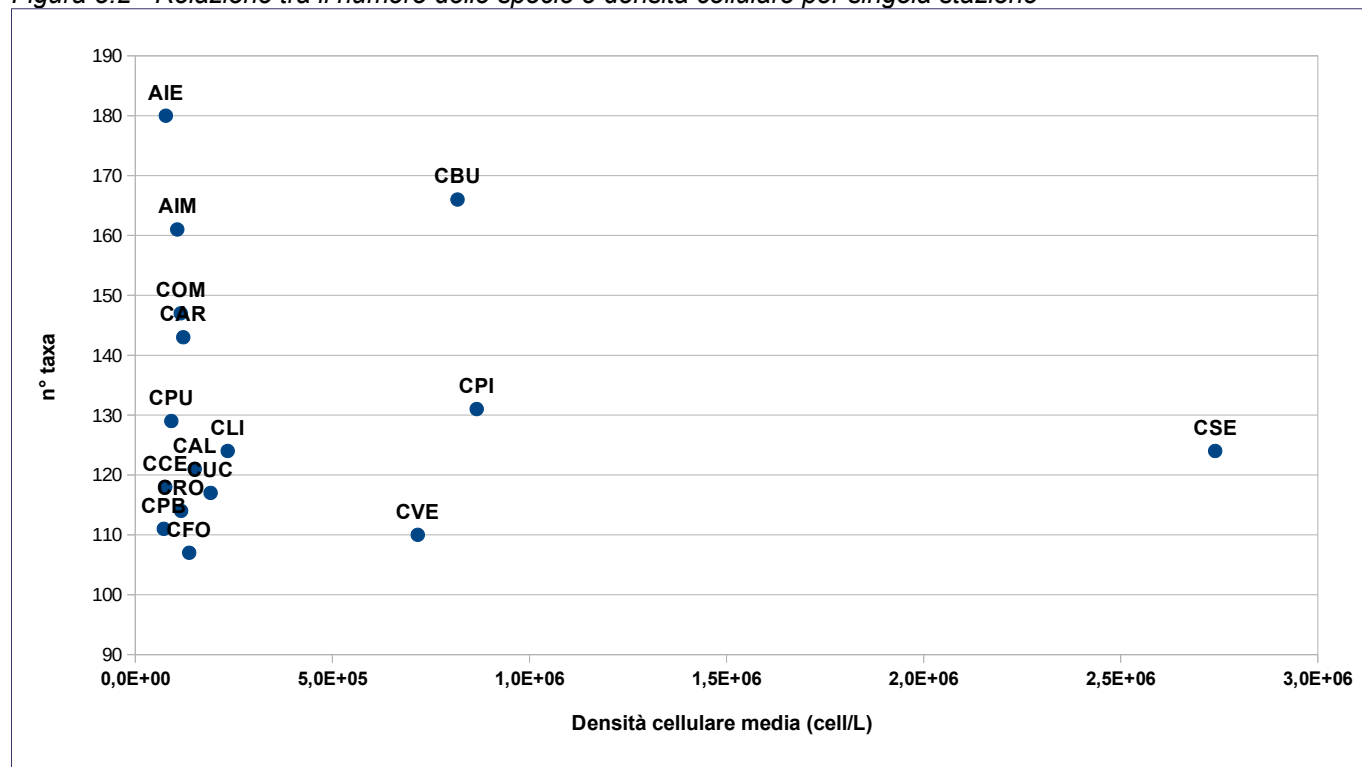
L’“Altro fitoplancton” è composto principalmente da organismi appartenenti alla classe dimensionale del nano-fitoplancton (<20µm) e spesso può rappresentare una frazione elevata della popolazione microalgale totale. Per la tassonomia del fitoplancton questo laboratorio fa riferimento a quanto riportato nel sito www.algaebase.ORG.

Figura 5.1 - Concentrazione del fitoplancton totale nel triennio 2019-2021



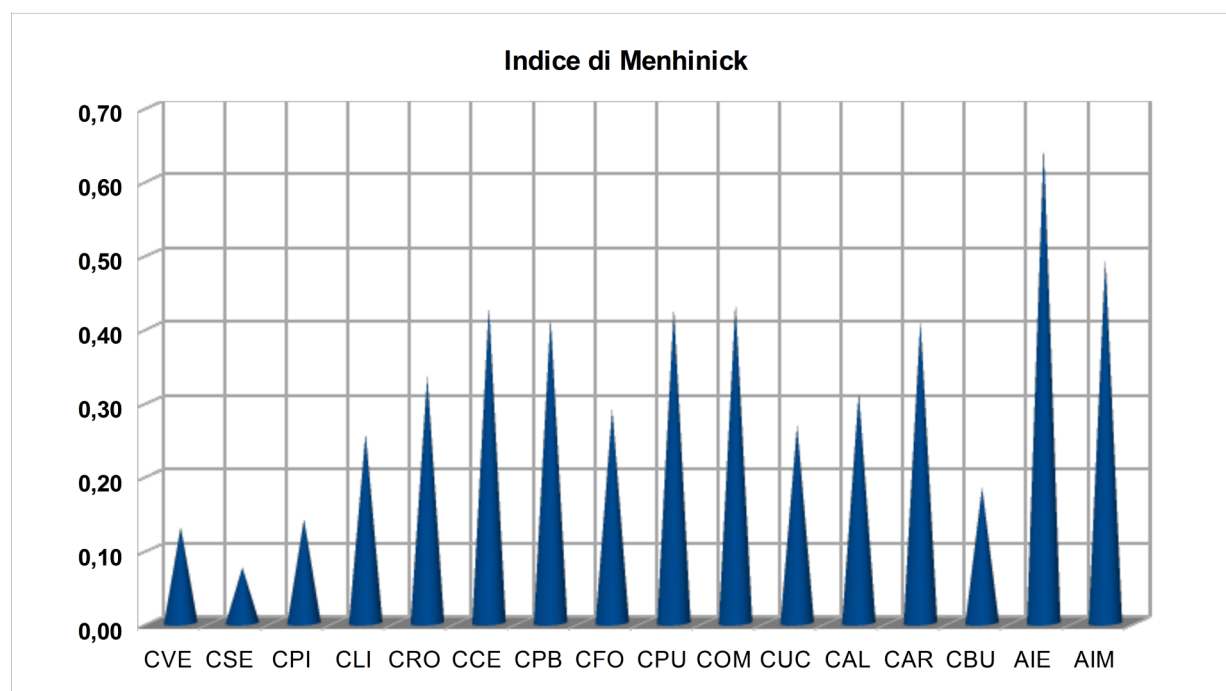
Le concentrazioni medie di fitoplancton nel 2021 presentano il classico andamento stagionale con densità maggiori nei mesi primaverili per diatomee e “altro fitoplancton” e estivi per i dinoflagellati, in analogia con quanto riscontrato negli anni precedenti, come indicato in figura 5.1. Nel 2021 sono stati rinvenuti un massimo di 179 *taxa* (Arcipelago Isola d’Elba) e un minimo di 106 (Costa Follonica), mentre la densità cellulare media più alta è pari a $2,7 \times 10^6$ cell/L (Costa del Serchio) e la più bassa è di $7,2 \times 10^4$ cell/L (Costa Piombino). La figura 5.2 mostra il rapporto tra questi due descrittori. In generale, 12 dei 16 corpi idrici della costa toscana risultano avere valori medi di concentrazione fitoplanctonica inferiore a $5,0 \times 10^5$ cell/L, tre (Costa Versilia, Costa Pisana e Costa Burano) tra $5,0 \times 10^5$ e $1,0 \times 10^6$ cell/L e uno, Costa del Serchio, superiore a $2,0 \times 10^6$ cell/L.

Figura 5.2 - Relazione tra il numero delle specie e densità cellulare per singola stazione



Per descrivere meglio la ricchezza tassonomica tra i vari indici è stato scelto di utilizzare in questa relazione l'indice di Menhinick (S/\sqrt{N}). Tale indice viene considerato adatto come indicatore di eutrofizzazione nelle acque di transizione (Facca, et al. 2014) e acque costiere (Spatharis & Tsirtsis, 2010, Bužančić et al. 2016): più basso è il valore, più la stazione presenta un minore equilibrio a livello eutrofico (figura 5.3).

Figura 5.3 - Indice di ricchezza specifica di Menhinick - Anno -2021



I corpi idrici con un basso valore di indice di Menhinick, e quindi con un possibile squilibrio trofico, risultano essere Costa del Serchio (0,07), Costa Versilia (0,13), Costa Pisana (0,14) e Costa Burano (0,18). I valori più alti sono stati calcolati nei corpi idrici insulari (0,6 per Arcipelago Isola d'Elba e 0,5 per Arcipelago Isole Minori).

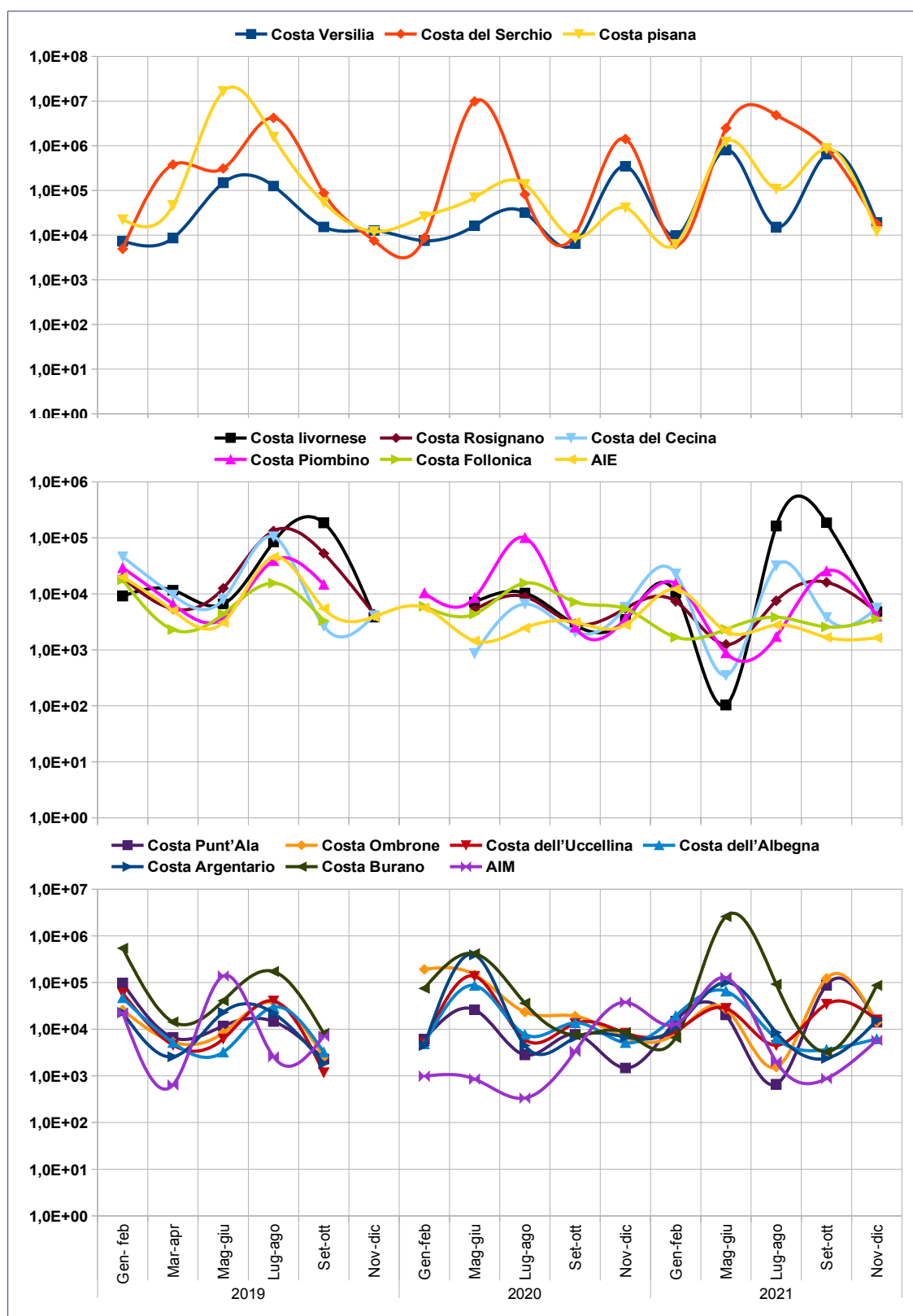
Bacillariophyta

Le diatomee rappresentano il 47% dell'intero popolamento fitoplanctonico costiero della regione. I corpi idrici situati nella zona settentrionale della Toscana presentano valori di abbondanza mediamente più alti rispetto ai restanti (figura 5.4), e gli andamenti risultano molto diversi tra loro e tra il resto delle stazioni costiere toscane.

2019 - Costa Versilia è, dei tre corpi idrici situati a nord della Toscana, quello che presenta i valori fitoplanctonici più bassi, con un unico picco che va da maggio fino ad agosto ($1,3-1,5 \times 10^5$ cell/L), dovuto alla presenza di *Pseudo-nitzschia* spp. del “*Nitzschia delicatissima* Complex” e *Leptocylindrus danicus*. Costa del Serchio presenta due picchi: uno a marzo/aprile e l'altro, maggiore, a luglio/agosto. Il picco primaverile è caratterizzato da un aumento della densità di microalghe per la presenza di organismi appartenenti al genere *Chaetoceros*, in particolare *Chaetoceros socialis* ($1,6 \times 10^4$ cell/L) e *Chaetoceros thronsenii* ($3,3 \times 10^5$ cell/L). L'altro picco, quello estivo, è invece prevalentemente costituito da *Cyclotella atomus* ($1,9 \times 10^5$ cell/L), *Skeletonema pseudocostatum* ($1,1 \times 10^4$ cell/L) e *Chaetoceros decipiens* ($5,7 \times 10^3$ cell/L). Costa pisana presenta la maggiore densità di diatomee tra tutte le aree monitorate in Toscana e in particolare presenta un picco importato nel periodo maggio/giugno, $1,7 \times 10^7$ cell/L, per la fioritura di *Skeletonema pseudocostatum*. Il tratto centrale della costa toscana, comprendente anche il corpo idrico Arcipelago Isola d'Elba, presenta andamenti analoghi per tutti i corpi idrici con valori maggiori nel periodo luglio/agosto. Il valore minimo in questo tratto di costa è di $4,4 \times 10^3$ cell/L in Costa Follonica in marzo/aprile e il massimo di $1,8 \times 10^5$ cell/L in Costa livornese in settembre/ottobre (unico corpo idrico del tratto centrale ad avere una curva spostata con il picco massimo in questo periodo dell'anno). Le zone della parte meridionale, aree caratterizzate dalla presenza di diversi fiumi, presentano un unico picco massimo nel periodo luglio/agosto: le eccezioni sono costituite da Arcipelago Isole Minori con picco a maggio/giugno ($1,4 \times 10^5$ cell/L) e da Costa Burano, che presenta due picchi, uno invernale e uno estivo (rispettivamente $5,4 \times 10^5$ e $4,1 \times 10^4$ cell/L).

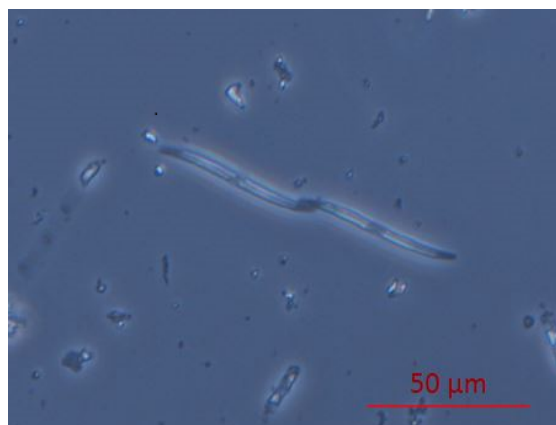
2020 - La concentrazione massima delle diatomee è data da una fioritura di *Skeletonema pseudocostatum* ($9,8 \times 10^6$ cell/L) a maggio in Costa del Serchio, mentre la minima è stata rilevata a settembre nel corpo idrico Arcipelago Isole Minori ($3,3 \times 10^6$ cell/L). I taxa di diatomee più rappresentati sono *Cylindrotheca closterium*, *Bacillariophyceae* indet, *Nitzschia* spp., *Nitzschia longissima*, *Pseudo-nitzschia* spp. del “*Nitzschia delicatissima* Complex”. *Skeletonema pseudocostatum* ha un valore medio annuo elevato ma è dovuto agli episodi di fioritura che hanno interessato Costa del Serchio nel periodo primaverile ($9,8 \times 10^6$ cell/L).

Figura 5.4 - Andamenti concentrazione media microalghe: Bacillariophyta (cell/L)



2021 - La concentrazione massima delle diatomee è data da una fioritura di *Skeletonema pseudocostatum* ($4,0 \times 10^6$ cell/L) a luglio in Costa del Serchio, mentre la minima è stata rilevata a maggio nel corpo idrico Costa livornese ($1,0 \times 10^2$ cell/L). Il mese di maggio presenta valori alti di diatomee in Costa del Serchio ($2,5 \times 10^6$ cell/L) e Costa pisana ($1,2 \times 10^6$ cell/L) per la presenza di *Chaetoceros constrictus* (circa 85% delle diatomee totali) e in Costa Burano ($2,6 \times 10^6$ cell/L): in questo caso l'alta concentrazione delle Bacillariophyta è dovuta alla presenza di specie *Tenuicylindrus belgicus* ($2,1 \times 10^6$ cell/L), *Leptocylindrus danicus* ($3,9 \times 10^5$ cell/L) e *Leptocylindrus convexus* ($9,0 \times 10^4$ cell/L). Il tratto centrale della costa toscana, comprendente anche il corpo idrico Arcipelago Isola d'Elba, presenta andamenti analoghi per tutti i corpi idrici con valori maggiori nel periodo luglio/agosto. La concentrazione minima e massima di diatomee in questo tratto di costa è stata ritrovata nello stesso corpo idrico Costa livornese: di $1,0 \times 10^2$ cell/L in maggio/giugno e $1,9 \times 10^5$ cell/L in settembre/ottobre per la presenza di *Pseudo-nitzschia* spp. del "*Nitzschia delicatissima* Complex" e *Asterionellopsis glacialis*. Le zone della parte meridionale, aree caratterizzate dalla presenza di diversi fiumi, presentano un unico picco massimo nel periodo luglio/agosto.

Tra le diatomee rinvenute lungo la costa occorre segnalare la presenza di *Pseudo-nitzschia multistriata* (H.Takano) H.Takano 1995 (figura 5.5), una specie non indigena del bacino mediterraneo. Per "**Specie non indigene**" (Non Indigenous Species o NIS) si intendono tutti quegli organismi introdotti al di fuori della loro area naturale di distribuzione, includendo ogni parte, gameti o frammenti, in grado di sopravvivere e riprodursi. Le NIS entrano nel Mar Mediterraneo o per introduzione volontaria da parte dell'uomo (importazione di specie per acquacoltura o per acquariofilia, importazione di esche vive) o involontaria (traffico marittimo, organismi associati a specie importate per acquacoltura) e per immigrazione dal Canale di Suez. Per quanto riguarda le specie che penetrano nel Mediterraneo per immigrazione naturale dallo stretto di Gibilterra in risposta a cambiamenti ambientali, queste non vengono considerate aliene ma specie in espansione del loro areale naturale, in base al Reg.EU 1143/2014. La *Pseudo-nitzschia multistriata* è una microalga potenzialmente tossica per la produzione di tossine ASP (*Amnesic Shellfish Poisoning*) ed è facilmente riconoscibile per la tipica forma sinusoidale. Questa diatomea è stata rinvenuta in diversi corpi idrici toscani ma i valori di concentrazione maggiori sono stati rilevati nella zona settentrionale (figura 5.5).

Figura 5.5 - *Pseudo-nitzschia multistriata* (H. Takano) H. Takano 1995: ritrovamenti anno 2020-2021


Corpo idrico	Campagna	<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i> (cell/l)		Corpo idrico	Campagna	<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i> (cell/l)
Costa Versilia	gen/feb 2020	78		Costa Livornese	mag/giu 2020	77
	nov/dic 2020	16798			set/ott 2021	271
Costa del Serchio	mag/giu 2020	155		Costa Rosignano	mag/giu 2020	158
	set/ott 2020	1234			set/ott 2020	79
	nov /dic 2020	10807		Costa del Cecina	lug/ago 2021	422
	lug/ago 2021	70540		Costa Piombino	lug/ago 2021	110
Costa pisana	mag/giu 2020	230		Costa Follonica	nov /dic 2020	38
	set/ott 2020	195		Costa Ombrone	nov /dic 2021	117
	nov /dic 2020	1759		Costa Burano	gen/feb 2020	493
	lug/ago 2021	2157			nov /dic 2021	191
	nov /dic 2021	385				

Dinoflagellati

I dinoflagellati rappresentano solo l'1% dell'intero popolamento fitoplanctonico costiero toscano e sono in i tutti corpi idrici particolarmente abbondanti da maggio ad agosto (figura 5.6).

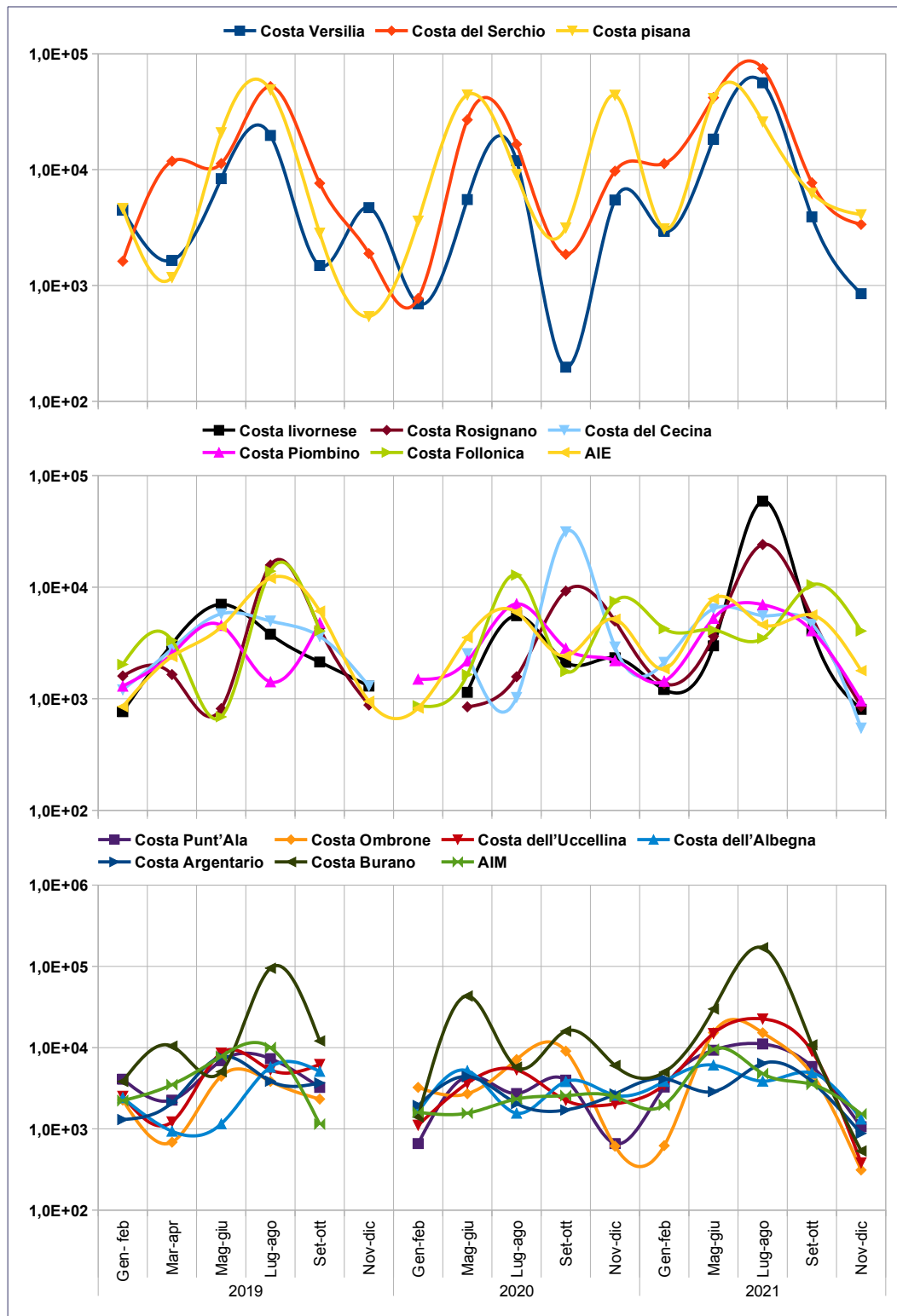
2019 - La concentrazione massima di dinoflagellati è stata rilevata in Costa Burano ($9,5 \times 10^4$ cell/L) in luglio/agosto, dovuta alla presenza di Gymnodiniales con dimensioni inferiori a $20 \mu\text{m}$. Gymnodiniales con dimensioni inferiori a $20 \mu\text{m}$, *Scrippsiella trochoidea* e *Prorocentrum micans* e il genere *Heterocapsa* (*H.niei*, *H. minima*) risultano essere i taxa più frequenti.

