



Committente



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE OCCIDENTALE

***ANALISI DEI DATI FISICO-CHIMICO-BIOLOGICI
DERIVANTI DAL MONITORAGGIO
AMBIENTALE MARINO
NELL'AREA DEL PORTO DI GENOVA
ANNO 2022***

INDICE

1 INTRODUZIONE	3
2 MATERIALI E METODI	4
2.1 Piano di campionamento	4
2.2 Parametri chimico-fisici	5
2.3 Parametri meteorologici	5
2.4 Coliformi fecali	6
2.5 Azoto ammoniacale	6
2.6 Clorofilla a	6
2.7 Sedimenti	7
3 RISULTATI E DISCUSSIONE	8
3.1 Caratteristiche generali del sistema portuale	8
3.2 L'anno 2022	10
3.2.1 Il clima	11
3.2.2 I parametri chimico-fisici e biologici	13
3.2.2.1 Variabilità temporale	14
3.2.2.2 Variabilità spaziale	27
3.2.2.3 Analisi dei sedimenti	31
3.3 Le aree "critiche": confronto con gli anni precedenti	32
3.3.1 Mann-Kendall Test	50
4 CONSIDERAZIONI FINALI	52
BIBLIOGRAFIA	56
APPENDICE	57

1 INTRODUZIONE

L'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale conduce dal 1998 un monitoraggio ambientale mensile, allo scopo di individuare le aree più a rischio degli specchi acquei portuali, nella zona che si estende da Punta Vagno a Voltri. Tale attività produce dati mensile su nove parametri analizzati e carte tematiche che mostrano graficamente la situazione. I punti considerati sono un centinaio, identificati tra le zone più significative, per tutta l'estensione del Porto di Genova. I parametri presi in considerazione sono ammoniaca, coliformi fecali, temperatura, ossigeno disciolto, salinità, clorofilla-a, pH, potenziale Red-Ox e torbidità.

Fino ad aprile 2005, il monitoraggio è stato condotto eseguendo campionamenti mensili in circa 100 stazioni, con contemporanea acquisizione dei principali parametri chimico-fisici tramite sonda multiparametrica. Dal maggio 2005 al 2007, la Servizi Ecologici Porto di Genova spa (SEPG) ha eseguito il monitoraggio ambientale del Porto di Genova per conto dell'Autorità Portuale attraverso un sistema georeferenziato di acquisizione e trasmissione dati in continuo. Tale sistema prevedeva l'utilizzo di sonde multiparametriche montate su mezzi di proprietà della società stessa, regolarmente impegnati in attività di disinquinamento e pulizia degli specchi acquei portuali, che fornivano dati relativi a temperatura, salinità e ossigeno disciolto. Dal 2008, il monitoraggio viene condotto eseguendo campionamenti mensili con acquisizione dei principali parametri chimico-fisici tramite sonda multiparametrica in circa 100 punti (dall'ottobre 2010 110 punti), e con il prelievo di acqua su 20 di questi punti per l'analisi di parametri biologici.

Dal 2021 la cadenza dei campionamenti è trimestrale, in particolare nel 2022 i campionamenti sono stati effettuati nei mesi di febbraio, maggio, agosto e novembre.

I dati raccolti durante l'anno 2022 con la metodologia sopra descritta sono già stati riportati in una serie di relazioni trimestrali.

La relazione annuale sullo stato delle acque portuali genovesi ha lo scopo di presentare tutti i risultati relativi al 2022, per evidenziare la presenza di gradienti spaziali dei parametri di qualità dell'acqua, riconducibili alla localizzazione delle sorgenti puntuali di acque dolci e dei reflui urbani e industriali, e la presenza di fluttuazioni sistematiche dei parametri rilevati, modulate in qualche misura dalle attività antropiche e riconducibili al succedersi delle stagioni e al contributo delle condizioni meteorologiche. Inoltre, i dati sono stati comparati con quelli provenienti dai precedenti monitoraggi, per verificare se ci siano state variazioni nel corso degli anni.

2 MATERIALI E METODI

2.1 Piano di campionamento

Le campagne di monitoraggio si svolgono trimestralmente all'interno dell'area portuale genovese. Per la rilevazione dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua sub-superficiale (temperatura, salinità, ossigeno disciolto) sono state utilizzate sonde Idronaut.

Dal luglio 2013 sono stati raccolti anche dati di pH, Red-Ox e torbidità.