2020 - La concentrazione massima di dinoflagellati è stata rilevata in Costa pisana a maggio ($4,4 \times 10^4$ cell/L), dovuta alla presenza di *Scrippsiella trochoidea*. Gymnodiniales con dimensioni inferiori a $20 \mu\text{m}$, *Scrippsiella trochoidea*, il genere *Heterocapsa niei* e *Lessardia elongata* risultano essere i taxa più frequenti.

2021 - La concentrazione massima di dinoflagellati è stata rilevata in Costa Burano ($1,7 \times 10^5$ cell/L) a luglio/agosto, dovuta alla presenza di *Gymnodinium catenatum*. I taxa più ricorrenti

sono costituiti da Gymnodiniales con dimensioni inferiori a $20\mu\text{m}$, *Scrippsiella trochoidea* e *Prorocentrum triestinum* e il genere *Heterocapsa* (*H. niei*, *H. minima*).

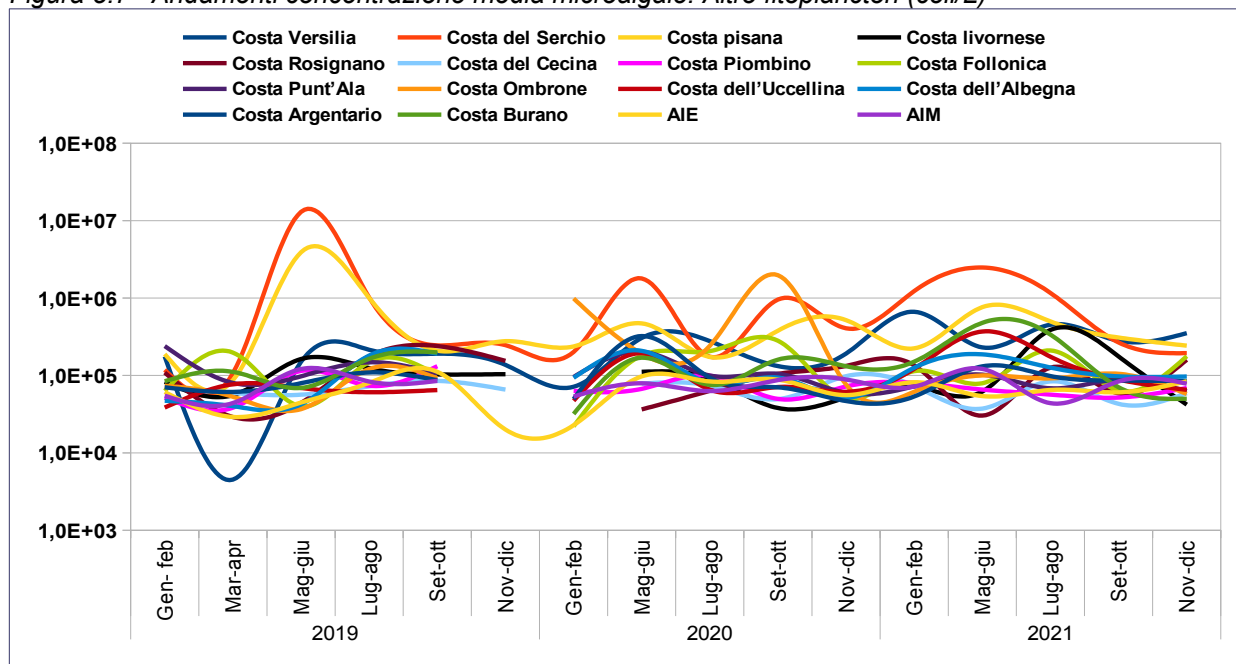
Figura 5.6 - Andamenti concentrazione media microalgale: Dinoflagellata (cell/L)



“Altro fitoplancton”

L’“altro fitoplancton” rappresenta circa il 50% dell’intero popolamento fitoplanctonico ed è costituito prevalentemente da fitoplancton indeterminato con dimensioni inferiori a 20µm. L’andamento dell’ “**altro fitoplancton**” ha caratteristiche diverse tra la zona a nord e il resto della costa toscana (figura 5.7): i corpi idrici centrali e meridionali mostrano durante tutto l’anno differenze di abbondanza estremamente basse discostandosi tra loro al massimo di un ordine di grandezza, mentre le stazioni, in particolare Costa del Serchio e Costa Pisana, presentano oscillazioni in concentrazioni più evidenti in corrispondenza dei periodi primaverili.

Figura 5.7 - Andamenti concentrazione media microalgale: Altro fitoplancton (cell/L)



2019 - In Costa del Serchio il 64% dell’“altro fitoplancton” è costituito da cianobatteri: le acque del Massaciuccoli attraverso il Canale Burlamacca arrivano fino al mare portando con sé specie quali *Merismopedia tenuissima* e *Planctolyngbya limnetica* e altre cianophyceae filamentose e coccoidi tipiche di questo lago. La densità più alta di “altro fitoplancton” è stata evidenziata a maggio/giugno in Costa del Serchio, $1,3 \times 10^7$ cell/L proprio per la presenza di cianobatteri, mentre la più bassa in marzo/aprile in Costa Versilia ($4,5 \times 10^3$ cell/L).

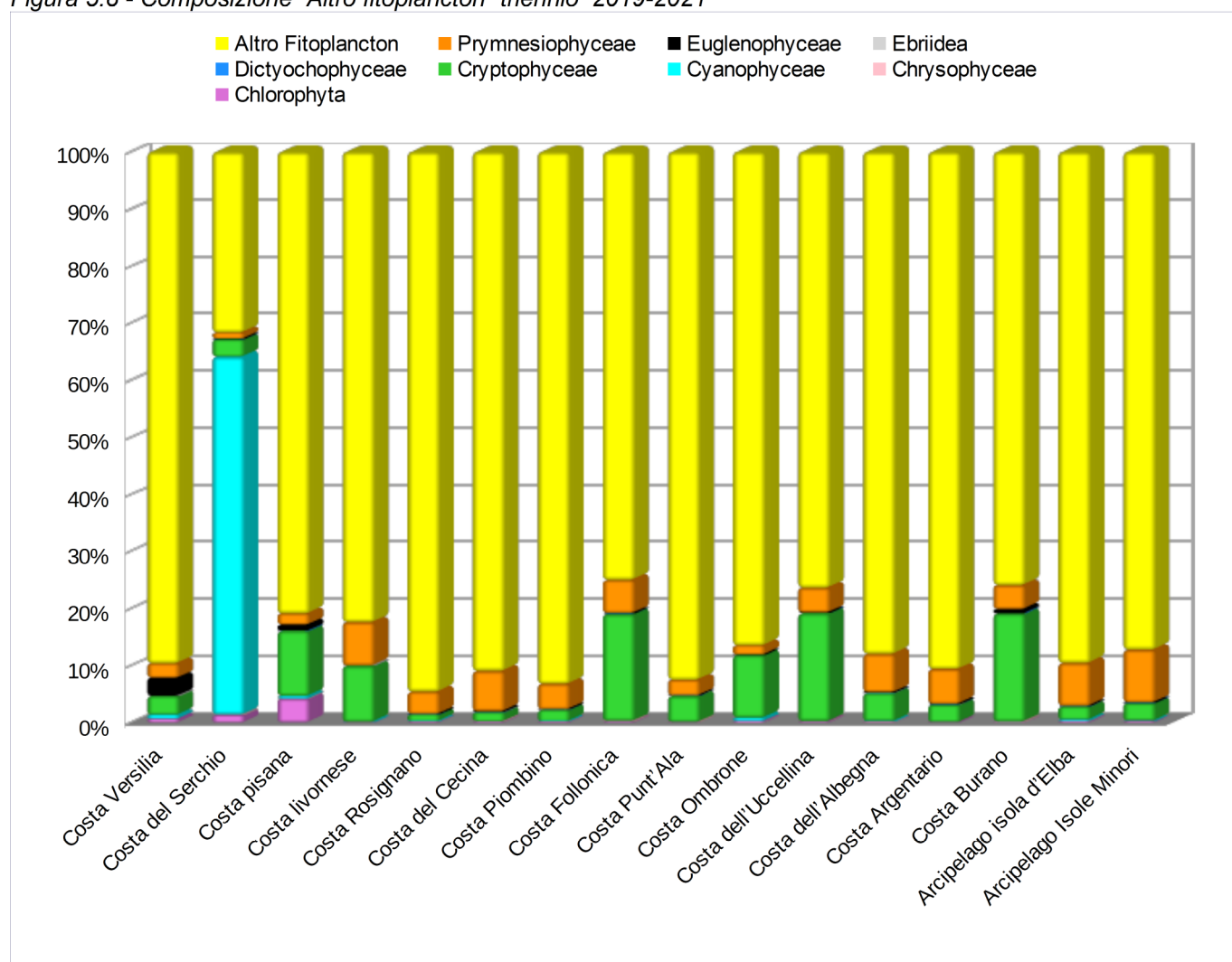
2020 - I flagellati e le forme coccoidi con dimensioni inferiori a 20µm rappresentano una percentuale superiore al 78% in tutte le stazioni. Unica eccezione è costituita da Costa pisana in cui il 19% è costituito da Chlorophyceae appartenenti ai generi *Ankistrodesmus*, *Monoraphidium* e alle specie *Scenedesmus quadricauda*, e *Crucigenia quadrata*, oltre che al taxon Chlorophyceae indet. Le Cryptophyceae sono rappresentate dal genere *Plagioselmis* e rappresentano l’11% ; il 5% è costituito invece da organismi appartenenti alle Euglenophyceae, mentre il restante 6% da Coccolithophyceae (Coccolithophyceae indet, *Calypptosphaera* sp., *Syracosphaera pulchra*); il restante 58% è, ovviamente, costituito da “altro fitoplancton” indeterminato. Il valore massimo è stato rilevato in Costa Ombrone $2,0 \times 10^6$ cell/L, dovuto alla

presenza di fitoplancton indeterminato di dimensioni inferiori a 20µm, *Plagioselmis* sp. e Cyanophyceae sia filamentose sia forme coccoidi.

2021 - La densità più alta di “altro fitoplancton” è stata rilevata in Costa del Serchio in maggio/ giugno ($2,5 \cdot 10^6$ cell/L) dovuto alla presenza di cyanobatteri come *Merismopedia tenuissima* e *M. glauca* e *Planctolyngbya limnetica*, *Plagioselmis* cfr *nannoplanctonica* e altro fitoplancton indeterminato ($\emptyset < 20\mu\text{m}$), mentre la concentrazione più bassa in Costa Rosignano ($3,0 \cdot 10^4$ cell/L) a maggio/ giugno.

La diversa composizione dell’“altro fitoplancton” nei 16 corpi idrici nel triennio 2019-2021 è riportata in figura 5.8.

Figura 5.8 - Composizione “Altro fitoplancton” triennio 2019-2021



La clorofilla è l'unico indicatore diretto di biomassa fitoplanctonica, poiché risulta particolarmente sensibile alle variazioni dei livelli trofici determinati dagli apporti dei nutrienti (azoto e fosforo) provenienti dai bacini afferenti alla fascia costiera, essendo in stretta relazione con la quantità di organismi autotrofi presenti all'interno del corpo idrico monitorato.

Lo stato di qualità di ogni stazione, relativo a un anno di riferimento, è dato dal 90°percentile, applicato dopo aver normalizzato i singoli dati tramite Log-trasformazione, come indicato dalla normativa (DM 260/2010).

Tutte le stazioni della costa toscana, eccetto Nettuno e Fiume Morto, hanno valori medi di clorofilla *a* bassi tanto da risultare nei 3 anni in esame, relativamente a questo EQB, in uno stato di qualità Elevato (tabella 5.2). Allo stesso tempo Costa del Serchio e Costa pisana risultano avere valori medi di clorofilla più alti che le pongono in uno stato di qualità ambientale tra il Buono e il Sufficiente.

Tabella 5.2 - EQR relativi all'indice di biomassa fitoplanctonica (clorofilla *a*)

Corpo idrico	Descrizione	2019		2020		2021	
		Chl <i>a</i> (mg/m ³)	EQR	Chl <i>a</i> (mg/m ³)	EQR	Chl <i>a</i> (mg/m ³)	EQR
Costa Versilia	Marina di Carrara	0,7	1,00	0,7	1,00	0,8	1,00
Costa del Serchio	Nettuno	1,0	0,89	1,3	0,71	2,4	0,40
Costa Pisana	Fiume Morto	2,0	0,45	1,1	0,79	0,8	1,00
Costa Livornese	Antignano	0,3	1,00	0,4	1,00	0,3	1,00
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,7	1,00	0,4	1,00	0,2	1,00
Costa del Cecina	Marina di Castagneto	0,7	1,00	0,2	1,00	0,1	1,00
Costa Piombino	Salivoli	0,5	1,00	0,3	1,00	0,2	1,00
Costa Follonica	Carbonifera	0,3	1,00	0,5	1,00	0,3	1,00
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,5	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,5	1,00	0,6	1,00	0,3	1,00
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,6	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00
Costa Albegna	Foce Albegna	0,6	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	0,1	1,00	0,3	1,00	0,3	1,00
Costa Burano	Ansedonia	0,3	1,00	0,3	1,00	0,7	1,00
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,1	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00
	Elba Sud	0,5	1,00	0,2	1,00	0,3	1,00
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,1	1,00	0,2	1,00	0,0	1,00
	Capraia	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00
	Montecristo	0,1	1,00	0,0	1,00	0,2	1,00

Essendo tutte le stazioni monitorate con un ciclo di monitoraggio operativo, a ciascun corpo idrico, per il triennio, è stato attribuito un valore di clorofilla pari alla media dei valori ottenuti nei 3 anni di campionamento, secondo quanto indicato dal DM 260/2010. Inoltre, lo stato di qualità di un corpo idrico, rappresentato da più di una stazione, viene ottenuto facendo la media

aritmetica dei valori medi di tutte le stazioni appartenenti a quel corpo idrico. L'elaborazione dei dati così effettuata (tabella 5.3), mostra che lo stato ecologico basato sulla biomassa fitoplanctonica dei corpi idrici Costa del Serchio e Costa pisana risulta essere **BUONO**. Tutti gli altri corpi idrici sono classificati in classe **ELEVATA**.

Tabella 5.3 - Classe di qualità ecologica secondo l'indice di biomassa fitoplanctonica (clorofilla a): triennio 2019-2021

Corpo idrico	Valore medio triennio 2019 - 2021		Stato
	Clorofilla a (mg/m ³)	EQR 2016-2018	
Costa Versilia	0,8	1,00	Elevato
Costa del Serchio	1,6	0,58	Buono
Costa Pisana	1,3	0,68	Buono
Costa Livornese	0,3	1,00	Elevato
Costa Rosignano	0,4	1,00	Elevato
Costa del Cecina	0,3	1,00	Elevato
Costa Piombino	0,3	1,00	Elevato
Costa Follonica	0,4	1,00	Elevato
Costa Punta Ala	0,4	1,00	Elevato
Costa Ombrone	0,5	1,00	Elevato
Costa Uccellina	0,4	1,00	Elevato
Costa Albegna	0,4	1,00	Elevato
Costa dell'Argentario	0,2	1,00	Elevato
Costa Burano	0,4	1,00	Elevato
Arcipelago Isola d'Elba	0,2	1,00	Elevato
Arcipelago Isole Minori	0,1	1,00	Elevato

5.1.2 *Macroinvertebrati bentonici.*

Per macroinvertebrati di fondo mobile si intendono tutti gli organismi di dimensioni superiori a 0,5mm presenti sui fondali marini, costituiti da sedimenti di natura prevalentemente fangosa, sabbiosa, tali da essere campionati con l'utilizzo di strumenti come la benna. Lo studio qualitativo e quantitativo delle specie che compongono questi popolamenti, costituiti da organismi con cicli vitali sufficientemente lunghi e che vivono stretto contatto con il fondo, forniscono informazioni utili riguardo lo stato di salute dell'ecosistema marino.

L'attività è suddivisa in due fasi operative, una sul campo e una in laboratorio. La fase di campionamento prevede il prelievo di 3 repliche e successiva setacciatura per eliminare il sedimento e raccogliere gli organismi. I campioni poi vengono fissati con etanolo al 90%. La fase di laboratorio consiste in un primo smistamento (*sorting*) degli organismi: mediante utilizzo di stereomicroscopio gli organismi vengono separati nei principali *taxa* animali e raccolti in differenti contenitori. In seguito si procede con l'identificazione a livello di specie, quando possibile. I dati così raccolti sono elaborati mediante l'utilizzo del software 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):

GI: specie sensibili

GII: specie sensibili/tolleranti

GIII: specie tolleranti

GIV: specie opportuniste (secondo ordine)

GV: specie opportuniste (primo 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). L'indice M-AMBI è un indice multivariato che integra l'indice AMBI con la ricchezza specifica (S) e la diversità di specie data dall'Indice di Shannon-Wiener (H), venendo così elaborato con un approccio qualitativo e quantitativo.

Nel 2019 sono stati prelevati campioni nei sei corpi idrici della costa toscana meridionale (Costa Punt'Ala, Ombrone, Uccellina, Bruna, Albegna, Argentario e Burano) mentre nel 2020 in quelli posizionati nella parte centrale della costa toscana (Costa del Cecina, Piombino, Follonica) e nell'Arcipelago Isole Minori. I Corpi idrici della costa toscana settentrionale (Costa Versilia, del Serchio, pisana, livornese, e di Rosignano) e Arcipelago Isola d'Elba sono stati monitorati nel 2021. I dati di granulometria e TOC sono riportati in tabella 5.4.

Tabella 5.4 - Frazioni granulometriche e carbonio organico totale (TOC)

Corpo idrico	Descrizione	Anno di campionamento	Ghiaia % (frazione granulometrica superiore a 2mm)	Sabbia % (frazione granulometrica compresa tra 2 e 0,063mm)	Peliti % (frazione granulometrica inferiore a 0,063mm)	TOC %
Costa Versilia	Mar. di Carrara	2021	0,3	90,4	9,3	1,1
Costa del Serchio	Nettuno	2021	0,4	82,5	17,1	< 1
Costa Pisana	Fiume Morto	2021	0,6	93,0	6,4	< 1
Costa Livornese	Livorno	2021	0,0	69,0	31,0	< 1
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	2021	0,2	60,6	39,2	6,5
Costa del Cecina	Mar. Castagneto	2020	0,4	92,8	6,8	< 1
Costa Piombino	Salivoli	2020	0,4	95,8	3,8	< 1
Costa Follonica	Carbonifera	2020	0,8	94,9	4,3	< 1
Costa Punta Ala	Foce Bruna	2019	0,3	27,9	71,8	1
Costa Ombrone	Foce Ombrone	2019	0,5	54,4	45,1	< 1
Costa Uccellina	Cala di Forno	2019	0,2	93,4	6,4	< 1
Costa Albegna	Foce Albegna	2019	0,3	88,2	11,5	< 1
Costa Argentario	Porto S.Stefano	2019	0,2	3,6	96,2	1,5
Costa Burano	Ansedonia	2019	0,4	95,6	4,0	1,1
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	2021	0,1	97,1	2,8	< 1
	Elba Sud	2021	0,2	93,4	6,4	3
Arcipelago Isole Minori	Giglio	2020	0,4	97,9	1,7	< 1
	Capraia	2020	0,6	93,9	5,5	< 1

L'elaborazione dell'M-AMBI (tabella 5.5) relativa ai campionamenti del triennio 2019-2021 indica che per questo EQB tutti i corpi idrici sono in uno stato ecologico Buono (Costa Versilia, del Serchio, Pisana, del Cecina, Punt'Ala e Arcipelago Isola d'Elba) o Elevato.

Tabella 5.5 - Classe di qualità ecologica: corpi idrici e singole stazioni. Triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stato Triennio 2019-2021	Descrizione	M-AMBI
Costa Versilia	Buono	Marina di Carrara	0,74
Costa del Serchio	Buono	Nettuno	0,65
Costa Pisana	Buono	Fiume Morto	0,69
Costa Livornese	Elevato	Livorno	0,94
Costa Rosignano	Elevato	Rosignano Lillatro	0,84
Costa del Cecina	Buono	Marina di Castagneto	0,80
Costa Piombino	Elevato	Salivoli	0,99
Costa Follonica	Elevato	Carbonifera	0,90
Costa Punta Ala	Buono	Foce Bruna	0,75
Costa Ombrone	Elevato	Foce Ombrone	0,90
Costa Uccellina	Elevato	Cala di Forno	0,87
Costa Albegna	Elevato	Foce Albegna	0,85
Costa dell'Argentario	Elevato	Porto S.Stefano	0,93
Costa Burano	Elevato	Ansedonia	0,99
Arcipelago Isola d'Elba	Buono <i>Valore medio 0,76</i>	Elba Nord	0,82
		Elba Sud	0,69
Arcipelago Isole Minori	Elevato <i>Valore medio 0,83</i>	Giglio	0,76
		Capraia	0,93

5.1.3 Macroalghe.

Le comunità superficiali macroalgali costituiscono una memoria spaziale e temporale di un'area: la loro struttura e composizione risponde alla natura, all'intensità e alla durata degli eventuali impatti. In particolare le specie appartenenti al genere *Cystoseira* sono molto sensibili alle variazioni e la loro presenza è associata ad una elevata qualità ecologica. Per questo motivo la presenza di popolamenti a *Cystoseira* (unica eccezione *Cystoseira compressa* considerata più tollerante) è generalmente associata a livelli di sensibilità o *Sensitivity Level*, (SL) **massimi** (tabella 5.6).

Tabella 5.6 - Descrizione delle comunità e i rispettivi Sensitivity Level (SL) associati.

	Categoria	Descrizione	SL
	Trottoir (concrezioni a marciapiede)	Trottoir di <i>Lithophyllum byssoides</i> (L. trochanter e <i>Dendropoma</i> ¹)	20
Con popolamenti a <i>Cystoseira</i>	<i>Cystoseira</i> brachycarpa/crinita/elegnas	Popolamenti a <i>C. brachycarpa/crinita/elegnas</i>	20
	<i>Cystoseira</i> in zone riparate	Popolamenti a <i>C. barbata/fonculacea/humilis/spinosa</i>	20
	<i>Cystoseira amentacea/mediterranea</i> 5	Cinture continue a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	20
	<i>Cystoseira amentacea/mediterranea</i> 4	Cinture quasi continue a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	19
	<i>Cystoseira amentacea/mediterranea</i> 3	Popolamenti abbondanti a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	15
	<i>Cystoseira amentacea/mediterranea</i> 2	Popolamenti scarsi a <i>C.amentacea/mediterranea</i>	12
	<i>Cystoseira compressa</i>	Popolamenti a <i>C.compressa</i>	12
	<i>Cystoseira amentacea/mediterranea</i> 1	Rare piante isolate di <i>C.amentacea/mediterranea</i> ²	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</i> , <i>Neogoniolithon brassica-florida</i> e altre Corallinales incrostanti	6
	Mitili	Popolamenti a <i>Mytilus galloprovincialis</i>	6
	<i>Pterocladia/Ulva/Schizymenia</i>	Popolamenti a <i>Pterocladia/Ulva/Schizymenia</i>	6
	<i>Ulva/Cladophora</i>	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
Fanerodame	<i>Posidonia</i> – 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

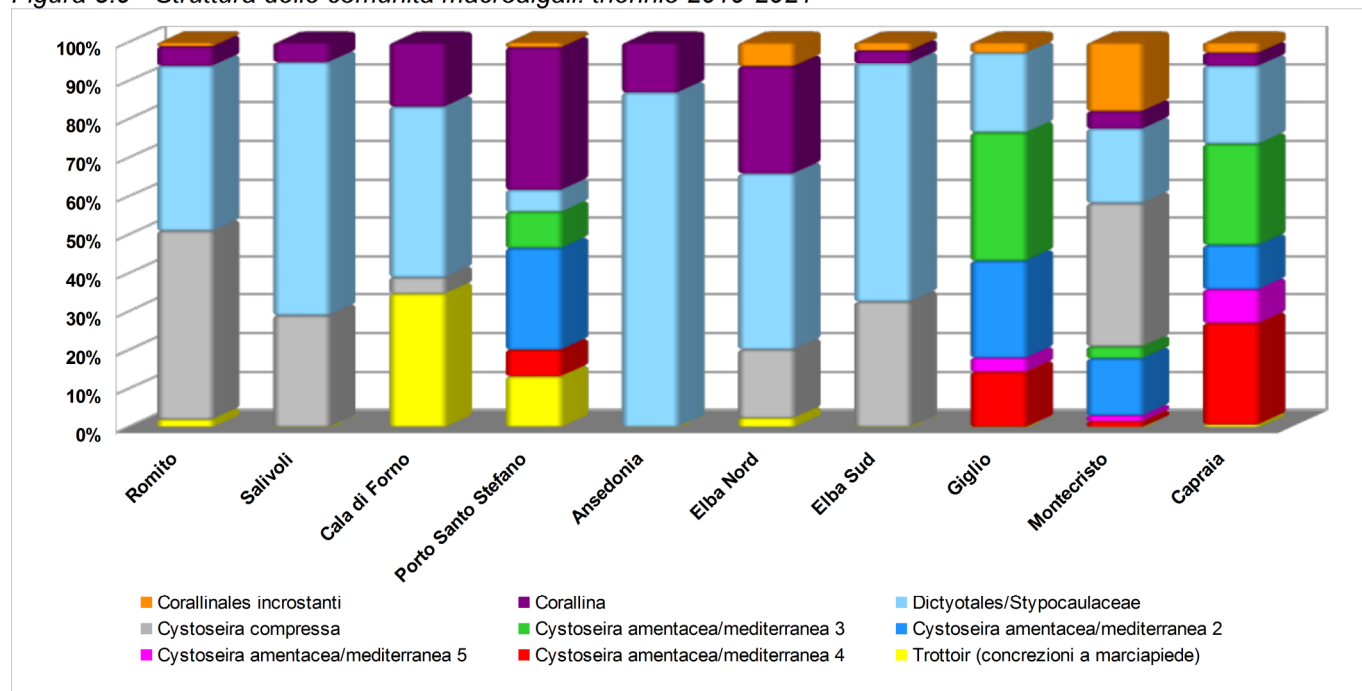
¹ Formazioni organogene tipiche della Sicilia e di altre regioni dell'Italia meridionale

² In caso di presenza di rare piante isolate di *Cystoseira amentacea/mediterranea*, si annota anche la comunità dominante (valore di sensibilità risultante: valore medio)

Lo strumento base per una corretta applicazione del metodo CARLIT è il supporto cartografico, che può essere costituito da una fotografia aerea oppure da sistemi palmari muniti di GIS. Su un supporto cartografico si annotano le comunità caratteristiche delle scogliere superficiali rilevate e le situazioni geomorfologiche rilevanti o SGR, corrispondenti alle comunità osservate.

In tutto, nel triennio sono stati monitorati 7 corpi idrici per un totale di 10 tratti di costa: la struttura di tutte le comunità macroalgali esaminate è riportata in figura 5.9.

Figura 5.9 - Struttura delle comunità macroalgali: triennio 2019-2021



Costa Livornese - Romito (2021). Il tratto di costa Livornese presenta un popolamento a *Cystoseira compressa* (49,0%) e a Dictyotales/Stypocaulaceae (42,9%). Il valore dell'indice di qualità ecologica è 0,71, indicando una classe di qualità **BUONA**.

Costa Piombino - Promontorio di Piombino (2020). Il popolamento risulta composto da Dictyotales/Stypocaulaceae (65,81%) e *Cystoseira compressa* (29,06%). In percentuale minore, 5,13%, è presente anche Corallina. Il valore dell'indice di qualità ecologica è 0,71, indicando una classe di qualità **BUONA**.

Costa dell'Uccellina - Cala di Forno (2021). Il tratto di costa è caratterizzato da una comunità macroalgale a quattro raggruppamenti: Dictyotales/Stypocaulaceae che rappresenta l'44,40%, concrezioni a marciapiede o *trottoir* (34,70%) e Corallina (16,70%) e infine *Cystoseira compressa* (4,20%). Il valore di RQE è di 0,91, corrispondente a uno stato di qualità **ELEVATA**.

Costa Argentario - Porto Santo Stefano (2021). Questo tratto di costa presenta una comunità macroalgale eterogenea le cui componenti principali sono costituite da *Corallina* (37,11%) e *Cystoseira amentacea/mediterranea* a piccole chiazze (C2) (26,42%). Presenti, in percentuale minore, concrezioni a marciapiede o troitter (13,20%) e *Cystoseira amentacea/mediterranea* a grande chiazze (C3) (9,43%). Il valore di indice di qualità ecologica, 0,80, permette di classificare questa stazione in qualità **ELEVATA**.

Costa Burano – Ansedonia (2021). Sono stati individuati solo due raggruppamenti di macralghe in questo tratto di costa: le Dictyotales/Stypocaulaceae, che rappresentano l'86,96%, e *Corallina* (13,04%). L'indice di qualità ecologica è 0,66 e la classe di qualità è **BUONA**.

Arcipelago Isola d'Elba - Elba Nord (2020). Il tratto di costa in esame è caratterizzato dalla presenza di Dictyotales/Stypocaulaceae (45,73%), *Corallina* (27,91%) e *Cystoseira compressa* (17,83%). Presenti in percentuale minore le Corallinales incrostanti (6,20%) e le concrezioni a marciapiede o *trottoir* (2,33%). L'indice di qualità ecologica è 0,71 e la classe di qualità è **BUONA**.

Arcipelago Isola d'Elba - Elba Sud (2020). Il popolamento di questo tratto di costa è a Dictyotales/Stypocaulaceae (61,91%) e a *Cystoseira compressa* (32,61%). Presenti in percentuale minore il popolamento a *Corallina elongata* (3,26%) le Corallinales incrostanti (2,17%). Il valore di RQE è pari a 0,68 indicando, quindi una classe di qualità **BUONA**.

Arcipelago Isole Minori – Giglio (2019). I popolamenti maggiormente rappresentati sono *Cystoseira amentacea/mediterranea* a grandi chiazze (C3) (33,33%), *Cystoseira amentacea/mediterranea* a piccole chiazze (C2) (25,23%) e Dictyotales/Stypocaulaceae (20,72%). Il valore di indice di qualità ecologica permette di classificare questa stazione in qualità **ELEVATA** in quanto pari a 0,9.

Arcipelago Isole Minori – Montecristo (2019). Il popolamento maggiormente rappresentato è quello *Cystoseira compressa*, 37% . Il valore di RQE è pari a 1,14 indicando, quindi una classe di qualità **ELEVATA**.

Arcipelago Isole Minori – Capraia (2019). La comunità macroalgale è costituita prevalentemente da *Cystoseira amentacea/mediterranea* a grandi chiazze (C3) (26,35%), *Cystoseira amentacea/mediterranea* a cintura (C4) (26,35%) e Dictyotales/Stypocaulaceae ha valori di 20,27%. Il valore di RQE è di 1,01, equivalente a uno stato di qualità **ELEVATA**.

I dati del triennio relativi allo stato di qualità dei corpi idrici monitorati per questo elemento di qualità biologica sono riassunti nella tabella 5.7).

Tabella 5.7 - Valori indice CARLIT e classi qualità ecologica - triennio 2019-2021

Corpo idrico	Descrizione	CARLIT	Stato Triennio 2016-2018
Costa Livornese	Romito (Antignano)	0,71	Buono
Costa Piombino	Promontorio Piombino	0,71	Buono
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,91	Elevato
Costa Argentario	Porto Santo Stefano	0,80	Elevato
Costa Burano	Ansedonia	0,66	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,71	Buono <i>Valore medio (0,70)</i>
	Elba Sud	0,68	
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,90	Elevato <i>Valore medio (1,02)</i>
	Montecristo	1,14	
	Capraia	1,01	

5.1.4 Angiosperme: praterie a *Posidonia oceanica*.

Le praterie sommerse di *Posidonia oceanica* sono presenti dalla superficie marina fino a circa 30-40 metri, dove normalmente la pianta trova condizioni di illuminazione sufficiente a svolgere la fotosintesi. Le funzioni della prateria a posidonia sono molteplici e di fondamentale importanza per la vita dell'ambiente marino: con la sua produzione media di 14 litri di **ossigeno** al giorno per metro quadro può essere definita il "polmone verde" del Mediterraneo; è fondamentale per la **sopravvivenza** di numerose specie di pesci, molluschi, echinodermi, crostacei; è di importanza basilare per la **protezione delle coste** dall'erosione fungendo da barriera per attenuare la forza delle onde. Infine, ma non per questo meno importanti, è una pianta notevolmente **sensibile all'inquinamento** chimico e organico, tanto da farla ritenere un buon indicatore biologico della qualità delle acque.

Il campionamento prevede l'indagine su due stazioni, una definita profonda, posta in corrispondenza del limite inferiore (considerata un'area fragile della prateria) e una posta a circa 15 m di profondità, definita stazione intermedia. Per la stazione posta a 15 m il campionamento include la definizione di 3 aree (400 m² circa ciascuna, distanziate di 10 m tra loro), in ciascuna delle quali sono state effettuate:

- repliche di misure di densità e di prelievi di fasci ortotropi
- raccolta di un campione di sedimento per la valutazione della granulometria e del carbonio organico totale
- stime relative a ricoprimento di *P. oceanica*, tipo di substrato, continuità della prateria, presenza di matte morta, *Caulerpa racemosa* e *Caulerpa taxifolia* e *Cymodocea nodosa*
- misure opzionali: intensità della luce e della temperatura, densità sul limite inferiore
- prelievo (opzionale) di 6 fasci al limite inferiore per analisi di lepidocronologia

Inoltre, sono state effettuate stime relative a: substrato; copertura di *P. oceanica* e matte morta (espressa in percentuale, *sensu*, Buia *et al.*, 2003); eventuale presenza di altre fanerogame e di alghe invasive. In corrispondenza del limite inferiore sono stati effettuati transetti orizzontali, allo scopo di rilevarne profondità e tipologia, *sensu* Pergent *et al.* (1995). I dati sono stati utilizzati per il calcolo dell'Indice di classificazione ecologica PREI (*Posidonia oceanica* Rapid Easy Index) (Gobert *et al.*, 2009) ai sensi del D.Lgs 152/06.

Come per il macrozoobenthos e le macrofite, la cadenza di questo campionamento è annuale con ritorno sulle stesse stazioni dopo tre anni.

Oltre ai rilievi sopra riportati, sono stati eseguiti campionamenti di sedimenti per la determinazione del carbonio organico totale (TOC) e delle frazioni granulometriche: i dati di queste analisi per tutte le stazioni monitorate nel triennio sono riportate in tabella 5.8).

In tutto sono stati monitorati 9 corpi idrici, per un totale di 24 stazioni, e i risultati ottenuti sono riportati di seguito con l'indicazione dell'anno di campionamento.

Tabella 5.8 - Frazioni granulometriche e carbonio organico totale (TOC)

Corpo idrico	Descrizione	Anno	Ghiaia % (frazione granulometrica superiore a 2mm)	Sabbia % (frazione granulometrica compresa tra 2 e 0,063mm)	Peliti % (frazione granulometrica inferiore a 0,063mm)	TOC %
Costa Livornese	Antignano Limite inferiore	2021	9,9	84,5	5,6	3,9
	Antignano Stazione intermedia		34,5	63,3	2,2	2,6
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro Limite inferiore	2021	18,3	65,7	16,0	5
	Rosignano Lillatro Stazione intermedia		33,4	51,9	14,7	3,5
Costa Piombino	Promontorio di Piombino Limite inferiore	2021	23,8	57,4	18,8	3
	Promontorio di Piombino Stazione intermedia		66,2	30,2	3,6	< 1
Costa Follonica	Carbonifera Limite inferiore	2021	12,4	19,3	68,3	2,8
	Carbonifera Stazione intermedia		11,7	7,7	80,6	3,9
Costa Albegna	Albegna Limite inferiore	2020	Non richiesta	Non richiesta	Non richiesta	2,8
	Albegna Stazione intermedia		6,3	5,7	88,0	4,3
Costa Argentario	Porto S.Stefano Limite inferiore	2019	45,7	54,3	0,0	6,8
	Porto S.Stefano Stazione intermedia		35,1	63,6	1,3	6,5
Costa Burano	Ansedonia Limite inferiore	2020	18,9	27,8	53,3	< 1
	Ansedonia Stazione intermedia		3,5	44,1	52,4	1,6
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord Limite inferiore	2019	3,6	4,8	91,6	< 1
	Elba Nord Stazione intermedia		8,5	87,5	4,0	< 1
	Elba Sud Limite inferiore	2019	13,6	57,2	29,2	1,6
	Elba Sud Stazione intermedia		40,9	49,6	9,5	< 1
Arcipelago Isole Minori	Montecristo Limite inferiore	2019	25,0	73,7	1,3	< 1
	Montecristo Stazione intermedia		25,5	72,8	1,7	< 1
	Capraia Limite inferiore	2020	7,7	70,3	22,0	1,7
	Capraia Stazione intermedia		79,1	15,3	5,6	< 1
	Giglio Limite inferiore	2020	Non richiesta	Non richiesta	Non richiesta	< 1
	Giglio Stazione intermedia		5,2	90,0	4,8	< 1

Costa Livornese – Antignano (2021). La visibilità per questa stazione non è sempre ottimale e la prateria ha il suo limite inferiore non molto profondo, compreso tra 19,7 e 22 metri; è discontinua, pura, impiantata su un substrato misto di sabbia, roccia e matite, con un ricoprimento del 100% in corrispondenza della stazione intermedia a 15 m di profondità e leggermente più basso (70%) presso il limite inferiore. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in

totale 135 foglie analizzate per questo sito) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 5 (giovani, adulte e intermedie, per entrambe le stazioni, intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 56 e 50 cm circa (per la stazione intermedia e profonda rispettivamente), quelle intermedie di 19-10,5 cm e quelle giovani di 1,4-1 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,593**, corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Costa Rosignano – Rosignano (2021). Il campionamento ha confermato una situazione un po' particolare per questa prateria impiantata dalla vicinanza dello scarico dell'impianto Solvay. La prateria risulta essere impiantata principalmente su matite morte e roccia, di tipo discontinua e mista per la presenza dell'abbondante alga verde *Caulerpa racemosa*. Il suo limite inferiore, alternativamente di tipo netto ed erosivo, si trova compreso tra 24 e 27 m di profondità; il ricoprimento è pari a circa il 90% e il 10% di matite morte, la densità è di 172,9 fasci.m². La densità in corrispondenza della stazione intermedia è di 247,9 fasci.m² con un ricoprimento di posidonia dell' 85%. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 154 foglie analizzate per questo sito) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 5 (giovani, adulte e intermedie, per entrambe le stazioni, intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 42 e 49 cm circa (per la stazione intermedia e profonda, rispettivamente), quelle intermedie di 9,5-9 cm e quelle giovani di 1,9 cm per entrambe le stazioni. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,550** corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**. In realtà la classe di qualità ecologica riscontrata è proprio al limite tra la categoria buona e sufficiente (il cui discrimine è il valore 0,549).

Costa Piombino – Promontorio di Piombino (2021). Il campionamento per questa area ha evidenziato una prateria impiantata su matite e sabbia, di tipo continua e pura. A 15 m di profondità (stazione intermedia) il ricoprimento è pari al 100% con una densità di 402,78 fasci.m². In questa stazione le foglie adulte hanno una lunghezza media di 68 cm circa, quelle intermedie di 9,5 cm e quelle giovani di 2 cm. Il limite inferiore, di tipo netto, ha una densità di 243,8 fasci.m², rilevata alla profondità di 23,8 m, e un ricoprimento di posidonia del 65%. In questa stazione le foglie adulte hanno una lunghezza media di 63 cm circa, quelle intermedie di 17 cm e quelle giovani di 3 cm. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 157 foglie analizzate per questo sito) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 5 (giovani, adulte e intermedie, per entrambe le stazioni, intermedia e limite inferiore). Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,729** corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Costa Follonica – Carbonifera (2021). In questa stazione si è evidenziata una prateria impiantata su limo e matite, di tipo continua e pura, con un ricoprimento del 100% ed una densità pari a 336,1 fasci.m² per quanto riguarda la stazione intermedia a 15 m; a questa profondità si registra una lunghezza media di 53 cm per le foglie adulte, di circa 10 cm per

quelle intermedie e 2 cm per le giovanili. Lungo il limite inferiore, posto a 19 m di profondità, di tipo netto, si è registrata una densità di 136,5 fasci.m² e un ricoprimento del 65%; le foglie adulte hanno una lunghezza di circa 41 cm, le intermedie 13 cm e le giovanili 1 cm. In entrambe le stazioni si sono esaminati 140 fasci e il numero medio di foglie per fascio è risultato circa pari a 5. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,578** corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Costa dell'Albegna - Albegna (2020). La visibilità per questa stazione è scarsa a causa della sospensione del sedimento piuttosto fine (costituito per l'88% da peliti). La prateria infatti ha il suo limite inferiore non molto profondo, a circa 19 m; è discontinua, pura, impiantata su matte, con un ricoprimento del 62% in corrispondenza della stazione intermedia a 15 m di profondità e leggermente più basso (52%) presso il limite inferiore. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 126 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 4 (adulte e intermedie, per entrambe le stazioni, intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 44-48 cm circa (per la stazione intermedia e profonda rispettivamente), quelle intermedie di 9-26 cm e quelle giovanili di 1,6-1,8 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,466**, corrispondente ad una classe di qualità ecologica **SUFFICIENTE**.

Costa Argentario – Porto Santo Stefano (2019). La prateria è discontinua, pura, impiantata su substrato sabbioso, con un ricoprimento del 40% in corrispondenza della stazione intermedia a 15 m di profondità ma decisamente più alto (92%) presso il limite inferiore, a circa 25 m di profondità. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 162 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a 5,5-6,5 (adulte e intermedie, rispettivamente stazione intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 72-65 cm circa, quelle intermedie di 41-49 cm e quelle giovanili di 1,4-1,6 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,791** corrispondente ad una classe di qualità ecologica **ELEVATO**.

Costa Burano - Ansedonia (2020). Anche per questa stazione la visibilità non è ottimale a causa della sospensione del sedimento piuttosto fine (costituito in egual misura da sabbia e peliti). La prateria è discontinua, pura, impiantata su matte e sabbia, con un ricoprimento dell'80% in corrispondenza della stazione intermedia a 15 m di profondità e più basso (50%), presso il limite inferiore, a circa 23 m di profondità. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 172 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 6 (adulte e intermedie, per entrambe le stazioni, intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 72-58 cm circa (per la stazione intermedia e profonda rispettivamente), quelle intermedie di 16-28 cm e quelle giovanili di 2,1-2,6 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,739** corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Arcipelago Isole Minori – Capraia. (2020). Per questa stazione la trasparenza dell'acqua è elevata e il limite inferiore della prateria infatti supera i 30 m di profondità. La prateria è continua, pura, impiantata su matte, con un ricoprimento del 92% in corrispondenza della stazione intermedia a 15 m di profondità e del 77% presso il limite inferiore, a 31,5 m di profondità. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 119 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 3 e 6 (adulte e intermedie, rispettivamente per le stazioni intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 60-54 cm circa (per la stazione intermedia e profonda rispettivamente), quelle intermedie di 19 -15 cm e quelle giovanili di 1,7-2,2 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,744** corrispondente a una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Arcipelago Isole Minori – Giglio (2020). Anche all'Isola del Giglio la trasparenza dell'acqua è elevata e il limite inferiore della prateria infatti supera i 30 m di profondità. La prateria è continua, pura, impiantata su sabbia, con un ricoprimento del 90% in corrispondenza della stazione intermedia a 15 m di profondità e del 70% presso il limite inferiore, a 31,6 m di profondità. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 168 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a circa 6 e 5 (adulte e intermedie, rispettivamente per le stazioni intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 40-32 cm circa (per la stazione intermedia e profonda rispettivamente), quelle intermedie di 18-14 cm e quelle giovanili di 2,2-1,6 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,682** corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Arcipelago Isola d'Elba - Elba Nord (2019). La prateria è continua a minore profondità per poi diventare discontinua nei pressi del limite inferiore, pura, impiantata su substrato sabbioso misto a matte morta. Mostra un ricoprimento del 77 % in corrispondenza della stazione intermedia e del 60% in corrispondenza del limite inferiore, situato a circa 24 m di profondità. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 125 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a 4,4-4,3 (adulte e intermedie, rispettivamente stazione intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 53-41 cm circa, quelle intermedie di 38-28 cm e quelle giovanili di 1,1-1,1 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,684**, corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Arcipelago Isola d'Elba - Elba Sud (2019). La prateria è continua, pura, impiantata su substrato sabbioso. Mostra un ricoprimento del 97% in corrispondenza della stazione intermedia e del 80% in corrispondenza del limite inferiore, situato a circa 23 m di profondità. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 124 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a 4,2-5,3 (adulte e intermedie, rispettivamente stazione intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza

media di 58-44 cm circa, quelle intermedie di 49-28 cm e quelle giovanili di 0,66-1,6 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,654** corrispondente ad una classe di qualità ecologica **BUONA**.

Arcipelago Isole Minori – Montecristo (2019). La prateria è discontinua, pura, impiantata su substrato di matte e sabbia a maggiore profondità (limite inferiore) e invece su roccia a circa 15 m. Mostra un ricoprimento del 75% in corrispondenza della stazione intermedia e del 65% in corrispondenza del limite inferiore, situato a 32,5 m di profondità. I ciuffi prelevati per l'analisi fenologica (in totale 135 foglie analizzate per questa stazione) hanno mostrato un numero medio di foglie per ciuffo pari a 5,2-4,2 (adulte e intermedie, rispettivamente stazione intermedia e limite inferiore); le foglie adulte hanno una lunghezza media di 91-51 cm circa, quelle intermedie di 27-18 cm e quelle giovanili di 1,3-0,1 cm. Il valore dell'indice PREI in quest'area è risultato pari a **0,924**, corrispondente ad una classe di qualità ecologica **ELEVATA**.

L'indice PREI per il triennio 2019-2021 indica che i corpi idrici Arcipelago Isole Minori e Costa Argentario sono in stato di qualità **ELEVATO**, mentre il corpo idrico Costa dell'Albegna presenta uno stato di qualità **SUFFICIENTE** legato soprattutto alla bassa profondità di espansione della prateria causata da una scarsa trasparenza delle acque in corrispondenza del sito di indagine. Tutti gli altri corpi idrici hanno uno stato di qualità **BUONO**. Nella tabella 5.9 sono riportati i valori dell'Indice PREI e il relativo stato di qualità delle stazioni monitorate per il triennio 2019-2021.

Tabella 5.9 - Valori dell'indice PREI e classi di qualità ecologica- triennio 2019-2021

Corpo idrico	Descrizione	PREI	Stato Triennio 2019-2021
Costa Livornese	Antignano	0,593	Buono
Costa di Rosignano	Rosignano Lillatro	0,550	Buono
Costa Piombino	Promontorio Piombino	0,729	Buono
Costa Follonica	Carbonifera	0,578	Buono
Costa Albegna	Foce Albegna	0,466	Sufficiente
Costa dell'Argentario	Porto S.Stefano	0,791	Elevato
Costa Burano	Ansedonia	0,739	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,684	Buono <i>Valore medio 0,669</i>
	Elba Sud	0,654	
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,682	Elevato <i>Valore medio 0,783</i>
	Montecristo	0,924	
	Capraia	0,744	

5.1.5 Giudizio dei corpi idrici sulla base degli elementi biologici.

Al termine di questa fase ciascun corpo idrico sarà classificato in base alla classe più bassa ottenuta dai vari Elementi di qualità biologica utilizzati (tabella 5.10).

Tabella 5.10 - Giudizio da elementi biologici triennio 2019-2021

Corpo Idrico	Biomassa fitoplanctonica	M-AMBI	CARLIT	PREI	Giudizio peggiore da Elementi Biologici 2019-2021
Costa Versilia	Elevato	Buono	*	*	Buono
Costa del Serchio	Buono	Buono	*	*	Buono
Costa Pisana	Buono	Buono	*	*	Buono
Costa Livornese	Elevato	Elevato	Buono	Buono	Buono
Costa di Rosignano	Elevato	Elevato	Buono	Buono	Buono
Costa del Cecina	Elevato	Buono	*	*	Buono
Costa Piombino	Elevato	Elevato	Buono	Buono	Buono
Costa Follonica	Elevato	Elevato	*	Buono	Buono
Costa Punt'Ala	Elevato	Buono	*	*	Buono
Costa Ombrone	Elevato	Elevato	*	*	Elevato
Costa dell'Uccellina	Elevato	Elevato	Elevato	*	Elevato
Costa Albegna	Elevato	Elevato	*	Sufficiente	Sufficiente
Costa dell'Argentario	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato
Costa Burano	Elevato	Elevato	Buono	Buono	Buono
Arcipelago Isola d'Elba	Elevato	Buono	Buono	Buono	Buono
Arcipelago Isole Minori	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato

Legenda: * Campionamenti non previsti per la tipologia del corpo idrico

Riassumendo il giudizio dei singoli elementi biologici risulta che per

- la **biomassa fitoplanctonica**: su 16 corpi idrici monitorati, 2 sono risultati in classe di qualità BUONA (Costa del Serchio e Costa Pisana) e i restanti ELEVATA;
- i **macroinvertebrati bentonici**: su 16 corpi idrici monitorati, 6 sono risultati, sulla base dell'indice M-AMBI, in classe BUONA (Costa Versilia, Costa del Serchio, Costa Pisana, Costa del Cecina, Costa Punta Ala e Arcipelago Isola dell'Elba). I restanti 10 corpi idrici sono in classe ELEVATA;
- le **macroalghe**: su 7 corpi idrici monitorati 4 sono risultati, sulla base dell'indice CARLIT, in classe BUONA (Costa livornese, Costa Piombino, Costa Burano e Arcipelago Isola d'Elba). I restanti 3 corpi idrici sono in classe ELEVATA;
- le **angiosperme**: su 9 corpi idrici monitorati, 2 sono risultate, sulla base dell'indice PREI, in classe ELEVATA: Costa dell'Argentario e Arcipelago Isole Minori mentre solo Costa dell'Albegna risulta essere in classe SUFFICIENTE. Le restanti 5 stazioni sono in classe ecologica BUONA

Tale classe dovrà essere confermata dai dati ottenuti nella fase I e questi risultati ulteriormente integrati con gli elementi chimici (fase II).