Sono state effettuate acquisizioni in circa 110 punti distribuiti all'interno dell'area portuale coincidenti con quelli relativi al monitoraggio antecedente al 2005 con l'aggiunta di altri 20 punti dall'ottobre 2010 (questi ultimi hanno numerazione che parte da 120 per non sovrapporsi a punti presenti nei dati storici). In 20 di questi punti vengono prelevati anche campioni di acqua sub-superficiale per l'analisi dell'azoto ammoniacale, dei coliformi fecali e della clorofilla-a, secondo le metodologie standard UNICHIM. In uno di questi punti, diverso per ogni campagna di monitoraggio e ubicato in zone particolari (es. foci dei corsi d'acqua, zona portuale), vengono prelevati anche alcuni campioni di sedimento del fondale marino.

Per la presente relazione, relativa all'anno 2022, per il calcolo delle anomalie, si è deciso di considerare solo i quattro mesi nei quali sono stati eseguiti i monitoraggi del 2022 (febbraio, maggio, agosto e novembre), anziché le medie degli interi periodi stagionali.

In Figura 2.1 si riporta l'ubicazione dei punti di campionamento.

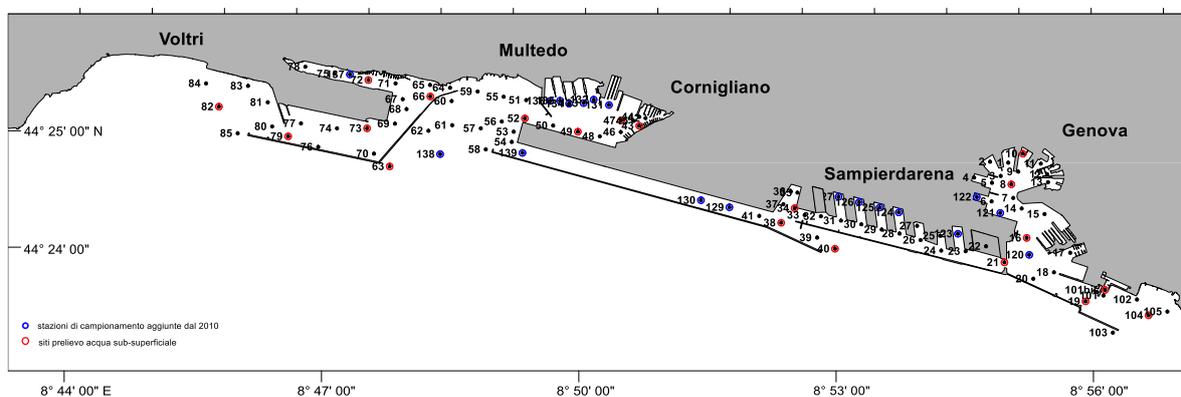


Fig. 2.1 Punti di campionamento dell'anno 2022 in rosso sono evidenziati i punti in cui vengono prelevati campioni d'acqua sub-superficiale e in blu i punti introdotti da ottobre 2010.

2.2 Parametri chimico-fisici

Per la rilevazione dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua sub-superficiale (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, potenziale Red-Ox e torbidità) viene utilizzata la sonda dell'Idronaut Ocean Seven 316 Plus (Fig. 2.2).



Fig. 2.2 Sonda Idronaut mod. Ocean Seven 316 Plus

Nella tabella 2.1 vengono riportate le specifiche dei sensori delle sonde.

Idronaut Ocean Seven 316 Plus

<i>Tipo sensore</i>	<i>Range</i>	<i>Accuracy</i>	<i>Resolution</i>
Temperatura	-3 ... +50 C	0.003 °C	0.0002 °C
Conducibilità	070 mS/cm	0.003 mS/cm	0.0003 mS/cm
Ossigeno disciolto	0 50 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm
pH	0.. 14 pH	0.01 pH	0.001 pH
Redox	-1000.. +1000 mV	1 mV	0.1 mV

Tabella 2.1

2.3 Parametri meteorologici

I dati relativi alla piovosità annuale e alla temperatura dell'aria provengono dalla banca dati meteo climatica della Liguria www.cartografiarl.regione.liguria.it.

I dati relativi all'intensità e direzione del vento provengono dalla banca dati meteo-climatica della Liguria che raccoglie i dati trattati dal Centro funzionale meteo-idrologico di protezione civile (CFMI-PC) e provenienti dalle centraline dislocate in area regionale. (www.cartografiarl.regione.liguria.it).