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

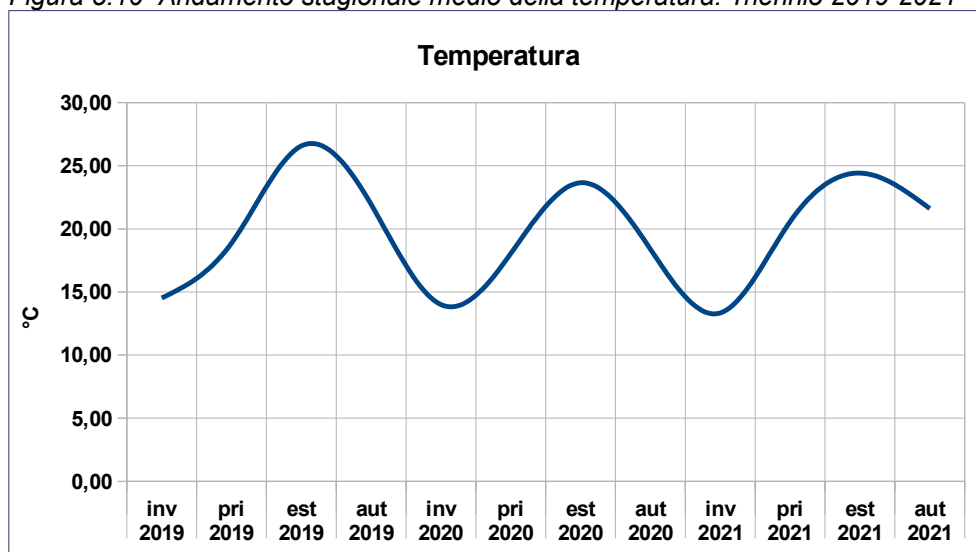
Durante le campagne di monitoraggio vengono rilevati con sonda multiparametrica, a ogni metro di profondità lungo la colonna d'acqua, i dati relativi a temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH e clorofilla *a*. L'acquisizione dei dati viene effettuata con un passo di un metro in modo da evidenziare stratificazioni termiche o saline o 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.

Al fine della classificazione dello stato ecologico, gli elementi chimico fisici a sostegno che occorrono per il calcolo dell'Indice Trofico TRIX sono l'ossigeno disciolto, la clorofilla *a* e i nutrienti, mentre tutti gli altri parametri rilevati, come la trasparenza, la temperatura e la salinità, sono utili per l'interpretazione dei dati.

Temperatura, salinità e ossigeno

L'andamento della temperatura superficiale mensile fornisce in maniera sintetica il comportamento di questo parametro nel triennio in esame. Risulta evidente il carattere periodico delle variazioni annuali della temperatura con il tipico andamento sinusoidale (figura 5.10) in funzione del ciclo stagionale. Le medie mensili più basse sono state registrate nei periodi invernali con valori intorno a 14°C (il valore minimo medio è nell'inverno 2021 con 13,33°C). Le medie mensili più alte sono raggiunte in agosto con valori intorno a 25°C, con un valore massimo medio di 26,58°C in estate 2019.

Figura 5.10- Andamento stagionale medio della temperatura. Triennio 2019-2021



Nelle acque costiere diversi fattori, correlati alla tipologia di costa, possono influire sulle temperature superficiali: diminuzioni di temperatura possono essere indotti nel periodo invernale dalla presenza di apporti di acqua dolce; alte temperature possono essere favorite in acque ad alta torbidità, dovuta alla densità della biomassa algale fitoplanctonica che provoca un assorbimento maggiore della radiazione luminosa da parte della massa d'acqua. Questo fenomeno è più accentuato nelle zone di basso fondale dove il rimescolamento della colonna d'acqua è più rapido.

In figura 5.11 sono riportate le temperature superficiali medie del triennio 2019-2021 dei mesi di gennaio-febbraio e luglio-agosto: la temperatura della zona a Nord di Livorno, in particolare nei corpi idrici Costa del Serchio e Costa pisana risulta più bassa (rispettivamente 12,06°C e 11,79°C) nei mesi invernali e più alta (26,49°C e 26,13°C) in quelli estivi rispetto alle altre stazioni, perché sono zone a basso fondale con una significativa presenza di apporti fluviali (Serchio e Arno).

Figura 5.11- Temperatura media superficiale nei corpi idrici costiere della Toscana. Triennio 2019-2021

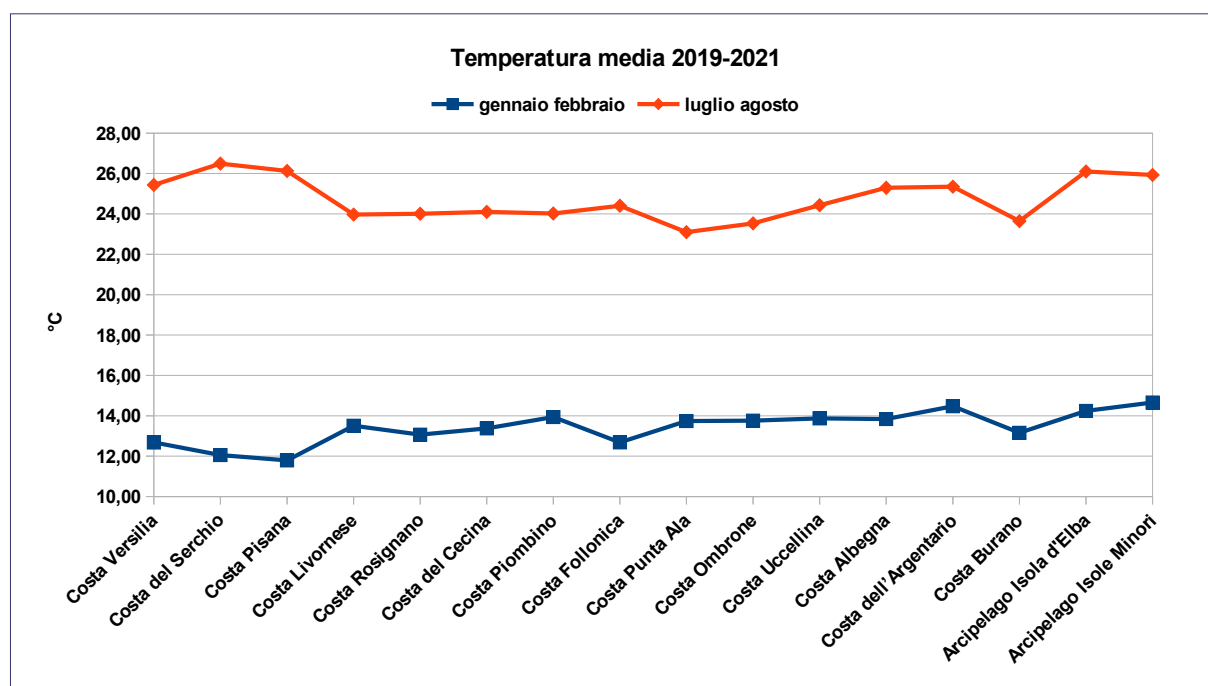
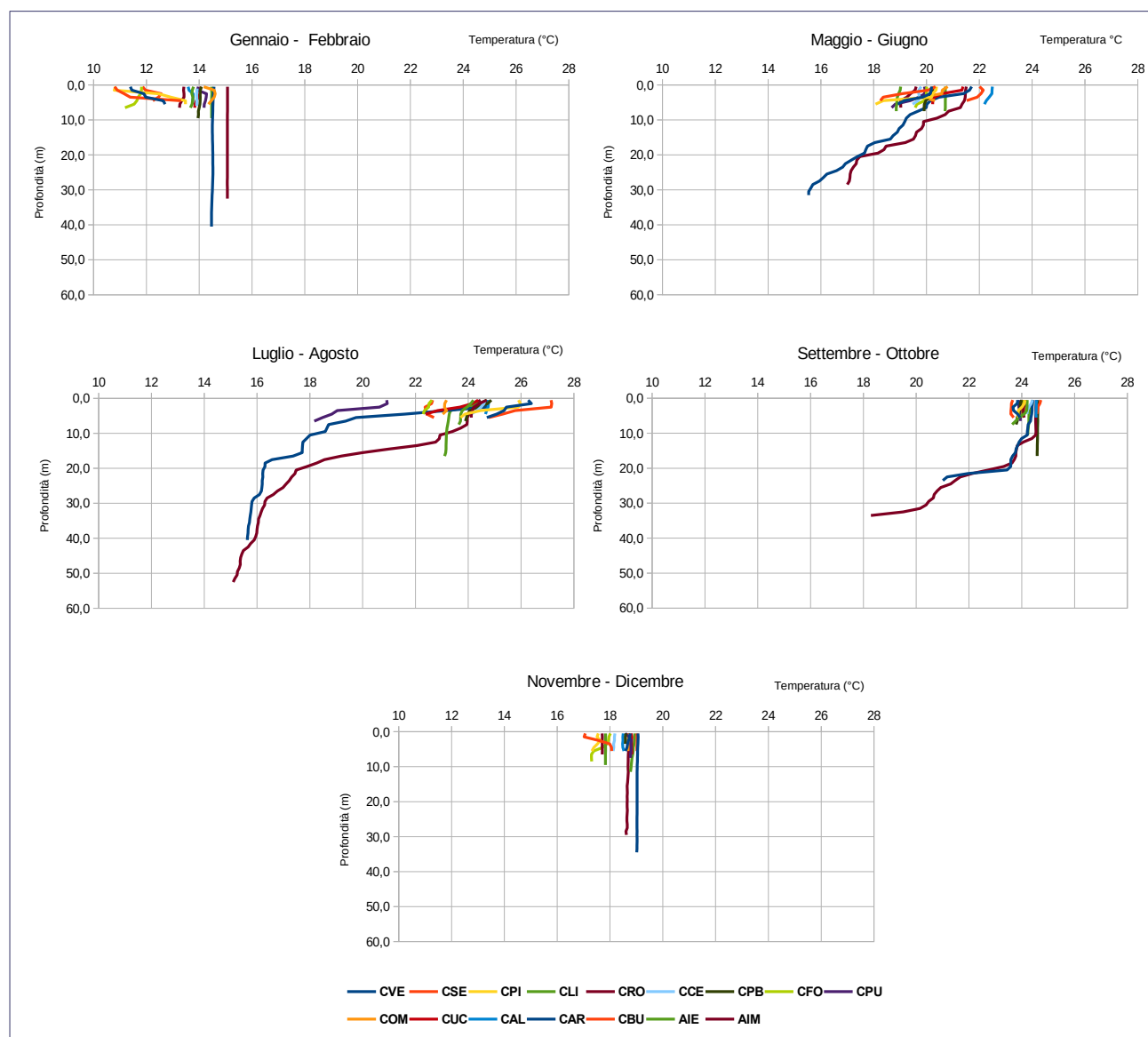


Figura 5.12- Profili di temperatura nelle diverse campagne del anno 2021

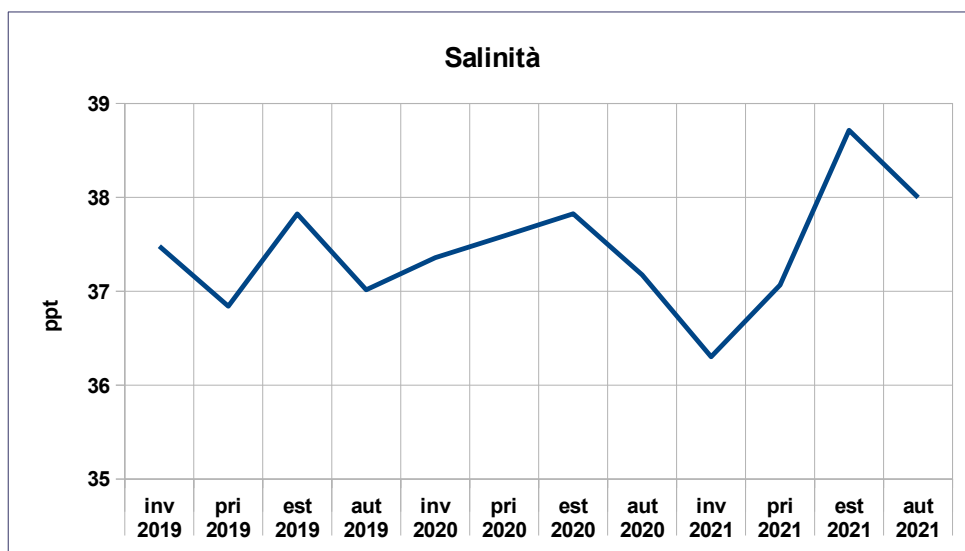


Il profilo verticale della temperatura nelle diverse stazioni, registrato durante le campagne del 2021 (figura 5.12), mostra come nei mesi invernali l'influenza dei fiumi rivesta un ruolo fondamentale: i corpi idrici con presenza di corsi d'acqua come Costa Versilia, del Serchio e pisana, presentano una netta stratificazione delle masse d'acqua con uno strato superficiale più freddo intorno a 10/12°C, e quelli più profondi tendono ad avere temperature maggiori intorno ai 13°C. Tutti gli altri corpi idrici presentano temperature superficiali e profonde pressoché costanti e per lo più comprese tra 13° e 15°C (in conseguenza anche delle diverse date di rilevazione). Con l'arrivo della primavera il riscaldamento superficiale per l'irraggiamento solare inizia a prevalere anche sugli apporti fluviali e dovunque inizia a formarsi un termoclino con temperature superficiali, a maggio - giugno, comprese tra 20° e 22°C (più fredde nei corpi idrici comprendenti fiumi). Nel periodo estivo le masse d'acqua hanno continuato ad accumulare

calore in superficie (fino a 26-27°C) ed il gradiente termico con gli strati sottostanti (sotto i 5 metri di profondità) aumenta progressivamente (ad esempio a Porto S. Stefano si passa da 24,7°C della superficie a temperature inferiori a 20°C intorno a 5 m di profondità fino ad arrivare a 15,6°C a 40m) anche per lo scarso rimescolamento dovuto alla stabilità atmosferica. A settembre - ottobre le masse d'acqua appaiono per lo più totalmente rimescolate con temperature tra i 24° e 25°C per la maggior parte dei corpi idrici: si distinguono tra questi i corpi idrici le cui stazioni raggiungono maggiori profondità come Costa Argentario e Arcipelago Isole Minori, in cui le masse d'acqua mantengono una temperatura intorno a 24°C fino a 20 metri per poi diminuire bruscamente. A novembre - dicembre le masse d'acqua sono completamente rimescolate.

La salinità mostra variazioni imputabili ai fenomeni di evaporazione e precipitazione legati ai periodi stagionali, oltre che agli apporti fluviali, come conferma l'andamento della salinità superficiale (0,5m), come media di tutti i corpi idrici della Toscana (figura 5.13), nelle stagioni del triennio 2019-2021. I massimi di salinità (38-39 ppt) si riscontrano in coincidenza dei periodi estivi, mentre i valori minimi (36-37ppt) sono sempre da riferirsi ai regimi fluviali e alle maggiori precipitazioni, che in questi anni oscillano tra autunno, inverno o primavera. In ogni caso, i valori di salinità inferiori a 36 ppt si ritrovano solo nei corpi idrici influenzati da fiumi, soprattutto Costa della Versilia del Serchio e pisana e, talvolta, alla Foce dell'Ombrone.

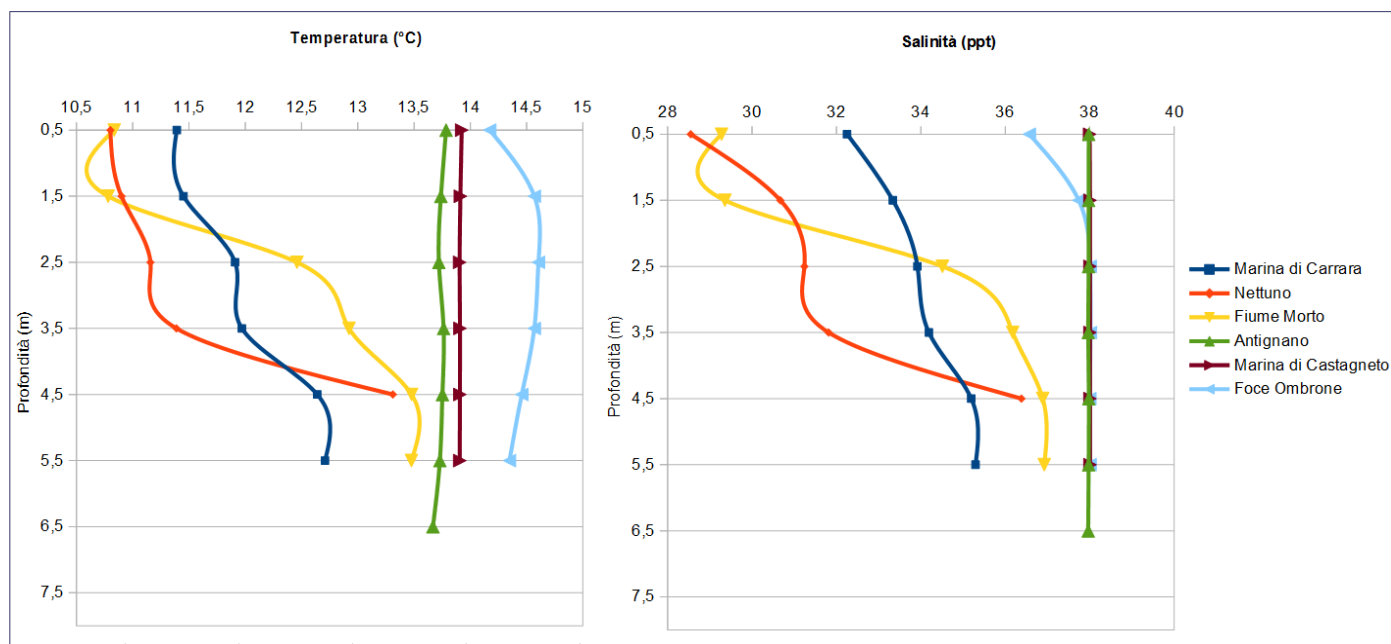
Figura 5.13 - Andamento stagionale medio di salinità superficiale Triennio 2019-2021



A conferma dell'influenza degli apporti fluviali nei corpi idrici della costa settentrionale, Costa della Versilia (stazione Marina di Carrara), Costa del Serchio (stazione Nettuno) e Costa pisana (stazione Fiume Morto), si possono valutare le variazioni di salinità in parallelo a quelle di temperatura (5.14) durante il mese di gennaio 2021 in confronto a quelle di altri 3 corpi idrici (Costa livornese – Antignano; Costa del Cecina – Marina di Castagneto; Costa dell'Ombrone – Foce Ombrone). Si può vedere, infatti, come i profili dei 2 parametri siano sovrapponibili in

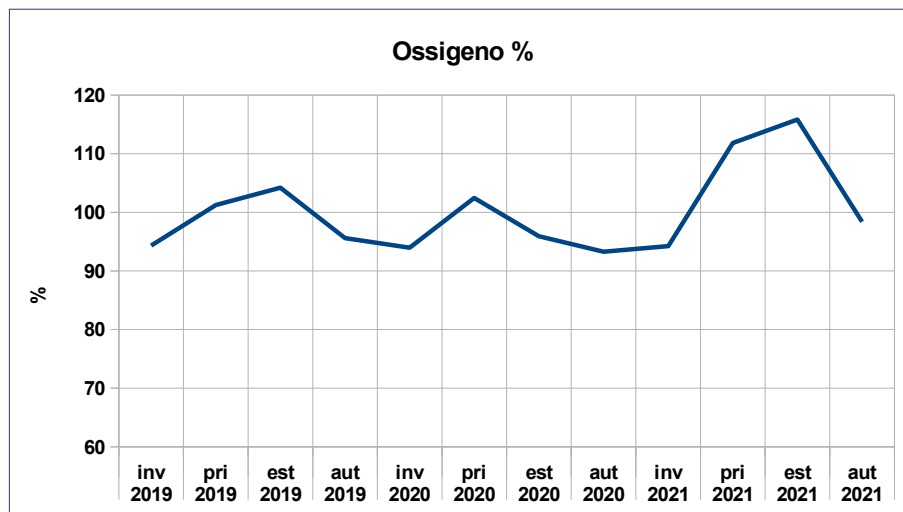
entrambi i gruppi, con temperature e salinità molto più basse (10,5-11,5°C e 28-32 ppt) in superficie nei 3 corpi idrici influenzati da acque fluviali (Magra, Serchio, Arno e altri corsi d'acqua minori), dolci e fredde, mentre al di sotto dei 5 metri prevalgono le caratteristiche tipiche di acque costiere con salinità e temperature che si avvicinano a quelle delle zone più a Sud (37-38 ppt e 13,5-14,5°C), esenti da questi fattori.

Figura 5.14 - Profili di temperatura (a sinistra) e di salinità (a destra) nel gennaio 2021 in alcuni corpi idrici



La quantità di ossigeno disciolto permette di valutare l'attività della componente fitoplanctonica nell'ambiente. I valori massimi di saturazione di ossigeno coincidono con il periodo di fine primavera - inizio estate e raramente superano il 110%. Da questo andamento si discosta il 2021 in cui si registrano valori maggiori di 120% soprattutto nelle aree a nord. I valori stagionali medi di questi due parametri sono riportati in figura 5.15.

Figura 5.15 - Andamento stagionale medio dell'ossigeno disciolto superficiale. Triennio 2019-2021



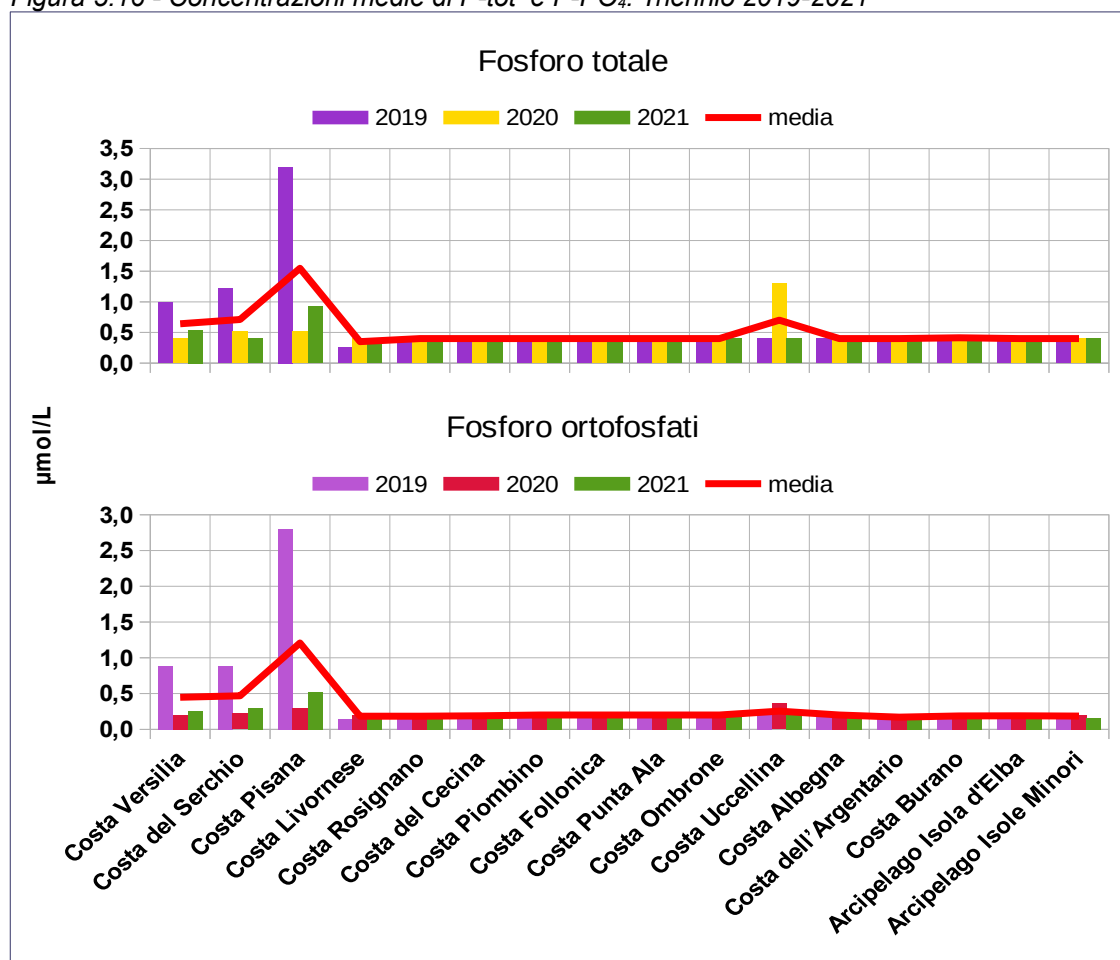
Trasparenza

La trasparenza dell'acqua fornisce una valutazione della densità del materiale sospeso, sia di origine biotica che abiotica. Il parametro ha un valore prevalentemente comparativo tra ambienti e stagioni ed è di supporto ad altre informazioni sulla qualità delle acque.

Nutrienti

La presenza del fosforo in mare può essere dovuta ad attività di tipo antropico, come industrie conserviere, mangimifici, allevamenti di animali, e fenomeni naturali come il dilavamento dei suoli dei bacini naturali. Questo micronutriente viene ricercato in mare sotto due forme: il fosforo totale (P-tot) e fosforo ortofosfato (P-PO₄). La presenza del fosforo totale è legata al particolato di natura organica sospeso lungo la colonna d'acqua, che può essere di origine detritica o fitoplanctonica; l'**ortofosfato** è invece la componente assimilabile da parte del fitoplancton. In generale, nelle acque toscane questi due elementi sono molto bassi, quasi sempre al di sotto del limite di quantificazione (P-tot = 0,4 µmol/l e P-PO₄ = 0,2 µmol/l).

I valori medi più alti di questi nutrienti sono stati registrati nel 2019 nei 3 corpi idrici più a Nord, in particolare in Costa Pisana, dove durante la campagna marzo - aprile la concentrazione di P-tot è di 17 µmol/l e quella di P-PO₄ di 15,9 µmol/l (figura 5.16).

Figura 5.16 - Concentrazioni medie di P-tot e P-PO₄. Triennio 2019-2021

Le **componenti azotate** ricercate sono l'azoto totale (N-tot) e le sue forme disciolte azoto nitroso (N-NO₂), nitrico (N-NO₃) e ammoniacale (N-NH₃): la somma di queste tre componenti solubili, chiamata DIN, *Dissolved Inorganic Nitrogen*, viene utilizzata nel calcolo dell'indice trofico TRIX.

Le sorgenti di azoto in ambiente marino sono individuate nell'agricoltura e nel comparto zootecnico, scarichi civili e industriali, oltre che dal dilavamento dei terreni determinato dalle precipitazioni atmosferiche.

Le concentrazioni medie maggiori di **azoto totale** sono registrate nei corpi idrici a Nord soprattutto in quest'ultimo anno di attività, quintuplicate rispetto agli anni precedenti per Costa Versilia e raddoppiate per Costa del Serchio e pisana. Bisogna, però, sottolineare come l'eccezionale aumento del 2021 nella stazione di Marina di Carrara (Costa Versilia) sia stato determinato essenzialmente dalla concentrazione di 365 $\mu\text{mol/L}$ rilevata il 19 luglio, valore che è 4-5 volte superiore ai massimi mai rilevati fino ad allora. Questo dato (ricontrollato analiticamente), per quanto straordinario, trova un riscontro relativo nelle elevate concentrazioni del 21 settembre nella stessa stazione (77 $\mu\text{mol/L}$) e in quelle rilevate nelle stesse date (19 e 21 settembre) a Costa Serchio (38 e 61,3 $\mu\text{mol/L}$) e Costa Pisana (43 e 58,5 $\mu\text{mol/L}$), che sono i

valori massimi del 2021 per tutte queste zone. Durante l'estate 2021, quindi, si è verificato uno strano aumento di azoto totale nei corpi idrici settentrionali, senza che vi fossero analoghi aumenti di biomassa fitoplanctonica (come clorofilla *a*) né di altri nutrienti azotati o fosfati e neppure variazioni significative di temperatura e salinità. Questa condizione risulta ancor più inspiegabile anche per altri aspetti:

- è anomala rispetto agli altri anni, quando i massimi di N tot in questi stessi corpi idrici si sono verificati nel periodo invernale, accompagnati da cali di salinità (apporti fluviali e precipitazioni);
- è unica nel 2021 rispetto a tutti gli altri corpi idrici delle acque marine della Toscana, riscontrata neppure in quelli con analoghi potenziali influssi da terra (Costa Ombrone e Costa Burano);
- dai *report* meteorologici mensili del Consorzio LaMMA¹ non risultano variazioni significative rispetto alle medie stagionali nei parametri rilevati e neppure dai dati di portata del fiume Serchio e del fiume Arno (Report idrologici della Regione Toscana²).

Costa Burano presenta un incremento dell'azoto totale a partire dal 2020 (22,3 µmol/l) rispetto agli anni precedenti, incremento confermato anche nel 2021 (39 µmol/l): questo ulteriore aumento è, con ogni probabilità, legato ad apporti provenienti dalla Laguna di Orbetello, perché la concentrazione più elevata di 100 µmol/l è stata misurata il 18 gennaio (inverno), in contemporanea a un sensibile calo di salinità (inferiore a 37 ppt) e a livelli massimi di biomassa (clorofilla *a*) e nutrienti (azoto nitrico, azoto ammoniacale e fosforo totale).

Per quanto riguarda il corpo idrico Costa Follonica, che nel 2019 aveva fatto registrare una concentrazione media di 45,3 µmol/l, i valori sono diminuiti nel 2020 (periodo lockdown) a 5,7 µmol/l e leggermente risaliti nel 2021 (14,8 µmol/l).

Le concentrazioni medie più alte di **azoto nitrico** sono presenti nella zona Nord della Toscana con valori compresi nei 3 anni tra 4 µmol/l (Costa del Serchio, 2021) e 9,6 µmol/l (Costa Versilia, 2019); nel 2020 la concentrazione media più alta (9,6 µmol/l) è stata, invece registrata in Costa dell'Ombrone.

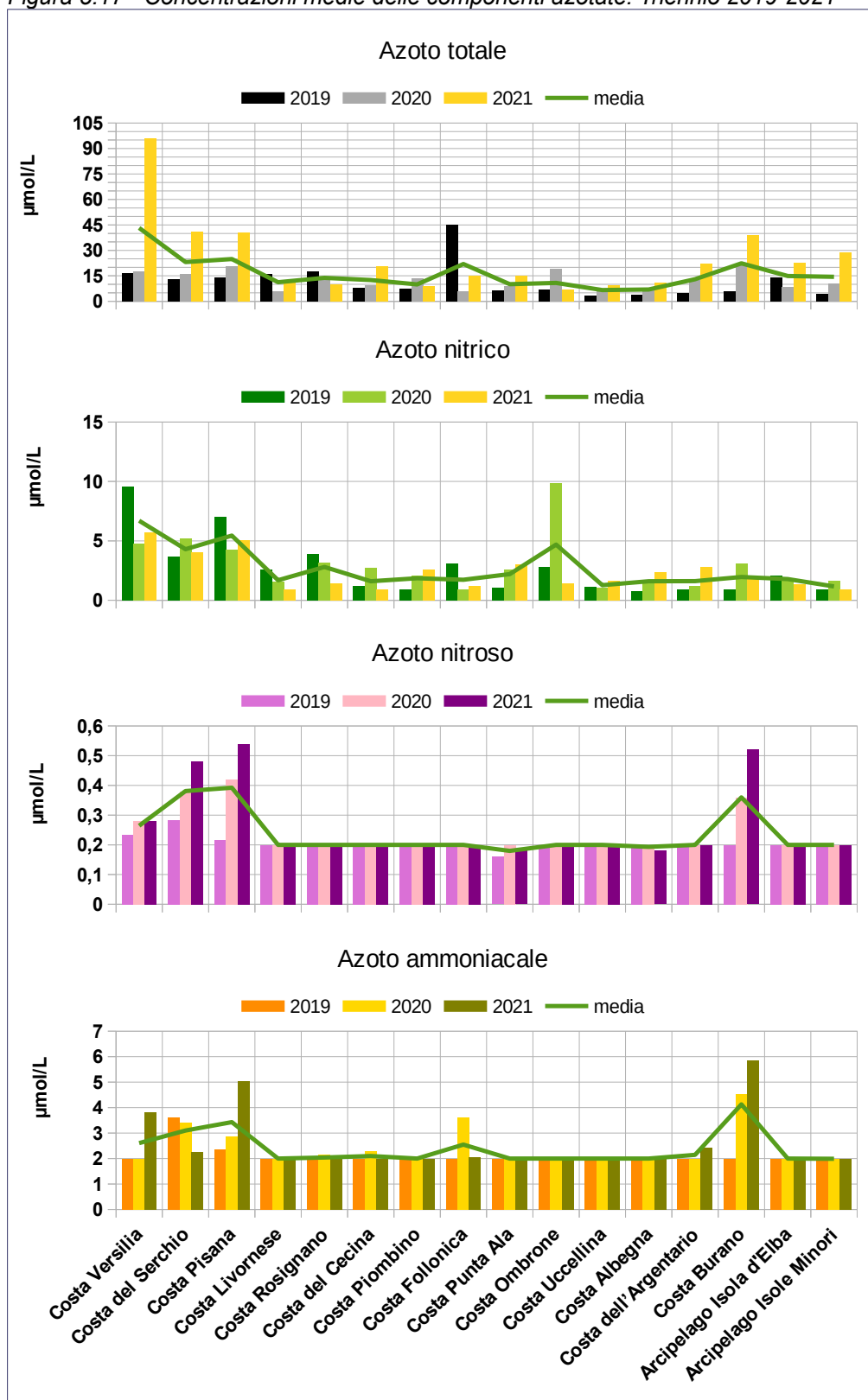
La maggior parte delle concentrazioni di **azoto nitroso** rilevate nei tre anni in esame sono al di sotto del limite di quantificazione. Si registrano comunque valori di concentrazione più alti nella zona Nord della Toscana (Costa Versilia, Costa del Serchio, Costa pisana) e a sud Costa Burano.

Come nel caso dell'azoto nitroso anche per l'**azoto ammoniacale** le concentrazioni medie sono per lo più inferiori a limite di quantificazione. La stazione che presenta un aumento sostanziale nella concentrazione di azoto ammoniacale è Ansedonia (Costa Burano).

¹ <http://www.lamma.rete.toscana.it/clima-e-energia/climatologia/report-mensili-toscana>

² <http://www.sir.toscana.it/report-idrologici>

Figura 5.17 - Concentrazioni medie delle componenti azotate. Triennio 2019-2021

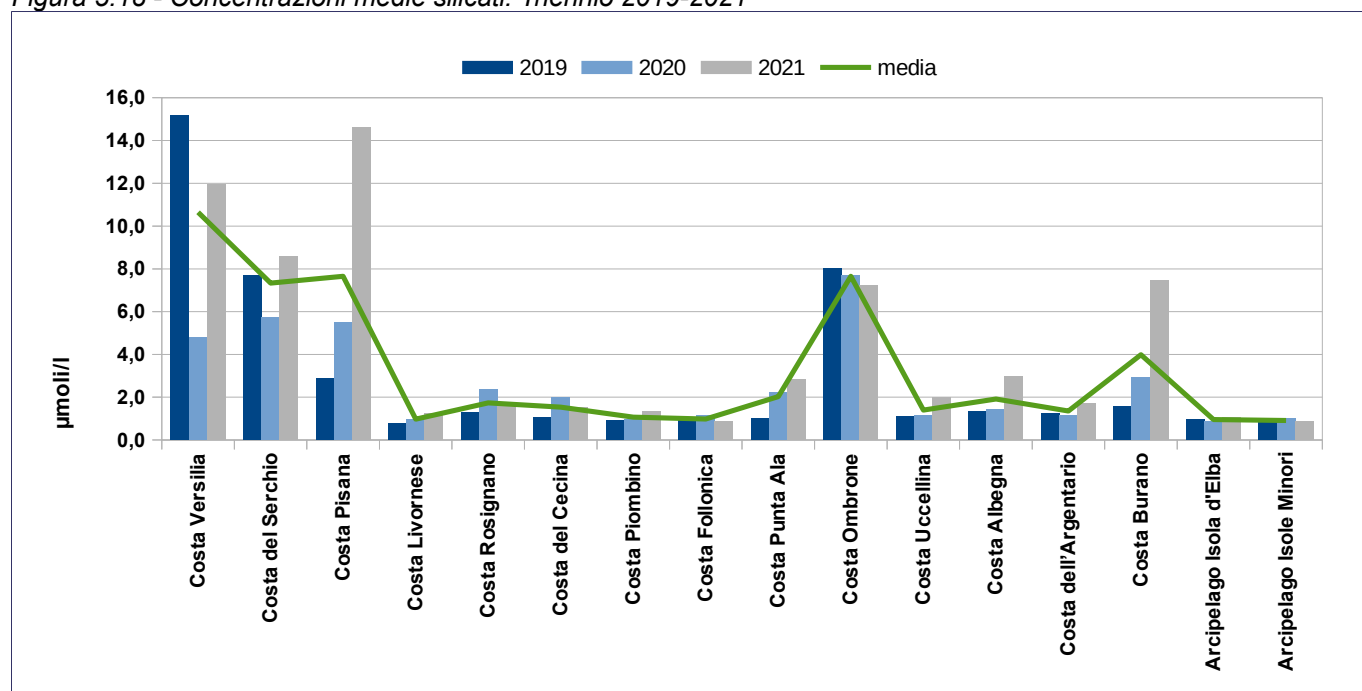


In generale le concentrazioni dei componenti azotati sono piuttosto basse e in linea con quanto già visto negli scorsi anni, ma, come detto, fanno eccezione i corpi idrici della costa settentrionale maggiormente influenzati dall'apporto di nutrienti per la presenza di numerosi e importanti corsi d'acqua.

Infine, risulta essere interessante la situazione di Costa Burano che, rispetto agli anni precedenti, presenta un aumento di tutte le componenti azotate che potrebbe essere da una parte legato alla Laguna di Orbetello, dato che il punto di campionamento in mare è situato a circa 500m dal canale di sbocco di Ansedonia, dall'altra agli apporti del depuratore Terrarossa, che riceve i reflui da un comprensorio molto grande tra i comuni di Orbetello e di Monte Argentario e che scarica in mare, tramite una condotta sottomarina, a 3 km dalla costa di Ansedonia.

La presenza di silicati in mare (figura 5.18) è maggiore nei corpi idrici interessati da apporti fluviali dove i valori medi del triennio risultano compresi tra 7,3 e 10,3 $\mu\text{mol/l}$. La concentrazione più alta trovata nel triennio è di 41,9 $\mu\text{mol/l}$ (Costa Versilia, aprile 2019).

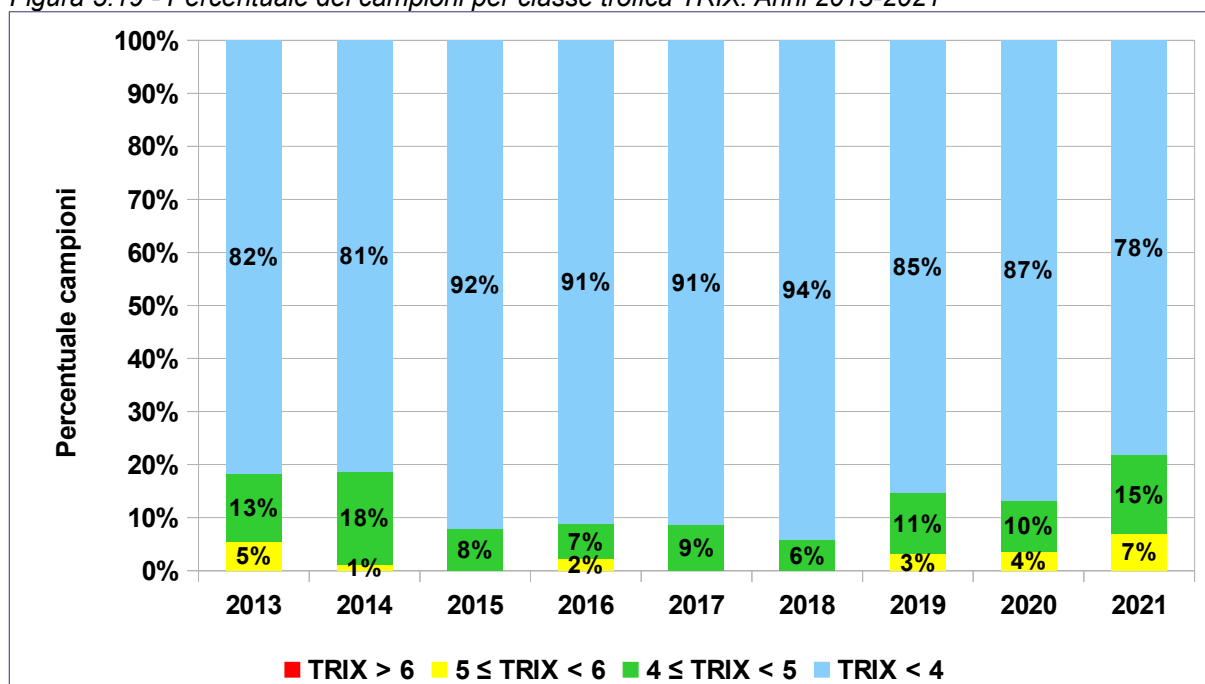
Figura 5.18 - Concentrazioni medie silicati. Triennio 2019-2021



Indice trofico TRIX

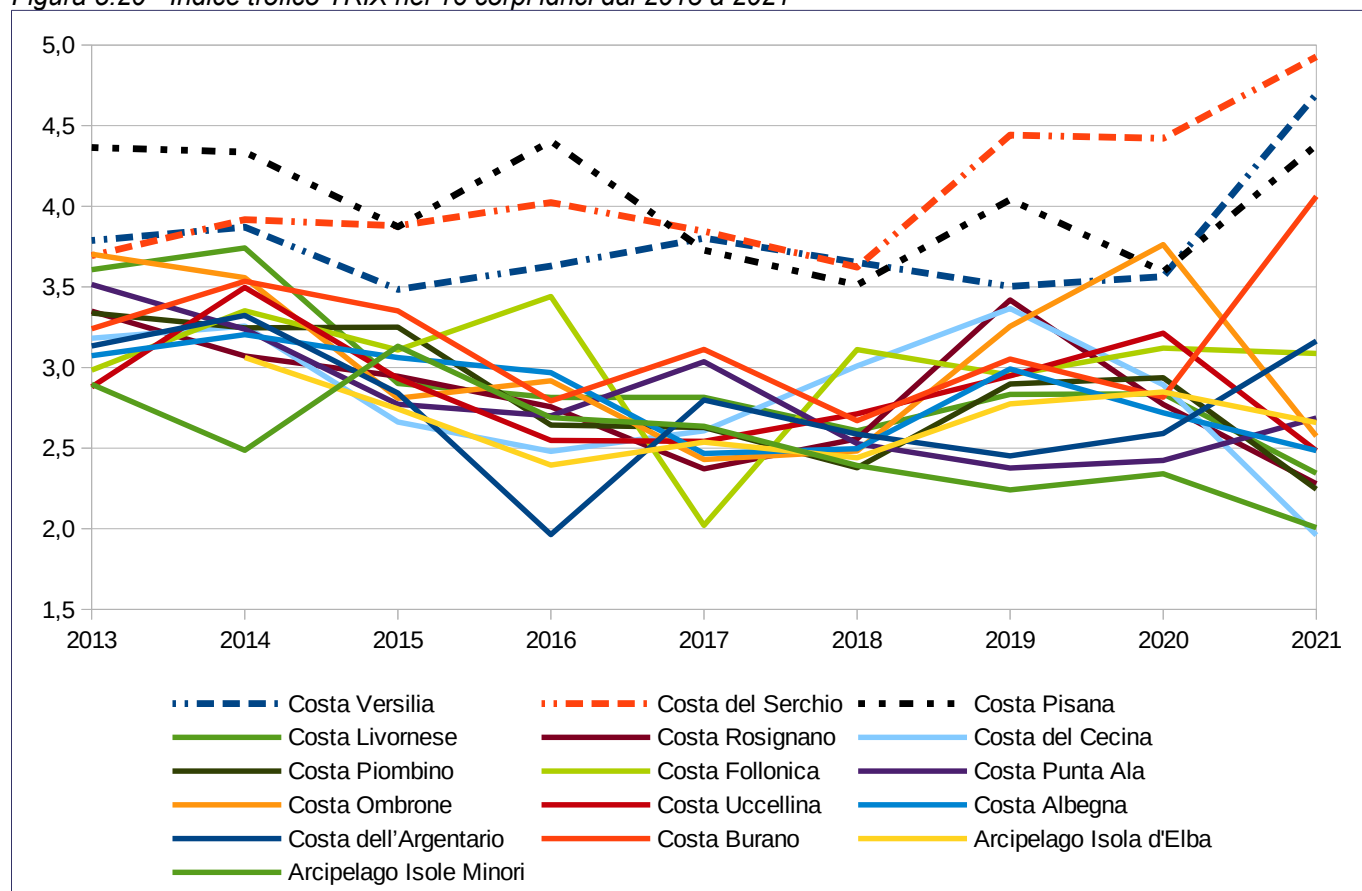
L'indice trofico TRIX integra parametri che caratterizzano la produzione primaria quali clorofilla, ossigeno e nutrienti sintetizzandoli in un unico valore numerico che in una scala da 0 a 10 definisce le condizioni di trofia e di produttività delle aree costiere. Sulla base di questi valori le acque della costa toscana appaiono contraddistinte da una condizione di oligotrofia, caratterizzata da alti tassi di ossigeno e basse concentrazioni di nutrienti, spesso pari al limite di quantificazione strumentale. Il calcolo di questo indice su campioni prelevati nel corso degli anni (figura 5.19), indica che la percentuale maggiore (78-92%) dei campioni risulta avere un valore di indice trofico inferiore a 4 (stato elevato).

Figura 5.19 - Percentuale dei campioni per classe trofica TRIX. Anni 2013-2021



I corpi idrici a nord della Toscana, Costa Versilia, Costa del Serchio e Costa pisana, risultano essere più interessati da fenomeni di eutrofizzazione o comunque soggetti a maggiori scostamenti di trofia con valori medi annuali dell'indice trofico TRIX (figura 5.20) compresi tra 3,5 e 4,9. Nei periodi primaverili e autunnali in questi corpi il valore del TRIX supera spesso il valore di 5: il valore più alto di questo indice calcolato lungo la costa toscana è 5,9 (Costa Pisana giugno 2013).

Figura 5.20 - Indice trofico TRIX nei 16 corpi idrici dal 2013 a 2021



Con il D.M. 260/10 l'Indice TRIX viene richiesto come elemento di qualità fisico-chimica a supporto nella classificazione dello stato ecologico delle acque marino costiere. In base ai valori medi annui sono stati indicati i limiti di classe tra lo stato buono e quello sufficiente per ciascuno dei macrotipi individuati su base idrologica. Per il macrotipo "Bassa stabilità", in cui ricade la costa toscana, il limite di classe TRIX tra lo stato buono e quello sufficiente è 4,0.

Come si nota nella tabella 5.11, i valori medi annuali dell'indice trofico TRIX superano il valore soglia nel corpo idrico Costa del Serchio in tutti e tre gli anni in esame e in Costa Versilia, Costa Pisana e Costa Burano solo nel 2021. Ai fini della classificazione dei corpi idrici nel triennio 2019-2021 viene utilizzata la media dei TRIX ottenuti in questi 3 anni: il valore di 4,0 viene superato solo nel caso di Costa del Serchio (medio periodo 2019-2021 = 4,6) con conseguente declassamento del giudizio di qualità ecologica ottenuto con gli EQB. Per tutti gli altri corpi idrici il valore medio del triennio 2019-2021 risulta inferiore a 4,0.

Tabella 5.11 - Valori medi annuali dell'indice trofico TRIX

Corpo Idrico	TRIX 2019	TRIX 2020	TRIX 2021	TRIX 2019-2021
Costa Versilia	3,5	3,6	4,7	3,9
Costa del Serchio	4,4	4,4	4,9	4,6
Costa Pisana	4,0	3,6	4,4	4,0
Costa Livornese	2,8	2,8	2,3	2,7
Costa Rosignano	3,4	2,8	2,3	2,8
Costa del Cecina	3,4	2,9	2,0	2,7
Costa Piombino	2,9	2,9	2,2	2,7
Costa Follonica	3,0	3,1	3,1	3,1
Costa Punta Ala	2,4	2,4	2,7	2,5
Costa Ombrone	3,3	3,8	2,6	3,2
Costa Uccellina	2,9	3,2	2,5	2,9
Costa Albegna	3,0	2,7	2,5	2,7
Costa Argentario	2,5	2,6	3,2	2,7
Costa Burano	3,1	2,8	4,1	3,3
Arcipelago Isola d'Elba	2,8	2,8	2,7	2,8
Arcipelago Isole Minori	2,2	2,3	2,0	2,2

Integrando i valori di classe di qualità ambientale ottenuti per ciascun corpo idrico tramite gli EQB con i dati del TRIX, il corpo idrico Costa del Serchio passerà da BUONO a SUFFICIENTE, mentre il giudizio su tutti gli altri corpi idrici è confermato.

5.1.7 Elementi chimici a sostegno - Fase II

Il D.M.260/10, così come ribadito nel successivo I D.Lgs. 172/15, indica che per ottenere uno stato Elevato è necessario che la media della concentrazione delle sostanze di sintesi sia minore o uguale ai limiti di quantificazione, e che le concentrazioni delle sostanze di origine naturale ricadano entro i livelli di valore di fondo naturali. Per la classificazione del triennio del monitoraggio operativo si utilizza il valore peggiore della media calcolata per ciascun anno. Qualora nel medesimo corpo idrico si monitorino più siti per il rilevamento dei parametri chimici, ai fini della classificazione del corpo idrico si considera lo stato peggiore tra quelli attribuiti alle

single stazioni. Ai fini dell'elaborazione della media annuale, quando il valore analitico è risultato inferiore al limite di quantificazione della metodica analitica utilizzata, è stata usata la metà del valore del limite di quantificazione, così come indicato al punto 13 del paragrafo A.2.8 del DM 260/2010. Quando il 90% dei risultati analitici è al sotto del limite di quantificazione, non è stata fatta la media dei valori ma semplicemente è stato riportato il risultato come “minore del limite di quantificazione”, come indicato al punto 14 del del paragrafo A.2.8 del DM 260/2010.

Tabella 5.12 - Metalli non appartenenti all'elenco di priorità (tabella 1/B D.Lgs 172/15). Triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Arsenico			Cromo		
		SQA-MA: 5 µg/L			SQA-MA: 4 µg/L		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021
Costa Versilia	Mar. di Carrara	1	2	2	< 1	2	2
Costa del Serchio	Nettuno	2	2	2	< 1	2	1
Costa Pisana	Fiume Morto	2	2	2	< 1	1	2
Costa Livornese	Antignano	2	2	2	1	1	2
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	2	2	2	< 1	1	2
Costa del Cecina	Mar. Castagneto	2	2	2	< 1	2	1
Costa Piombino	Salivoli	1	2	2	1	1	1
Costa Follonica	Carbonifera	1	2	2	1	1	1
Costa Punta Ala	Foce Bruna	1	2	2	< 1	2	1
Costa Ombrone	Foce Ombrone	1	2	2	< 1	1	1
Costa Uccellina	Cala di Forno	1	2	2	1	2	1
Costa Albeana	Foce Albeana	1	2	2	1	1	2
Costa Argentario	Porto S. Stefano	2	2	2	< 1	< 1	1
Costa Burano	Ansedonia	1	2	2	1	2	1
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	2	2	2	2	2	1
	Elba Sud	1	2	2	1	2	1
Arcipelago Isole Minori	Giglio	2	2	2	< 1	< 1	2
	Montecristo	2	2	2	< 1	1	1
	Capraia	2	2	2	< 1	< 1	2

I valori medi annuali dei metalli arsenico e cromo totale, così ottenuti, sono in tutti i corpi idrici inferiori agli standard di qualità ambientale indicati nella Tab.1/B del D.Lgs 172/2015 (tabella 5.12). Essendo poi le sostanze di sintesi monitorate tutte al di sotto del limite di quantificazione, **il giudizio dello stato ambientale ottenuto nella fase I risulta confermato.**

5.2 Stato chimico

La progressiva riduzione dell'inquinamento causato dalle sostanze prioritarie e l'arresto o la graduale eliminazione di scarichi, emissioni e perdite di sostanze pericolose prioritarie stesse sono tra gli obiettivi della Direttiva Quadro 2000/60/CE (Water Framework Directive, WFD). 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) del D.Lgs 172/15.

Ai fini dell'elaborazione della media annuale, quando il valore analitico è risultato inferiore al limite di quantificazione della metodica analitica utilizzata, è stata usata la metà del valore del limite di quantificazione, così come indicato al punto 13 del paragrafo A.2.8 del DM 260/2010. Quando il 90% dei risultati analitici è al sotto del limite di quantificazione, non è stata fatta la media dei valori ma semplicemente è stato riportato il risultato come "minore del limite di quantificazione", come indicato al punto 14 del paragrafo A.2.8 del DM 260/2010.

5.2.1 Sostanze chimiche appartenenti all'elenco di priorità: acqua

Mercurio e metalli. La concentrazione del mercurio nelle acque del litorale toscano presenta nel 2019 superamenti dello Standard di Qualità Ambientale - Concentrazione Massima Ammissibile (SQA-CMA = 0,07 µg/l) in quattro corpi idrici, due dei quali però risultano conformi sulla base dei Valori di fondo riportati nel DGRT 264/18. Nel 2020 un solo corpo idrico, Costa del Cecina, supera lo Standard di Qualità Ambientale - Concentrazione Massima Ammissibile (SQA-CMA = 0,07 µg/l), mentre per questo parametro nel 2021 tutte le stazioni risultano conformi (tabella 5.13). I corpi idrici Costa pisana e Costa del Cecina pertanto, per il triennio 2019-2021 non hanno conseguito lo stato buono.

Tabella 5.13 - Concentrazioni di mercurio eccedenti rispetto al SQA-CMA e ai valori di fondo. - Triennio 2019 - 2021

Corpo idrico	Stazione	Data di campionamento	Mercurio µg/L		
			Concentrazione	SQA-CMA D.Lgs. 172/2015	Valori di Fondo DGRT 264/2018
Costa Pisana	Fiume Morto	01/07/2019	0,12	0,07	0,09
Costa del Cecina	Mar. Castagneto	04/07/2019	0,14	0,07	0,04
Costa Ombrone	Foce Ombrone	17/07/2019	0,23	0,07	0,26
Costa Albegna	Foce Albegna	06/05/2019	0,16	0,07	0,26
Costa del Cecina	Mar. Castagneto	04/05/2020	0,08	0,07	0,04

Come indicato in tabella 5.14, non si evidenziano superamenti degli standard ambientali per nessuno degli altri metalli inclusi nella tabella 1/A del D.Lgs 172/15.

Tabella 5.14 - Concentrazioni medie di cadmio, nichel e piombo. - Anno 2019-2021

Corpo idrico	Cadmio µg/L SQA-MA: 0,2 µg/l			Nichel µg/L SQA-MA: 8,6 µg/l			Piombo µg/l SQA-MA: 1,3 µg/l		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Costa Versilia	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 1	2,5	4,3	< 0,4	0,6	0,4
Costa del Serchio	< 0,05	< 0,05	0,1	< 1	2,8	3,2	< 0,4	0,5	0,5
Costa Pisana	< 0,05	< 0,05	< 0,05	2,5	3,1	2,7	0,5	0,5	0,6
Costa Livornese	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,1	2,8	3,1	0,5	< 0,4	< 0,4
Costa Rosignano	< 0,05	0,1	< 0,05	1,2	3,6	2,9	0,5	1,1	< 0,4
Costa del Cecina	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,4	3,1	3,5	0,4	0,7	0,4
Costa Piombino	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,2	3,1	5,9	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Costa Follonica	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,6	3,3	3,3	< 0,4	0,6	0,5
Costa Punt'Ala	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,7	2,2	3,5	0,5	0,4	0,4
Costa Ombrone	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 1	2,6	3,0	< 0,4	0,8	< 0,4
Costa Uccellina	< 0,05	0,1	< 0,05	1,6	3,8	3,3	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Costa Albegna	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,3	4,7	2,7	< 0,4	0,6	0,4
Costa Argentario	< 0,05	0,1	< 0,05	1,4	1,6	2,9	< 0,4	0,4	0,4
Costa Burano	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 1	3,9	2,8	< 0,4	0,6	0,4
Arcipelago Isola d'Elba	< 0,05	0,1	< 0,05	1,3	3,4	2,4	0,4	< 0,4	0,4
Arcipelago Isole Minori	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 1	1,9	2,5	< 0,4	0,7	0,5

TBT, Benzo benzo[a]pirene, di(2-etilesilftalato) e altre sostanze prioritarie.

Il **TBT**, sostanza utilizzata nelle vernici antivegetative, non presenta in questo triennio di monitoraggio superamenti dello Standard di Qualità Ambientale - Concentrazione Massima Ammissibile (SQA-CMA = 0,0015 µg/l): la concentrazione media annuale di questo composto, invece, supera lo Standard di Qualità Ambientale Medio Annuo in Costa del Serchio in tutti e tre gli anni di monitoraggio (il punto di campionamento è situato di fronte al porto di Viareggio) e in Costa pisana nel 2019. Il **di(2-etilesilftalato) o DEHP** presenta superamenti dello standard di qualità in Costa dell'Albegna nel 2020.

Per quanto riguarda gli **idrocarburi policiclici aromatici (IPA)**, il **benzo[a]pirene o BaP**, presenta superamenti dello standard ambientale a Costa Versilia nel 2019, mentre il **Benzo [ghi] perilene** supera il valore del SQA-CMA (= $8,2 \times 10^{-4} \mu\text{g/l}$) a Costa Piombino durante la V campagna 2020 (20 ottobre 2020), con una concentrazione di $1,0 \times 10^{-3} \mu\text{g/l}$, e a Costa Ombrone durante la campagna 2021 (14 settembre 2021), con una concentrazione di $9,0 \times 10^{-4} \mu\text{g/l}$. I dati medi di concentrazione annua di TBT, DEHP e BaP sono riportati in tabella 5.15.

Per il **difenileterobromato** (PBDE), il **nonilfenolo** e **ottilfenolo**, gli **organo alogenati**, e tutte le altre sostanze ricercate e riportate in tabella 3.2, le concentrazioni ottenute dalle analisi sono tutte ampiamente al di sotto degli standard di qualità ambientali indicati dalla normativa.

Tabella 5.15 - Concentrazioni medie di TBT, DEHP e BaP. - Triennio 2019-2021

Corpo idrico	TBT µg/L SQA-MA: 0,0002 µg/l			DEHP µg/L SQA-MA: 1,3 µg/l			BaP µg/L SQA-MA: 0,00017 µg/l		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Costa Versilia	0,0002	0,0001	0,0001	< 0,4	0,4	1,0	0,00027	0,00017	0,00015
Costa del Serchio	0,0003	0,0004	0,0007	< 0,4	0,4	0,4	0,00006	0,00006	0,00006
Costa Pisana	0,0004	0,0001	0,0002	< 0,4	0,4	< 0,4	0,00005	0,00006	0,00006
Costa Livornese	0,0002	0,0001	< 0,0001	< 0,4	< 0,4	0,6	0,00006	0,00005	0,00008
Costa Rosignano	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,00007	0,00005	0,00005
Costa del Cecina	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	0,4	< 0,4	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Costa Piombino	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	< 0,4	0,9	< 0,00005	0,00011	0,00005
Costa Follonica	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	< 0,4	0,6	< 0,00005	0,00005	< 0,00005
Costa Punt'Ala	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	0,5	0,7	< 0,00005	0,00006	< 0,00005
Costa Ombrone	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	0,4	< 0,4	< 0,00005	< 0,00005	0,00008
Costa Uccellina	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	0,4	< 0,4	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Costa Albegna	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	1,7	< 0,4	< 0,00005	< 0,00005	0,00009
Costa Argentario	0,0002	0,0001	< 0,0001	< 0,4	< 0,4	1,0	0,00007	< 0,00005	0,00005
Costa Burano	0,0001	0,0001	< 0,0001	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,00005	< 0,00005	0,00005
Arcipelago Isola d'Elba	0,0002	0,0001	< 0,0001	< 0,4	0,6	0,5	< 0,00005	0,00005	0,00005
Arcipelago Isole Minori	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,00005	< 0,00005	0,00005

In grassetto e rosso: valori che superano gli SQA (D.Lgs 172/2015)

TBT : tributilstagno ; DEHP: di(2-etilstilftalato); BaP: benzo [a] pirene

5.2.2 Sostanze chimiche appartenenti all'elenco di priorità: biota

In ottemperanza al D.Lgs. 172/15 art 78 – undicies, comma g, ISPRA, in collaborazione con varie Agenzie per la protezione ambientale tra cui anche ARPA Toscana, ha pubblicato a ottobre del 2016 le linee guida per il monitoraggio delle sostanze prioritarie sul biota (ISPRA, Manuali e Linee Guida 143 20161). Nel 2018, a seguito della proposta di ARPAT, la Regione Toscana ha approvato con il DGRT 264/2018 il nuovo piano di monitoraggio del biota.

In questa relazione si è proceduto ad applicare la normalizzazione di tutti i dati disponibili rispetto al livello trofico in funzione del contenuto lipidico e di peso secco dei diversi taxa, come riportato nelle linee guida. Infatti, per le sostanze che si accumulano soprattutto nella porzione lipidica degli organismi (difenileteri bromurati, esaclorobutadiene, esaclorobenzene, dicofol, fluorantene, benzo[a]pirene), le concentrazioni misurate nel biota devono essere normalizzate rispetto a un contenuto lipidico del 5% per i pesci e del 1% per i molluschi e i crostacei, mentre per le sostanze che non accumulano attraverso la ripartizione idrofobica nei lipidi come, per esempio, il mercurio e l'acido perfluorottansolfonico (PFOS), ma attraverso un altro meccanismo di accumulo, la normalizzazione lipidica deve essere sostituita dalla normalizzazione basata sul peso secco.

Il valore di peso secco predefinito per il pesce è pari al 26% mentre per i molluschi e i crostacei è rispettivamente di 8,3% e 24%. Nella tabella 5.16 sono riportati gli SQA_{biota} corretti per il livello trofico in funzione del contenuto lipidico e di peso secco dei diversi taxa a cui fare riferimento per la classificazione dello stato chimico. I valori inferiori al LOQ non verranno normalizzati e verranno indicati nelle tabelle tra parentesi.

Tabella 5.16 - SQA biota corretti per il livello trofico in funzione del contenuto lipidico e di peso secco dei diversi taxa. (Fonte: ISPRA-Linee guida per il monitoraggio delle sostanze prioritarie (secondo D. Lgs 172/2015).

N	Sostanza	Matrice da monitorare secondo DLgs 172/2015	SQA _{biota} (DLgs 172/2015)	TMF	SQA _{biota} Corretti e normalizzati					
			[µg/kg peso umido]		SQA _{pesci}	SQA _{pesci}	SQA _{pesci}	SQA _{molluschi}	SQA _{crostacei}	Unità di misura
				TAXA LIVELLO TROFICO	PESCE	PESCE	PESCE	MOLLUSCO	CROSTACEO	
				4	3	2	2	2	2	
(5)	Difenileteri bromurati (PBDE)	Pesci	0,0085	1,8*	0,2	0,1	0,05	0,05	0,05	[µg/kg lipide]
(9 ter)	DDT	Pesci (<5% grassi)	50	N.A.	50	50	50	N.A.	N.A.	[µg/kg peso umido]
(9 ter)	DDT	Pesci (>5% grassi)	100	N.A.	100	100	100	N.A.	N.A.	[µg/kg peso umido]
(15)	Fluorantene	Crostacei e molluschi	30	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	3000	3000	[µg/kg lipide]
(16)	Esaclorobenzene (HCB)	Pesci	10	2,7*	200	74	27	27	27	[µg/kg lipide]
(17)	Esaclorobutadiene (HCBd)	Pesci	55	N.D.	1100	1100	1100	1100	1100	[µg/kg lipide]
(21)	Mercurio e composti	Pesci	20	2,2**	77	35	16	16	16	[µg/kg peso secco]
(28)	Benzo[a]pirene	Crostacei e molluschi	5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	500	500	[µg/kg lipide]
(34)	Dicofol	Pesci	33	N.D.	660	660	660	660	660	[µg/kg lipide]
(35)	Acido perfluorottansolfonico e suoi sali (PFOS)	Pesci	9,1	2,1***	35	17	8	25	9	[µg/kg peso secco]
(37)	Diossine e composti diossina-simili	Pesci, crostacei e molluschi	0,0065 TEQ	N.A.	0,0065 TEQ	0,0065 TEQ	0,0065 TEQ	0,0065 TEQ	0,0065 TEQ	[µg/kg peso umido]
(43)	Esabromociclododecano (HBCDD)	Pesci	167	2,7*	3340	1231	454	454	454	[µg/kg lipide]
(44)	Eptacloro ed eptacloro epossido	Pesci	0,0067	N.D.	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	[µg/kg lipide]

N.A.: non applicabile ; N.D.: dati non disponibilità

TMF calcolati *su base lipidica; **su peso secco; ***su peso fresco

Molluschi

I molluschi bivalvi sono tra i bioindicatori più utilizzati, per l'assenza di meccanismi di regolazione di concentrazione interna di molte sostanze chimiche e la loro capacità di accumulare metalli in tracce e altri composti come IPA, pesticidi e altri.

Sono stati prelevati, tra il 2019 e il 2021, 27 campioni di bivalvi. Le analisi vengono condotte sull'intero tessuto molle dell'animale, in accordo con il regolamento sugli alimenti n.1881/2006/EC. Le analisi richieste per i molluschi sono il fluorantene, benzo[a]pirene e le diossine e i composti diossina simili.

Gli organismi bioaccumulatori di riferimento per le acque marino costiere sono *Donax trunculus* Linnaeus, 1758, per i corpi idrici Costa del Serchio e Costa Pisana, e *Mytilus galloprovincialis*, Lamark, 1819 per tutti gli altri.

Tabella 5.17 - Concentrazioni di diossine e i composti diossina similinei molluschi bivalvi. - Triennio 2019- 2021

Corpo idrico	Organismi	PCDD+PCDF+PCB-DL SQA-MA: 0,0065 µg/kg TEQ		
		2019	2020	2021
Costa del Serchio	<i>Donax trunculus</i>	0,0017	0,0021	a.n.e.
Costa Pisana	<i>Donax trunculus</i>	0,0016	0,0017	a.n.e.
Costa Livornese	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	0,0006	0,0008	0,0008
Costa Rosignano	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	0,0007	0,0007	0,0008
Costa Piombino	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	0,0006	0,0009	0,0070
Costa Follonica	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,0011	0,0009	0,0003
Costa Argentario	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,0023	0,0009	0,0069
Arcipelago Isola d'Elba	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	0,0007	0,0002	0,0010
Arcipelago Isole Minori	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,0008	0,0005	c.n.e.

Legenda: * Mitili sottoposti a stabulazione; c.n.e. = campionamento non effettuato; a.n.e.= analisi non effettuate

Nel triennio 2019-2021 (tabella 5.17) i dati forniti dal laboratorio indicano che la somma di PCDF+PCDD+PBC-DL, espressa come equivalente di tossicità TEQ, è per tutte le stazioni monitorate al di sotto dello standard ambientale (il parametro non necessita di normalizzazione) tranne che, nel 2021, per il corpo idrico Costa Argentario, il cui valore è di 0,0069 µg/kg TEQ.

Le concentrazioni di fluorantene e il benzo[a]pirene sono state, sulla base del contenuto lipidico, del 1% poiché questo valore standard è stato utilizzato nella derivazione degli SQA_{biota} riferito ai molluschi e crostacei. Le concentrazioni rilevate (tabella 5.18) per il fluorantene e il benzo[a]pirene sono in quasi tutte le stazioni monitorate minori del limite di quantificazione e

comunque inferiori allo standard di qualità ambientale previsto per questi composti nel biota. Nel 2021, a causa dell'esigua quantità di campione, non è stato possibile effettuare le analisi di fluorantene e di benzo[a]pirennei campioni di Costa del Serchio e Costa Pisana.

Tabella 5.18 - Concentrazioni di fluorantene e benzo[a]pirene nei molluschi bivalvi. - Triennio 2019-2021

Corpo idrico	Organismi	FA						BaP					
		SQA-MA: 30 µg/kg			SQA _{biota} normalizzato: 3000 µg/kg lipide			SQA-MA: 5 µg/kg			SQA _{biota} normalizzato: 500 µg/kg lipide		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Costa del Serchio	<i>Donax trunculus</i>	< 10	< 9	a.n.e.	< 10	(< 9)	a.n.e.	< 1	< 1	a.n.e.	(< 1)	(< 1)	a.n.e.
Costa Pisana	<i>Donax trunculus</i>	< 10	12	a.n.e.	< 10	1200	a.n.e.	< 1	2	a.n.e.	(< 1)	200	a.n.e.
Costa Livornese	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	< 10	< 9	< 9	< 10	(< 9)	(< 9)	< 1	< 1	2	(< 1)	(< 1)	200
Costa Rosignano	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	< 10	< 9	< 9	< 10	(< 9)	(< 9)	< 1	< 1	< 1	(< 1)	(< 1)	(< 1)
Costa Piombino	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	< 10	< 9	< 9	< 10	(< 9)	(< 9)	< 1	< 1	< 1	(< 1)	(< 1)	(< 1)
Costa Follonica	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	< 10	< 9	< 9	< 10	(< 9)	(< 9)	< 1	< 1	< 1	(< 1)	(< 1)	(< 1)
Costa Argentario	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	< 10	< 9	< 9	< 10	(< 9)	(< 9)	< 1	< 1	2	(< 1)	(< 1)	200
Arcipelago Isola d'Elba	<i>Mytilus galloprovincialis</i> *	< 10	< 9	< 9	< 10	(< 9)	(< 9)	4	1,3	2	400	130	200
Arcipelago Isole Minori	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	< 10	< 9	c.n.e.	< 10	(< 9)	c.n.e.	< 1	< 1	c.n.e.	(< 1)	(< 1)	c.n.e.

Legenda: * Mitili sottoposti a stabulazione; c.n.e. = campionamento non effettuato; a.n.e.= analisi non effettuate

Pesci

Le specie ittiche monitorate sono state scelte tra quelle più comuni lungo le coste toscane e sono di seguito elencate:

- **Famiglia Mugilidae**
 - *Mugil cephalus* Linnaeus, 1758
 - *Chelon auratus* (Risso, 1810)
 - *Chelon ramada* (Risso, 1827)
 - *Chelon labrosus* (Risso, 1827)
 - *Chelon saliens* (Risso, 1810)
- **Famiglia Serranidae**
 - *Serranus scriba* (Linnaeus, 1758)
- **Famiglia Labridae**
 - *Symphodus tinca* (Linnaeus, 1758)

I pesci necessari per le analisi sono stati acquistati dai pescatori professionisti che operano nei corpi idrici prescelti, registrando le coordinate del luogo di pesca, e sono stati mantenuti congelati fino al trasferimento nei laboratori per le analisi. Le analisi sono effettuate sul pesce intero, visto che questa è ritenuta l'opzione più semplice e conservativa anche se può portare a sovrastimare il rischio per la salute umana. Inoltre, nel caso in cui sia possibile avere un campione rappresentativo della totalità del pesce, anche di dimensioni rilevanti, questa scelta permette di armonizzare il monitoraggio di specie diverse.

Mercurio e PFOS.

Le concentrazioni di mercurio e PFOS sono state normalizzate e confrontate con i relativi SQA_{biota} normalizzati in relazione al livello trofico del pesce analizzato.

Gli esemplari ittici prelevati nei vari corpi idrici toscani mostrano alti livelli di concentrazione di mercurio, eccedenti lo standard ambientale. Costa del Serchio risulta conforme per questo parametro nel 2020 (tabella 5.19).

Sulla base delle elaborazioni effettuate per l'acido perfluorottansolfonico (**PFOS**), nel 2019 otto corpi idrici risultano non conformi (Costa pisana, Costa livornese, Costa del Cecina, Costa Punt'Ala, Costa dell'Ombrone, Costa Uccellina, Costa Albegna e Costa Argentario) mentre il 2020 è caratterizzato da valori molto bassi di questo composto e da nessun superamento del SQA. Nel 2021, causa problemi di laboratorio, non sono stati analizzati alcuni pesci: dalle analisi eseguite risulta al momento non conforme solo Costa Pisana. I dati del triennio sono riportati in tabella 5.20.

Tabella 5.19 - Mercurio : SQA_{biota} corretti per il livello trofico in funzione del peso secco e valori normalizzati per la frazione di peso secco

Mercurio												
SQA_{biota} : 20 µg/kg peso umido SQA_{biota} normalizzato : Livello trofico 2: 16 µg/kg peso secco Livello trofico 3: 35 µg/kg peso secco Livello trofico 4: 70 µg/kg peso secco												
Corpo idrico	2019				2020				2021			
	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.
Costa Versilia	<i>Chelon ramada</i>	2	23	85	<i>Chelon ramada</i>	2	49	155	<i>Chelon ramada</i>	2	67	209
Costa del Serchio	<i>Chelon ramada</i>	2	44	166	<i>Mugil cephalus</i>	3	11	35	<i>Chelon ramada</i>	2	68	201
Costa Pisana	<i>Chelon ramada</i>	2	56	192	<i>Chelon ramada</i>	2	41	108	<i>Chelon ramada</i>	2	36	102
Costa Livornese	<i>Chelon ramada</i>	2	52	175	<i>Chelon auratus</i>	3	46	173	<i>Chelon auratus</i>	3	26	86
Costa Rosignano	<i>Chelon labrosus</i>	3	37	172	<i>Chelon ramada</i>	2	65	215	<i>Chelon saliens</i>	3	29	69
Costa del Cecina	<i>Chelon ramada</i>	2	79	324	<i>Chelon ramada</i>	2	38	123	<i>Chelon ramada</i>	2	60	197
Costa Piombino	<i>Symphodus tinca</i>	3	345	1267	c.n.e				<i>Chelon auratus</i>	3	63	170
Costa Follonica	<i>Chelon auratus</i>	3	45	237	<i>Serranus scriba</i>	4	1375	1375	<i>Chelon ramada</i>	2	79	188
Costa Punta Ala	<i>Chelon auratus</i>	3	31	104	<i>Chelon labrosus</i>	3	224	224	<i>Chelon ramada</i>	2	62	175
Costa Ombrone	<i>Chelon ramada</i>	2	34	120	<i>Chelon ramada</i>	2	460	460	c.n.e			
Costa Uccellina	<i>Chelon ramada</i>	2	67	282	<i>Chelon ramada</i>	2	204	204	<i>Chelon ramada</i>	2	702	1815
Costa Albegna	<i>Chelon ramada</i>	2	60	254	<i>Chelon ramada</i>	2	179	179	<i>Chelon ramada</i>	2	656	2026
Costa Argentario	<i>Chelon ramada</i>	2	86	251	<i>Chelon ramada</i>	2	127	127	<i>Chelon ramada</i>	2	19	45
Costa Burano	<i>Chelon ramada</i>	2	33	131	<i>Chelon ramada</i>	2	246	246	<i>Chelon ramada</i>	2	34	98
Arcipelago Isola d'Elba	<i>Chelon labrosus</i>	3	16	56	<i>Chelon ramada</i>	2	169	169	<i>Chelon ramada</i>	2	44	158
Arcipelago Isole Minori	<i>Serranus scriba</i>	4	112	445	<i>Serranus scriba</i>	4	644	644	c.n.e			

Legenda - c.n.e: campionamento non effettuato

Tabella 5.20 - PFOS: SQA_{biota} corretti per il livello trofico in funzione del peso secco e valori normalizzati per la frazione di peso secco

PFOS												
SQA_{biota} : 9,1 µg/kg peso umido SQA_{biota} normalizzato : Livello trofico 2: 8 µg/kg peso secco Livello trofico 3: 17 µg/kg peso secco Livello trofico 4: 35 µg/kg peso secco												
Corpo idrico	2019				2020				2021			
	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.
Costa Versilia	<i>Chelon ramada</i>	2	1,8	7	<i>Chelon ramada</i>	2	1,2	4	<i>Chelon ramada</i>	2	a.n.e	
Costa del Serchio	<i>Chelon ramada</i>	2	0,7	3	<i>Mugil cephalus</i>	3	3,1	10	<i>Chelon ramada</i>	2	a.n.e	
Costa Pisana	<i>Chelon ramada</i>	2	5,6	19	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	(< 1)	<i>Chelon ramada</i>	2	3,3	9
Costa Livornese	<i>Chelon ramada</i>	2	5,2	18	<i>Chelon auratus</i>	3	0,0	(< 1)	<i>Chelon auratus</i>	3	0,4	1
Costa Rosignano	<i>Chelon labrosus</i>	3	0,0	(< 1)	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	(< 1)	<i>Chelon saliens</i>	3	2,6	6
Costa del Cecina	<i>Chelon ramada</i>	2	3,6	15	<i>Chelon ramada</i>	2	2,2	7	<i>Chelon ramada</i>	2	a.n.e	
Costa Piombino	<i>Symphodus tinca</i>	3	0,3	1	c.n.e				<i>Chelon auratus</i>	3	a.n.e	
Costa Follonica	<i>Chelon auratus</i>	3	0,0	(< 1)	<i>Serranus scriba</i>	4	0,0	< 1	<i>Chelon ramada</i>	2	2,8	7
Costa Punta Ala	<i>Chelon auratus</i>	3	14,7	50	<i>Chelon labrosus</i>	3	0,0	< 1	<i>Chelon ramada</i>	2	2,3	6
Costa Ombrone	<i>Chelon ramada</i>	2	3,2	11	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	< 1	c.n.e			
Costa Uccellina	<i>Chelon ramada</i>	2	4,4	19	<i>Chelon ramada</i>	2	1,5	5	<i>Chelon ramada</i>	2	a.n.e	
Costa Albegna	<i>Chelon ramada</i>	2	3,1	13	<i>Chelon ramada</i>	2	1,5	5	<i>Chelon ramada</i>	2	a.n.e	
Costa Argentario	<i>Chelon ramada</i>	2	2,9	9	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	(< 1)	<i>Chelon ramada</i>	2	0,3	1
Costa Burano	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	(< 1)	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	(< 1)	<i>Chelon ramada</i>	2	a.n.e	
Arcipelago Isola d'Elba	<i>Chelon labrosus</i>	3	0,0	(< 1)	<i>Chelon ramada</i>	2	1,2	4	<i>Chelon ramada</i>	2	0,2	1
Arcipelago Isole Minori	<i>Serranus scriba</i>	4	0,0	(< 1)	<i>Serranus scriba</i>	4	0,0	(< 1)	c.n.e			

Legenda - c.n.e: campionamento non effettuato; a.n.e: analisi non effettuata

Dicofol, esaclorobutadiene e esaclorobezene e PBDE

Le concentrazioni di questi parametri sono state normalizzate sulla base del contenuto lipidico del 5% poiché questo è il valore standard utilizzato nella derivazione degli SQA_{biota} riferito ai pesci. Il dicofol e l'**esaclorobutadiene** risultano conformi in tutti i corpi idrici indagati in tutti e tre gli anni in esame.

L'**esaclorobenzene (esaclorobenzene)** presenta superamenti dello standard ambientale (tabella 5.21) in Costa livornese e Costa dell'Uccellina nel 2019, Costa Rosignano e Costa dell'Uccellina nel 2020 e Costa Rosignano, Costa Punt'Ala e Costa Argentario nel 2021.

Attualmente i laboratori ARPAT non dispongono delle risorse ottimali ai fini dell'implementazione dei metodi per la ricerca dei contaminanti previsti dal D.Lgs 172/15, quali esabromociclododecano (HBCDD), eptacloro e eptacloro epossido. Per il parametro **difenileteri bromurati**, lo SQA previsto sul biota è ancora difficilmente raggiungibile e necessita di un'ulteriore messa a punto, stante l'attuale dotazione strumentale che sta diventando obsoleta per alcune determinazioni. Tuttavia questo è un problema al momento trascurabile, in quanto nelle campagne di monitoraggio fin qui effettuate tutti i campioni di biota esaminati hanno mostrato concentrazioni di questi composti al di sopra dello SQA.

Tabella 5.21 - esaclorobenzene: SQA_{biota} corretti per il livello trofico in funzione del contenuto lipidico e valori normalizzati per la frazione lipidica

Esaclorobenzene												
SQA_{biota} : 10 µg/kg peso umido SQA_{biota} normalizzato : Livello trofico 2: 27 µg/kg peso secco Livello trofico 3: 74 µg/kg peso secco Livello trofico 4: 200 µg/kg peso secco												
Corpo idrico	2019				2020				2021			
	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.	Specie	L.T.	Valore	Valore norm.
Costa Versilia	<i>Chelon ramada</i>	2	0,7	13	<i>Chelon ramada</i>	2	0,7	14	<i>Chelon ramada</i>	2	0,2	5
Costa del Serchio	<i>Chelon ramada</i>	2	0,3	6	<i>Mugil cephalus</i>	3	0,9	17	<i>Chelon ramada</i>	2	0,5	9
Costa Pisana	<i>Chelon ramada</i>	2	0,5	11	<i>Chelon ramada</i>	2	0,4	9	<i>Chelon ramada</i>	2	1,2	24
Costa Livornese	<i>Chelon ramada</i>	2	1,5	30	<i>Chelon auratus</i>	3	0,8	15	<i>Chelon auratus</i>	3	0,4	8
Costa Rosignano	<i>Chelon labrosus</i>	3	0,0	(< 0,1)	<i>Chelon ramada</i>	2	4,5	90	<i>Chelon saliens</i>	3	4,5	90
Costa del Cecina	<i>Chelon ramada</i>	2	0,7	15	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	(< 0,1)	<i>Chelon ramada</i>	2	0,5	10
Costa Piombino	<i>Symphodus tinca</i>	3	0,0	(< 0,2)	c.n.e				<i>Chelon auratus</i>	3	0,6	13
Costa Follonica	<i>Chelon auratus</i>	3	0,0	(< 0,1)	<i>Serranus scriba</i>	4	0,0	(< 0,1)	<i>Chelon ramada</i>	2	1,0	20
Costa Punta Ala	<i>Chelon auratus</i>	3	0,3	7	<i>Chelon labrosus</i>	3	0,0	(< 0,1)	<i>Chelon ramada</i>	2	1,7	33
Costa Ombrone	<i>Chelon ramada</i>	2	0,4	8	<i>Chelon ramada</i>	2	0,7	14	c.n.e			
Costa Uccellina	<i>Chelon ramada</i>	2	1,8	36	<i>Chelon ramada</i>	2	1,7	34	<i>Chelon ramada</i>	2	0,2	4
Costa Albegna	<i>Chelon ramada</i>	2	0,0	(< 0,1)	<i>Chelon ramada</i>	2	2,0	40	<i>Chelon ramada</i>	2	0,3	6
Costa Argentario	<i>Chelon ramada</i>	2	0,5	9	<i>Chelon ramada</i>	2	0,6	11	<i>Chelon ramada</i>	2	1,7	34
Costa Burano	<i>Chelon ramada</i>	2	0,9	18	<i>Chelon ramada</i>	2	0,2	4	<i>Chelon ramada</i>	2	0,2	3
Arcipelago Isola d'Elba	<i>Chelon labrosus</i>	3	0,0	(< 0,1)	<i>Chelon ramada</i>	2	0,9	19	<i>Chelon ramada</i>	2	0,4	8
Arcipelago Isole Minori	<i>Serranus scriba</i>	4	0,0	(< 0,1)	<i>Serranus scriba</i>	4	0,0	(< 0,1)	c.n.e.			

Legenda - c.n.e: campionamento non effettuato

DDT e Diossine, furani e policlorobifenili diossina simili (PCDF+PCDD+PCB-DL).

Questi parametri non necessitano di una standardizzazione. Per le concentrazioni di para-diclorodifeniltricloroetano o DDT non è stato riscontrato alcun superamento nel triennio in esame.

Per quanto riguarda i PCDF+PCDD+PCB-DL, durante il triennio 2019-2021 quattro corpi idrici superano lo standard di qualità ambientale per PCDF+PCDD+PBC-DL(0,0065 TEQ µg/kg): Costa livornese nel 2019 (0,0072 TEQ µg/kg), Costa Follonica nel 2021 (0,0069 TEQ µg/kg), Costa Punt'Ala nel 2020 (0,0091 TEQ µg/kg) e nel 2021 (0,0069 TEQ µg/kg) e Costa Argentario (0,0068 TEQ µg/kg), confermando, in questo ultimo caso, quanto già rilevato dalle analisi di questi composti nei mitili.

Tabella 5.22 - PCDD, PCDF, PCB-DL: SQA_{biota} TEQ peso umido e relative concentrazioni

PCDD, PCDF, PCB-DL	2019	2020	2021
SQA_{biota} 0,0065 TEQ µg/kg peso umido			
Costa Versilia	0,0019	0,0017	0,0005
Costa del Serchio	0,0012	0,0036	0,0008
Costa Pisana	0,0029	0,0011	0,0043
Costa Livornese	0,0072	0,0010	0,0017
Costa Rosignano	0,0024	0,0015	0,0031
Costa del Cecina	0,0017	0,0015	0,0005
Costa Piombino	0,0035	c.n.e	0,0009
Costa Follonica	0,0013	0,0015	0,0069
Costa Punta Ala	0,0021	0,0091	0,0069
Costa Ombrone	0,0018	0,0015	c.n.e
Costa Uccellina	0,0021	0,0039	0,0010
Costa Albegna	0,0049	0,0044	0,0008
Costa Argentario	0,0039	0,0031	0,0068
Costa Burano	0,0026	0,0013	0,0010
Arcipelago Isola d'Elba	0,0024	0,0027	0,0008
Arcipelago Isole Minori	0,0019	0,0010	c.n.e

Legenda - c.n.e: campionamento non effettuato

Riassumendo (tabella 5.23), nel triennio 2019-2021, nei mitili è stato riscontrato il superamento di un solo parametro, diossine, furani e policlorobifenili diossina simili, nel corpo idrico Costa dell'Argentario, mentre nei pesci sono state riscontrate anomalie per

- acido perfluorottansolfonico in 8 corpi idrici;
- esaclobenzene in 5; acido perfluorottansolfonico
- diossine, furani e policlorobifenili diossina simili in 4;
- il mercurio e difenileteri bromurati in tutti i corpi idrici.

Tabella 5.23: sostanze eccedenti nel biota nel triennio 2019-2021

Corpo Idrico	Mitili	Pesci
	Sostanza eccedente	
Costa Versilia		Hg, PBDE
Costa del Serchio		Hg, PBDE
Costa Pisana		Hg, PFOS, PBDE
Costa Livornese		Hg, PFOS, HCB, PBDE, PCDF+PCDD+PBC-DL
Costa di Rosignano		Hg, HCB, PBDE
Costa del Cecina		Hg, PFOS, PBDE
Costa Piombino		Hg, PBDE
Costa Follonica		Hg, PBDE, PCDF+PCDD+PBC-DL
Costa Punt'Ala		Hg, PFOS, HCB, PBDE, PCDF+PCDD+PBC-DL
Costa Ombrone		Hg, PFOS, PBDE
Costa dell'Uccelina		Hg, PFOS, HCB, PBDE
Costa Albegna		Hg, PFOS, PBDE
Costa dell'Argentario	PCDF+PCDD+PBC-DL	Hg, PFOS, HCB, PBDE, PCDF+PCDD+PBC-DL
Costa Burano		Hg, PBDE
Arcipelago Isola d'Elba		Hg, PBDE
Arcipelago Isole Minori		Hg, PBDE

Legenda:

PCDF+PCDD+PBC-DL: diossine, furani e policlorobifenili diossina
 PBDE: difenileteri bromurati simili
 PFOS: acido perfluorottansolfonico

Hg: mercurio
 HCB: esaclorobenzene;

6. Sedimenti

Durante il triennio 2019-2021 sono stati eseguiti 57 campionamenti di sedimento: tutti campionamenti sono stati effettuati tramite Box Corer, con frequenza annuale, come previsto dalla normativa. I dati di granulometria sono riportati in tabella 6.1, mentre l'elaborazione dei dati ottenuta integrando con gli Standard di qualità ambientale del D.Lgs 172/15 la Delibera della Giunta Regionale Toscana n. 264 del 20/3/2018, relativa ai valori di fondo naturali in acqua e sedimenti, è riportata nelle tabelle successive.

Tabella 6.1. Frazioni granulometriche sedimenti - Triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Frazione Granulometrica								
		Ghiaia > 2 mm - %			Sabbia Tra 2 e 0,063 mm - %			Peliti < 0,063 mm - %		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Costa Versilia	Marina di Carrara	0,0	0,3	0,1	61,7	61,3	60,5	38,3	38,4	39,4
Costa del Serchio	Nettuno	0,4	1,1	18,3	1,2	1,3	8,8	98,4	97,6	72,9
Costa Pisana	Fiume Morto	0,2	0,2	0,0	1,1	1,8	2,9	98,7	98,0	97,1
Costa Livornese	Antignano	0,0	0,4	0,1	1,9	2,1	3,7	98,1	97,5	96,2
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,0	0,7	1,1	34,9	62,6	45,3	65,1	36,7	53,6
Costa del Cecina	Marina Castagneto	0,0	1,4	0,7	19,6	48,9	18,1	80,4	49,7	81,2
Costa Piombino	Marina di Salivoli	0,0	0,6	0,7	31,2	31,4	40,2	68,8	68,0	59,1
Costa Follonica	Carbonifera	0,0	0,1	0,3	8,3	7,8	11,3	91,7	92,1	88,4
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,0	0,2	0,2	6,5	6,1	5,7	93,5	93,7	94,1
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,0	0,9	0,4	10,2	1,8	11,3	89,8	97,3	88,3
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,0	1,6	0,2	1,1	8,6	2,8	98,9	89,8	97,0
Costa Albegna	Foce Albegna	0,0	0,4	0,2	1,5	1,9	1,0	98,5	97,7	98,8
Costa Argentario	Porto S. Stefano	0,0	0,2	0,6	2,1	0,9	3,6	97,9	98,9	95,8
Costa Burano	Ansedonia	1,3	2,0	3,8	3,7	32,0	24,9	95,0	66,0	71,3
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,3	1,3	0,5	16,3	27,8	18,9	83,4	70,9	80,6
	Elba Sud	1,8	1,3	0,5	9,8	11,7	6,7	88,4	87,0	92,8
Arcipelago Isole Minori	Giglio	1,1	1,3	2,2	54,9	72,9	54,3	44,0	25,8	43,5
	Montecristo	6,2	33,1	9,0	81,1	54,1	80,1	12,7	12,8	10,9
	Capraia	4,9	2,2	5,0	77,1	46,5	84	18	51,3	11

Tabella 6.2 - Mercurio nei sedimenti seconda la Tab.2/A del D.Lgs 172/15- triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Sedimento Mercurio: SQA – MA 0,3mg/kg s.s Margine di tolleranza del 20%: 0,36 mg/kg s.s.			DRT. 264/18 Valori di fondo
		2019	2020	2021	
Costa Versilia	Marina di Carrara	0,03	0,02	0,02	0,5
Costa del Serchio	Nettuno	0,07	0,07	0,07	0,5
Costa Pisana	Fiume Morto	0,06	0,06	0,09	0,5
Costa Livornese	Antignano	1,30	0,94	0,5*	0,5
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,60	0,55	0,5*	0,5
Costa del Cecina	Marina Castagneto	0,10	0,07	0,10	0,5
Costa Piombino	Marina di Salivoli	0,20	0,35	0,60	0,5
Costa Follonica	Carbonifera	0,30	0,43*	0,24	1,4
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,24	0,24	0,21	1,4
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,13	0,10	0,25	1,4
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,31	0,30	0,29*	1,4
Costa Albegna	Foce Albegna	0,70*	0,45*	0,53*	1,4
Costa Argentario	Porto S. Stefano	0,74*	0,94*	0,56*	1,4
Costa Burano	Ansedonia	0,89*	0,87*	0,89*	1,4
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,20	0,17	0,20	0,5
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Sud	0,23	0,20	0,25	0,5
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,14	0,09	0,19	ND
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	0,03	0,04	0,07	0,5
Arcipelago Isole Minori	Capraia	0,09	0,05	0,04	0,5

In grassetto e rosso valori che superano gli SQA, e sono superiori ai Valori di Fondo

** : valori che superano gli SQA (D.Lgs 172/2015), ma inferiori ai Valori di Fondo.*

La concentrazione di mercurio (tabella 6.2), risulta essere superiore allo standard di qualità ambientale indicato dal D.Lgs. 172/15 e dal DRT 264/18 nei corpi idrici di Costa Livornese e Costa Rosignano, nel 2019 e 2020: nel 2021 i valori sono al limite del valore di fondo, confermando una tendenza di riduzione di questo inquinante nei sedimenti di questi due corpi idrici nel corso del triennio. Nel 2021 è da registrare la non conformità per il mercurio relativamente al corpo idrico di Costa Piombino.

Tabella 6.3 - Cadmio nei sedimenti seconda la Tab.2/A del D.Lgs 172/15- triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Sedimento Cadmio: SQA – MA 0,3 mg/kg s.s Margine di tolleranza del 20%: 0,36 mg/kg s.s			DRT. 264/18 Valori di fondo
		2019	2020	2021	
Costa Versilia	Marina di Carrara	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< SQA
Costa del Serchio	Nettuno	< 0,1	< 0,1	< 0,2	1,2
Costa Pisana	Fiume Morto	< 0,1	< 0,1	< 0,2	0,6
Costa Livornese	Antignano	0,2	0,2	0,2	< SQA
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,2	0,2	0,3	0,6
Costa del Cecina	Marina Castagneto	0,1	0,1	0,2	0,6
Costa Piombino	Marina di Salivoli	0,1	0,1	0,3	1,2
Costa Follonica	Carbonifera	0,1	0,1	< 0,2	0,6
Costa Punta Ala	Foce Bruna	0,1	0,1	< 0,2	0,6
Costa Ombrone	Foce Ombrone	0,2	0,1	< 0,2	0,6
Costa Uccellina	Cala di Forno	0,1	0,2	< 0,2	0,6
Costa Albegna	Foce Albegna	0,1	0,2	< 0,2	0,6
Costa Argentario	Porto S. Stefano	0,2	0,2	< 0,2	0,6
Costa Burano	Ansedonia	< 0,1	< 0,2	< 0,2	0,6
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	0,1	0,1	0,2	0,6
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Sud	0,1	0,4*	0,8*	1,2
Arcipelago Isole Minori	Giglio	0,1	< 0,1	< 0,2	ND
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	< 0,1	< 0,1	< 0,2	0,6
Arcipelago Isole Minori	Capraia	0,1	< 0,1	< 0,2	0,6

In grassetto e rosso valori che superano gli SQA, e sono superiori ai Valori di Fondo

** : valori che superano gli SQA (D.Lgs 172/2015), ma inferiori ai Valori di Fondo.*

Il **cadmio** (tabella 6.3) risulta essere inferiore allo standard di qualità ambientale secondo il D.Lgs. 172/15 e/o la DRT 264/18 lungo tutta la costa toscana.

La concentrazione di **piombo** relativa ai tre anni di monitoraggio, riportata in tabella 6.4, risulta essere inferiore allo standard di qualità ambientale secondo il D.Lgs. 172/15 e/o la DRT 264/18 lungo tutta la costa toscana ad eccezione di Costa Piombino dove la concentrazione, 43 mg/kg s.s. (anno 2020) e 42 mg/kg s.s (anno 2021), è risultata essere superiore al valore di fondo indicato dal DRT 264/18. Nel 2021 anche la stazione Elba Sud, facente parte del corpo idrico Arcipelago Isola d'Elba, presenta una concentrazione di piombo superiore al valore di fondo indicato dal DRT 264/18 (79 mg/kg s.s).

Tabella 6.4 - Piombo nei sedimenti seconda la Tab.2/A del D.Lgs 172/15- triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Sedimento Piombo: SQA – MA 30 mg/kg s.s Margine di tolleranza del 20%: 36 mg/kg s.s			DRT. 264/18 Valori di fondo
		2019	2020	2021	
Costa Versilia	Marina di Carrara	7,6	9,7	11	< SQA
Costa del Serchio	Nettuno	10	18	16	< SQA
Costa Pisana	Fiume Morto	12	17	19	< SQA
Costa Livornese	Antignano	23	30	26	38
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	14	18	18	< SQA
Costa del Cecina	Marina Castagneto	9,4	13	13	< SQA
Costa Piombino	Marina di Salivoli	32	43	42	38
Costa Follonica	Carbonifera	21	26	22	38
Costa Punta Ala	Foce Bruna	15	22	18	< SQA
Costa Ombrone	Foce Ombrone	9,9	14	12	< SQA
Costa Uccellina	Cala di Forno	14	21	19	< SQA
Costa Albegna	Foce Albegna	14	20	18	< SQA
Costa Argentario	Porto S. Stefano	22	29	27	38
Costa Burano	Ansedonia	23	22	29	38
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	27	33	33	38
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Sud	54*	75*	79	75
Arcipelago Isole Minori	Giglio	30	16	26	ND
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	7,7	13	< 10	< SQA
Arcipelago Isole Minori	Capraia	11	12	11	< SQA

In grassetto e rosso valori che superano gli SQA, e sono superiori ai Valori di Fondo

** : valori che superano gli SQA (D.Lgs 172/2015), ma inferiori ai Valori di Fondo.*

La concentrazione di TBT supera lo standard di qualità ambientale (5mg/kg s.s.) solo nella stazione di Elba Nord (8,5mg/kg s.s.) nel 2020.

Tutte le altre sostanze ricercate in base alla tabella 2/A del D.Lgs. 172/2015 (**antracene, naftalene, aldrin dieldrin, α -, β -, γ -esaclorocicloesano, DDT, DDE, DDD**) sono risultate inferiori allo standard ambientale indicato dalla normativa e per lo più i valori trovati sono al di sotto del limite strumentale.

Sono state, inoltre, ricercate le sostanze riportate in tabella 3/A del D.Lgs. 172/2015, quali **IPA** (vari composti), **PCB-DL**, **PCDD**, **PCDF** e esaclorobenzene (**esaclorobenzene**).

Le concentrazioni degli **IPA** risultano essere per lo più inferiori al limite di quantificazione e comunque inferiore allo standard ambientale.

L'**esaclorobenzene**, invece, come si può notare dalla tabella 6.5, supera lo standard di qualità ambientale nel corpo idrico Costa Livornese e costa Rosignano in tutti e tre gli anni del triennio.

Tabella 6.5 - esaclorobenzene nei sedimenti seconda la Tab.3/A del D.Lgs 172/15- triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Sedimento Esaclorobenzene (esaclorobenzene): SQA – MA 0,4mg/kg s.s Margine di tolleranza del 20%: 0,48 mg/kg s.s		
		2019	2020	2021
Costa Versilia	Marina di Carrara	< 0,10	< 0,10	0,40
Costa del Serchio	Nettuno	< 0,10	< 0,10	0,30
Costa Pisana	Fiume Morto	< 0,10	< 0,10	0,40
Costa Livornese	Antignano	2,30	1,10	0,80
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	0,60	0,60	0,60
Costa del Cecina	Marina Castagneto	< 0,10	< 0,10	0,20
Costa Piombino	Marina di Salivoli	< 0,10	0,10	0,30
Costa Follonica	Carbonifera	< 0,10	0,10	0,10
Costa Punta Ala	Foce Bruna	< 0,10	0,20	0,30
Costa Ombrone	Foce Ombrone	< 0,10	< 0,10	0,10
Costa Uccellina	Cala di Forno	< 0,10	< 0,10	0,20
Costa Albegna	Foce Albegna	0,10	0,30	0,30
Costa Argentario	Porto S. Stefano	< 0,10	0,20	0,20
Costa Burano	Ansedonia	< 0,10	0,10	0,20
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	< 0,10	0,10	0,20
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Sud	< 0,10	< 0,10	0,10
Arcipelago Isole Minori	Giglio	< 0,10	< 0,10	0,10
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	< 0,10	< 0,10	0,30
Arcipelago Isole Minori	Capraia	< 0,10	< 0,10	0,10

In grassetto: e rosso valori che superano gli SQA, tenendo conto del "margine di tolleranza del 20%

La sommatoria T.E. dei **PCDD PCDF PCB-DL** risulta eccedente nel 2021 rispetto allo standard di qualità ambientale (SQA-MA = 0,002µg/kg) nella stazione di **Elba Sud**, Arcipelago Isola d'Elba, con un valore di 0,011µg/kg.

Infine, il D.Lgs. 172/2015 propone un'ultima tabella, indicata come 3/B, contenente gli standard di qualità ambientale di altre sostanze, diverse da quelle contenute nelle tabelle precedenti, specificando che questi possono essere utilizzati al fine di acquisire ulteriori elementi conoscitivi. Le sostanze contenute nella tabella 3/B del D.Lgs 172/15 sono: arsenico, cromo totale, cromo VI e PBC totali.

L'arsenico (tabella 6.6) nei sedimenti risulta superare sia lo Standard Ambientale che il Valore di Fondo nel corpo idrico **Costa di Rosignano** (2020), **Arcipelago Isola d'Elba** (Elba Nord nel 2020 e nel 2021; Elba Sud in tutti e tre gli anni) e **Arcipelago Isole Minori** (Isola del Giglio nel 2020 e nel 2021).

Tabella 6.6 - Arsenico nei sedimenti seconda la Tab.3/B del D.Lgs 172/15- triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Sedimento Arsenico: SQA – MA 12 mg/kg s.s Margine di tolleranza del 20%: 14,4 mg/kg s.s			DRT. 264/18 Valori di fondo
		2019	2020	2021	
Costa Versilia	Marina di Carrara	11	10	12	34
Costa del Serchio	Nettuno	8,9	8,9	13	34
Costa Pisana	Fiume Morto	10	8,6	12	< SQA
Costa Livornese	Antignano	18*	19*	25*	34
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	22*	35	30*	34
Costa del Cecina	Marina Castagneto	16	21*	23*	34
Costa Piombino	Marina di Salivoli	65*	73*	83*	142
Costa Follonica	Carbonifera	22*	28*	26*	34
Costa Punta Ala	Foce Bruna	18*	22*	22*	34
Costa Ombrone	Foce Ombrone	8,5	8,6	9	34
Costa Uccellina	Cala di Forno	18*	22*	20*	34
Costa Albegna	Foce Albegna	18*	21*	21*	34
Costa Argentario	Porto S. Stefano	23*	28*	23*	34
Costa Burano	Ansedonia	27*	33*	31	34
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	33*	36	39	34
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Sud	156	215	234	142
Arcipelago Isole Minori	Giglio	13	16	20	ND
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	5,5	16*	10	34
Arcipelago Isole Minori	Capraia	10	8,4	15	< SQA

In grassetto e rosso valori che superano gli SQA, e sono superiori ai Valori di Fondo

* : valori che superano gli SQA (D.Lgs 172/2015), ma inferiori ai Valori di Fondo.

ND: non disponibile.

Il cromo totale (tabella 6.7), presenta in tutte le stazioni valori di concentrazioni al di sotto dello standard di qualità ambientale, o comunque al di sotto della concentrazione dei valori di fondo indicata nel DRT. 264/18, in tutti i corpi idrici nel 2019 e nel 2020, mentre nel 2021 si registrano valori oltre il Valore di fondo nei corpi idrici di Costa del Serchio, Costa Pisana e Costa Argentario.

Tabella 6.7 - Cromo nei sedimenti secondo la Tab.3/B del D.Lgs 172/15- triennio 2019-2021

Corpo idrico	Stazione	Sedimento Cromo: SQA – MA 50 mg/kg s.s Margine di tolleranza del 20%: 60 mg/kg s.s			DRT. 264/18 Valori di fondo
		2019	2020	2021	
Costa Versilia	Marina di Carrara	49	51	61*	91
Costa del Serchio	Nettuno	58	67*	94	91
Costa Pisana	Fiume Morto	67*	59	96	91
Costa Livornese	Antignano	71*	90*	111*	138
Costa Rosignano	Rosignano Lillatro	59	119*	93*	138
Costa del Cecina	Marina Castagneto	102*	145*	178*	189
Costa Piombino	Marina di Salivoli	79*	122*	131*	138
Costa Follonica	Carbonifera	57	79*	81*	91
Costa Punta Ala	Foce Bruna	51	76*	82*	91
Costa Ombrone	Foce Ombrone	50	73*	71*	91
Costa Uccellina	Cala di Forno	53	83*	88*	91
Costa Albegna	Foce Albegna	53	78*	87*	91
Costa Argentario	Porto S. Stefano	56	87*	94	91
Costa Burano	Ansedonia	30	37	47	91
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Nord	81*	64*	106*	138
Arcipelago Isola d'Elba	Elba Sud	115*	128*	177*	138
Arcipelago Isole Minori	Giglio	35	19	36	ND
Arcipelago Isole Minori	Montecristo	13	12	12	53
Arcipelago Isole Minori	Capraia	21	24	14	53

In grassetto e rosso valori che superano gli SQA, e sono superiori ai Valori di Fondo

** : valori che superano gli SQA (D.Lgs 172/2015), ma inferiori ai Valori di Fondo.*

ND: non disponibile.

Cromo VI e PCB totali non superano il valore dello standard di qualità ambientale in nessuno dei sedimenti monitorati.

7. Conclusioni

Sulla base dei dati ottenuti si riportano nelle tabelle 7.1 e 7.2, rispettivamente, lo stato ecologico e lo stato chimico utilizzando per ciascun corpo idrico lo schema cromatico indicato nelle tabelle 4.6.1/a e 4.6.3/a del D.M. 260/10.

7.1 Stato ecologico triennio 2019-2021

Biomassa fitoplanctonica – Su 16 corpi idrici monitorati, 2 sono risultati in classe di qualità BUONA (Costa del Serchio e Costa pisana) e i restanti ELEVATA.

Macroinvertebrati bentonici – Su 16 corpi idrici monitorati, 6 sono risultati, sulla base dell'indice M-AMBI, in classe BUONA (Costa Versilia, Costa del Serchio, Costa pisana, Costa del Cecina, Costa Punta Ala e Arcipelago Isola dell'Elba). I restanti 10 corpi idrici sono in classe ELEVATA.

Macroalghe – Su 7 corpi idrici monitorati, 3 sono risultati, sulla base dell'indice CARLIT, in classe ELEVATA: Costa dell'Uccellina, Costa dell'Argentario e Arcipelago Isole Minori; gli altri 4 (Costa livornese, Costa Piombino, Costa Burano e Arcipelago Isola d'Elba) in classe BUONA

Angiosperme – Su 9 corpi idrici monitorati, 2 sono risultati, sulla base dell'indice PREI, in classe ELEVATA: Costa dell'Argentario e Arcipelago Isole Minori, mentre solo Costa dell'Albegna risulta essere in classe SUFFICIENTE. Le restanti 6 stazioni sono in classe ecologica BUONA

Indice trofico TRIX - I valori dell'indice trofico indicano, per le acque marino costiere della Toscana, una condizione di oligotrofia caratterizzata da alti tassi di ossigeno e basse concentrazioni di nutrienti, spesso pari al limite di quantificazione strumentale. I valori medi annuali dell'indice trofico TRIX sono risultati inferiori al valore soglia in tutti i corpi idrici tranne **Costa del Serchio**, che viene così **declassato a sufficiente**.

Inquinanti chimici non prioritari – I valori medi annuali dei metalli arsenico e cromo totale in tutte le stazioni sono inferiori agli standard di qualità indicati nella tab. 1/B del DM 260/2010 e ss.mm.ii. Tutte le altre sostanze ricercate in base alla normativa risultano inferiori al limite di quantificazione.

Tutti i dati che hanno contribuito a determinare il giudizio di stato di qualità ecologica dei 16 corpi idrici toscani sono riassunti nella tabella 7.1.

***Componendo le informazioni provenienti dai vari indici,
il 25% dei corpi idrici toscani ha un giudizio di qualità ambientale ELEVATO
e il 63% BUONO; il 13% risulta invece SUFFICIENTE.***

Tabella 7.1 - Classificazione dello stato ecologico delle acque marino costiere toscane triennio 2019-2021

Corpo Idrico	Giudizio peggiore da Elementi Biologici	FASE I Integrazione tra elementi biologici e chimico fisici	FASE II integrazione dati fase I con elementi chimici	Giudizio stato di qualità ecologica		
				2019-2021	2016-2018	2013-2015
Costa Versilia	Buono	Buono	Buono			
Costa del Serchio	Buono	Sufficiente	Sufficiente			
Costa Pisana	Buono	Buono	Buono			
Costa Livornese	Buono	Buono	Buono			
Costa di Rosignano	Buono	Buono	Buono			
Costa del Cecina	Buono	Buono	Buono			
Costa Piombino	Buono	Buono	Buono			
Costa Follonica	Buono	Buono	Buono			
Costa Punt'Ala	Buono	Buono	Buono			
Costa Ombrone	Elevato	Elevato	Elevato			
Costa dell'Uccellina	Elevato	Elevato	Elevato			
Costa Albegna	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente			
Costa dell'Argentario	Elevato	Elevato	Elevato			
Costa Burano	Buono	Buono	Buono			
Arcipelago Isola d'Elba	Buono	Buono	Buono			
Arcipelago Isole Minori	Elevato	Elevato	Elevato			

STATO ECOLOGICO	ELEVATO		BUONO		SUFFICIENTE	
	SCARSO		CATTIVO			

La tabella 7.1 , riporta, inoltre, il giudizio di stato di qualità ambientale dei trienni precedenti:

- nel triennio 2013-2015 risultavano in stato sufficiente il 50% dei corpi idrici: Costa Serchio, per la biomassa fitoplanctonica, Costa pisana per il TRIX e Costa Rosignano e Costa Albegna per l'indice PREI, mentre gli altri per la concentrazione al di sopra degli standard di qualità ambientale del cromo (Costa Versilia, Costa Punt'Ala, Arcipelago Isola d'Elba) e

dell'arsenico (Costa Ombrone); il restante 50% è stato classificato in Buono stato ecologico;

- nel triennio successivo, 2016-2018, il numero dei corpi idrici con giudizio di qualità ecologica sufficiente corrisponde solamente 2, circa il 12%, Costa Rosignano Costa Albegna, a causa del basso valore di Indice PREI. Il resto delle stazioni risulta in stato BUONO/ELEVATO.

7.2 Stato chimico triennio 2019-2021

Matrice acqua.

Il **mercurio** non risponde ai requisiti richiesti dal D.Lgs. 172/2015 e dal DGRT 264/2018 superando la concentrazione del SQA – CMA in **Costa pisana** (2019) e **Costa del Cecina** (2019 e 2020). Le concentrazioni di **benzo[ghi]pirilene** superano l'SQA-MA in **Costa Piombino** (2020) e **Costa dell'Ombrone** (2021), mentre il **di(2-etilesilftalato)** risulta eccedere la concentrazione dello standard di qualità ambientale in **Costa Albegna** (2020). Per quanto riguarda i parametro **Tributilstagno** e composti si conferma la tendenza, vista già nello scorso anno, alla diminuzione di questo inquinante lungo le coste toscane: non sono stati rilevati superamenti del SQA – CMA, mentre solo **Costa pisana** (2019) e **Costa del Serchio** (2019-2020-2021) risultano non conformi per il superamento del SQA - MA. Tutte le altre sostanze dell'elenco di priorità risultano inferiori allo standard ambientale e per lo più le loro concentrazioni sono al di sotto del limite di quantificazione.

Matrice biota.

Le analisi condotte sugli organismi di *Mytilus galloprovincialis* e *Donax trunculus* indicano che le concentrazioni rilevate per il **fluorantene e il benzo[a]pirene** sono, in tutte le stazioni monitorate, minori del limite di quantificazione o dello standard di qualità ambientale. Il parametro **diossina e composti diossina-simili** risulta superiore allo SQA - MA solo nel corpo idrico **Costa Argentario**, nel 2021.

Per quanto riguarda i pesci, le analisi per determinare la presenza del **mercurio** hanno indicato una situazione di bioaccumulo di questo metallo lungo tutta la costa, con superamenti dello standard ambientale in tutti i corpi idrici. L'**acido perfluorottansolfonico (PFOS)** è stato rilevato con valori superiori allo standard di qualità ambientale solo in alcuni corpi idrici e non in tutti gli anni in esame (**Costa pisana, Costa livornese, Costa del Cecina, Costa Punt'Ala, Costa dell'Ombrone, Costa dell'Uccellina e Costa dell'Argentario**). L'**esaclorobenzene** presenta superamenti dello standard ambientale nei corpi idrici di **Costa Rosignano** (2020 e 2021), **Costa dell'Uccellina** (2019 e 2020), **Costa Punt'Ala** (2021) e **Costa dell'Argentario** (2021). I valori dei composti **Difenileteri bromurati (PBDE)** risultano essere superiori allo standard di qualità ambientale in tutti i corpi idrici toscani. Durante il triennio 2019-2021 quattro corpi idrici superano lo standard di qualità ambientale per **PCDF+PCDD+PBC-DL**: **Costa livornese** (2019), **Costa Follonica** (2021), **Costa Punt'Ala** (2020 e 2021) e **Costa Argentario** (2021), confermando, in questo ultimo caso, quanto già rilevato dalle analisi di questi composti nei mitili. Il **dicofol**, l'**esaclorobutadiene** e il **DDT** risultano conformi in tutti i corpi idrici indagati in tutti e tre gli anni in esame.

Integrando i risultati ottenuti dal monitoraggio delle acque superficiali e del biota, il 100% dei corpi idrici monitorati della Toscana risulta essere in uno stato chimico NON BUONO.

Tabella 7.2 - Classificazione dello stato chimico delle acque marino costiere toscane: anno 2019-2021

Corpo Idrico	STATO CHIMICO 2019-2021		
	Sostanza eccedente in acqua	Sostanza eccedente nel biota	Classificazione Acqua e Biota
Costa Versilia	BaP (2019)	Hg (2019-2020-2021)	
Costa del Serchio	TBT (2019-2020-2021)	Hg (2019 e 2021)	
Costa Pisana	Hg TBT (2019)	Hg (2019-2020- 2021) PFOS (2019 e 2021)	
Costa Livornese		Hg (2019-2020-2021) PCDF+PCDD+PBC-DL (2019) PFOS (2019) esaclorobenzene (2019)	
Costa di Rosignano		Hg (2019-2020- 2021) esaclorobenzene (2020 e 2021)	
Costa del Cecina	Hg (2019- 2020)	Hg (2019-2020 2021) PFOS (2019)	
Costa Piombino	Benzo ghi (2020)	Hg (2019-2020- 2021)	
Costa Follonica		Hg (2019-2020- 2021) PCDF+PCDD+PBC-DL (2021)	
Costa Punt'Ala		Hg (2019-2020- 2021) PCDF+PCDD+PBC-DL (2020 e 2021) PFOS (2019) esaclorobenzene (2021)	
Costa Ombrone	Benzo ghi (2021)	Hg (2019-2020) PFOS (2019)	
Costa dell'Uccelina		Hg (2019-2020- 2021) PFOS (2019) esaclorobenzene (2019 e 2020)	
Costa Albegna	DEHP (2020)	Hg (2019-2020- 2021) PFOS (2019)	
Costa dell'Argentario		Hg (2019-2020- 2021) esaclorobenzene (2021) PFOS (2019) PCDF+PCDD+PBC-DL (2021)	
Costa Burano		Hg (2019-2020- 2021)	
Arcipelago Isola d'Elba		Hg (2019-2020- 2021)	
Arcipelago Isole Minori		Hg (2019-2020)	

Legenda:

PCDF+PCDD+PBC-DL: diossine, furani e policlorobifenili diossina
 PBDE: difenileteri bromurati simili
 PFOS: acido perfluorottansolfonico

Hg: mercurio
 HCB: esaclorobenzene;

STATO CHIMICO	Non Buono	
	Buono	

Matrice sedimento

Per quanto la stessa non venga utilizzata ai fini della classificazione, ARPAT esegue controlli su questa matrice con l'obiettivo di avere una continuità di informazioni sui sedimenti per una migliore interpretazione dei dati ambientali.

Dalle analisi risulta, per alcune sostanze indicate dal D.Lgs. 172/2015 in tabella 2/A, che:

- il **mercurio** è superiore allo standard di qualità ambientale nei corpi idrici di **Costa livornese e Costa Rosignano** nel 2019 e 2020: nel 2021 i valori sono al limite del valore di fondo. Nel 2021 è da registrare la non conformità per questo metallo per il corpo idrico di **Costa Piombino**;
- il **cadmio** risulta essere inferiore allo standard di qualità ambientale lungo tutta la costa toscana;
- la concentrazione di **piombo** relativa ai tre anni di monitoraggio risulta essere inferiore allo standard di qualità ambientale lungo tutta la costa toscana, ad eccezione di **Costa Piombino**, dove la concentrazione è risultata superiore al valore di fondo indicato dal DRT 264/18 sia nel 2020 sia nel 2021; nel 2021 anche la stazione **Elba Sud** (Arcipelago Isola d'Elba), presenta una concentrazione di questo metallo superiore al valore di fondo indicato dal DRT 264/18;
- la concentrazione di **TBT** supera lo standard di qualità ambientale solo nella stazione di **Elba Nord**, nel 2020;
- le concentrazioni di **antracene, naftalene, aldrin dieldrin, α -, β -, γ -esaclorocicloesano, DDT, DDE, DDD** sono risultate inferiori allo standard ambientale indicato dalla normativa, e per lo più i valori trovati sono al di sotto del limite strumentale.

Per quanto riguarda le sostanze riportate in tabella 3/A del D.Lgs. 172/2015:

- le concentrazioni degli **IPA** risultano essere per lo più inferiori al limite di quantificazione e comunque inferiori allo standard ambientale;
- l'**esaclorobenzene** supera lo standard di qualità ambientale nel corpo idrico **Costa Livornese e Costa Rosignano** in tutti e tre gli anni in esame;
- la sommatoria T.E. dei **PCDD PCDF PCB-DL** risulta eccedente lo standard di qualità ambientale nella stazione di **Elba Sud** (Arcipelago Isola d'Elba) nel 2021.

Infine, le concentrazioni delle sostanze indicate dal D.Lgs. 172/2015 in tabella 3/B indicano che:

- l'**arsenico** nei sedimenti supera lo Standard Ambientale/Valori di Fondo nei corpi idrici **Costa di Rosignano** (2020), **Arcipelago Isola d'Elba** (Elba Nord nel 2020 e nel 2021; Elba Sud in tutti e tre gli anni) e **Arcipelago Isole Minori** (Isola del Giglio nel 2020 e nel 2021);

- il **cromo** totale presenta in tutte le stazioni valori di concentrazioni al di sotto dello Standard Ambientale/Valori di Fondo in tutti i corpi idrici nel 2019 e nel 2020, mentre nel 2021 si registrano valori oltre il Valore di fondo nei corpi idrici di **Costa del Serchio**, **Costa pisana** e **Costa Argentario**;
- **Cromo VI** e **PCB totali** non superano il valore dello standard di qualità ambientale in nessuno dei sedimenti monitorati.

Normativa di riferimento

- ◆ Decreto Legislativo 13 ottobre 2015 n. 172. “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”.
- ◆ Direttiva del 12 agosto 2013 n. 39 che modifica le direttive 2000/60/CE e 2008/105/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque.
- ◆ DIRETTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.
- ◆ Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 “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”.
- ◆ Decreto Ministeriale 16 giugno 2008 n. 131 “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”.
- ◆ Decreto 14 aprile 2009 n. 56 “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”.
- ◆ Decreto 8 novembre 2010 n. 260 “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”.
- ◆ Decreto legislativo 10 dicembre 2010 n. 219 “Attuazione della direttiva 2008/105/CE relativa e standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE e 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CEE e recepimento della direttiva 2009/90/CE che stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/CE specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque.”
- ◆ Delibera della Regione Toscana n. 416 del 25 maggio 2009 “Tipizzazione dei corpi idrici superficiali della toscana. Attuazione delle disposizioni di cui allegato 3, punto 1, alla parte III del D. Lgs 152/2006, come modificato dal decreto ministeriale, 16 giugno 2008, n. 131.”
- ◆ Delibera della Regione Toscana n. 939 del 26 ottobre 2009. “Individuazione e caratterizzazione dei corpi idrici della Toscana - Attuazione delle disposizioni di cui all'art.2 del DM 131/08 (acque superficiali) e degli art. 1,3 e all. 1 del D.Lgs. 30/09 (acque sotterranee). ”
- ◆ Delibera della Regione Toscana n. 100 del 8 febbraio 2010. “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.”

- ◆ Delibera della Regione Toscana n.550 del 7 luglio 2014 “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.
- ◆ Delibera della Regione Toscana n.608 del 18 maggio 2015 “Monitoraggio dei corpi idrici marino costieri della Toscana – modifiche e integrazioni alla DGR n. 550/14”
- ◆ Delibera della Regione Toscana n. 264 del 20 marzo 2018. “ 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”.

Bibliografia

- AA.VV., 2006. *Lo stato dei litorali italiani*, Studi Costieri, 10.
- ARPAT, 2021. *Monitoraggio acque marino costiere della Toscana. Attività di monitoraggio 2020. Proposta di classificazione.*
- ARPAT, 2020. *Monitoraggio acque marino costiere della Toscana. Attività di monitoraggio 2019. Proposta di classificazione.*
- ARPAT, 2019. *Monitoraggio acque marino costiere della Toscana. Attività di monitoraggio 2018. Classificazione del triennio 2016-2018.*
- ARPAT, 2016 *Studio per la determinazione dei valori di fondo naturale nei sedimenti e nelle acque marine costiere. Rapporto Finale.*
- ARPAT, 2016. *Monitoraggio acque marino costiere della Toscana. Attività di monitoraggio 2015. Classificazione del triennio 2013-2015.*
- ARPAT, 2014. *Saggi biologici sui sedimenti marino costieri della Toscana al fine di identificare la matrice sulla quale effettuare la valutazione della classe di qualità ambientale: anno 2013*
- Berto D., Boscolo Brusà R. (A cura di), 2015. *I Composti Organostannici in ambiente marino e lagunare*. ISPRA, QUADERNI – Ricerca Marina n. 8/2016, Roma, pp 117.
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M., 2003. Seagrass systems. In: M.C. Gambi and M. Dappiano (Editors), *Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study*. Biologia Marina Mediterranea 11, pp 133-183.
- Bužančić, M., Gladan, Z.N., Marasović, I., Kušpilić, G., Grbec, B., 2016. *Eutrophication influence on phytoplankton community composition in three bays on the eastern Adriatic coast*. Oceanologia 58 (4), 302—3016
- Facca C., Bernardi Aubry F., Socal G., Ponis E., Acri F., Bianchi F., Giovanardi F., Sfriso A., 2014. *Description of a Multimetric Phytoplankton Index (MPI) for assessment of transitional waters*. Mar.Pollut. 79,145-154
- Ferretti O., Delbono I., Furia S., Barsanti M., 2003. *Elementi di gestione costiera*. Parte Prima. Tipi morfo - sedimentologici dei litorali italiani. Rapporto Tecnico ENEA RT/2003/42/CLIM
- Gobert, S., Sartoretto, S., Rico-RArcipelago Isole Minoriondino, V., Andral, B., Chery, A., Lejeune, P., Boissery, P., 2009. *Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the Posidonia oceanica Rapid Easy Index (PREI)*. Mar. Pollut. Bull. 58, 1727–1733.
- ISPRA, 2010. *Manuali e Linee Guida 56/10. Metodologie di studio del plancton marino.*
- ISPRA, 2008 *Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi del macrozoobenthos di fondi mobili*
- ISPRA, 2008. *Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi del fitoplancton*

- ISPRA, 2008. *Quaderno Metodologico sull'elemento biologico MACROALGHE e sul calcolo dello stato ecologico secondo la metodologia CARLIT*
- ISPRA, 2012. *Aggiornamento della scheda metodologica per il campionamento e l'analisi della Posidonia oceanica ai sensi del Dlgs 152/06.*
- ISPRA, 2012. *Elemento di Qualità Biologica Macroalghe Integrazione al Quaderno metodologico ISPRA per il calcolo dello stato ecologico secondo la metodologia CARLIT. Procedure di campionamento per la raccolta dati*
- ISPRA, 2016. *Linee guida per il monitoraggio delle sostanze prioritarie (secondo D.Lgs 172/2015).*
- Meinesz A. & Laurent R., 1978, *Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de Posidonia oceanica dans les Alpes-maritimes (France)*. Botanica marina 21, 513-526.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Servizio Difesa Mare; ICRAM; ANPA (coll.) (2002) *Metodologie analitiche di riferimento; programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero (triennio 2001-2003)*.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995 *Utilisation de l'herbier a Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances*. Mésogée, 54, 3-27.
- Rampi L., Bernhard M. (1978). *Chiave per la determinazione delle peridinee pelagiche mediterranee*. C.N.E.N. RT/BIO (80) 8
- Rampi L., Bernhard M. (1978). *Key for the determination of Mediterranean pelagic diatoms*. C.N.E.N. RT/BIO (78) 1
- Rampi L., Bernhard M. (1981). *Chiave per la determinazione delle coccolitoforidee mediterranee*. C.N.E.N. RT/BIO (81) 13
- Richard M. (1987). *Atlas du Phytoplancton Marin*. Volume II: Diatomophycées. Edition du CNRS
- Spatharis S., Tsirtsis G., 2010. *Ecological quality scales based on phytoplankton for the implementation of Water Framework Directive in Eastern Mediterranean*. Ecol.Ind. 10,840-847.
- Sournia A. (1986). *Atlas du Phytoplancton Marin*. Volume I: Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées. Edition du CNRS
- Thomas R.C. (1997). *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press



ARPAT

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana
www.arpat.toscana.it