2.4 Coliformi fecali

I campioni, trasportati in contenitori refrigerati, sono stati analizzati presso il laboratorio Iren Lab entro i tempi previsti dai metodi analitici impiegati. Per l'analisi è stato utilizzato il metodo della filtrazione su membrana (MF), descritto nel manuale IRSA/CNR.

Con questo metodo, che consiste in una prova presuntiva e in una prova di conferma, viene calcolata la concentrazione dei coliformi totali che, presenti in un campione di acqua, sulla superficie di una membrana, posta su terreno di coltura agarizzato, hanno formato colonie tipiche prodotte dai microrganismi ricercati. Di seguito vengono proposti tre substrati di isolamento alternativi.

Il numero di coliformi totali isolati si calcola in base al numero di colonie contate, ed eventualmente sottoposte a conferma, considerando l'eventuale diluizione e riportando il valore come Unità Formanti Colonia per 100 ml di campione (UFC/100 ml).

La procedura analitica viene utilizzata per acque superficiali e per acque reflue anche sottoposte a trattamento.

2.5 Azoto ammoniacale

I campioni, trasportati in contenitori refrigerati, sono stati analizzati presso il laboratorio Iren Lab entro i tempi previsti dai metodi analitici impiegati. Per l'analisi è stata utilizzata la procedura descritta nel manuale IRSA/CNR. La metodica utilizzata è quella della determinazione spettrofotometrica all'indofenolo.

L'ammoniaca per reazione con salicilato sodico e cloro forma un derivato dell'indofenolo, il quale, in ambiente nettamente alcalino e in presenza di nitroprussiato sodico, che agisce da catalizzatore, assume una colorazione verde-blu, misurabile spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di 690 nm. L'aumento delle concentrazioni dei reagenti può determinare la reazione di composti organici azotati labili e una diminuzione dei tempi di reazione. La reazione che porta alla formazione dell'indofenolo è caratterizzata da un meccanismo complesso; probabilmente si forma una cloroimmide chinonica in uno step intermedio.

2.6 Clorofilla a

I campioni raccolti sono stati filtrati presso l'imbarcazione usata per i campionamenti, in seguito i filtri ottenuti sono stati elaborati e analizzati presso il DISTAV (Università di Genova). Per l'analisi è stata utilizzata la procedura descritta nel manuale ISPRA.

Dopo che il particellato sospeso contenente pigmenti liposolubili, è stato concentrato su di un filtro in fibra di vetro mediante una filtrazione eseguita in presenza di una leggera depressione, i pigmenti clorofilliani vengono estratti (insieme ai carotenoidi) a freddo dalle cellule, triturando e omogeneizzando i filtri, immersi in una miscela di acetone e acqua.

La provetta accuratamente tappata con la sospensione ottenuta (10 ml di acetone a 90%) deve essere posta a 4°C al buio per 24 h a completare l'estrazione. Centrifugare le provette chiuse per 10 minuti a 4000 rpm (o 3500 per 12 min, se non refrigerate).

La metodica di lettura utilizzata è quella delle concentrazioni della clorofilla a e dei feopigmenti. Il metodo permette di determinare le concentrazioni della clorofilla a e dei feopigmenti (feofitine, feoforbidi, clorofillidi) assumendo che il rapporto tra i loro coefficienti di assorbimento specifico, sia uguale a quello tra clorofilla a e feofitina a (Lorenzen, 1967). La procedura analitica prevede l'aggiunta di 50 mm³ di HCl (0,66 mol l⁻¹) per ogni 5 ml di estratto direttamente nella celletta dello spettrofotometro subito dopo le letture a 665 e 750 nm. La celletta va agitata ripetutamente e occorre attendere da 30 a 60 sec prima di ripetere le letture alle stesse lunghezze d'onda. In questo modo, tutta la clorofilla a presente nell'estratto si converte in feofitina a.

Determinare l'assorbanza netta dell'estratto prima dell'acidificazione e dopo l'acidificazione, e procedere a calcolare le concentrazioni di clorofilla a e feopigmenti secondo le formule date dal manuale.

2.7 Sedimenti

I campioni dei sedimenti, sono stati campionati con benna di profondità da 5 kg ad una profondità variabile tra i 6 e i 18 metri, nei 4 punti di campionamento riportati in Figura 2.3. I campioni sono stati analizzati presso i laboratori LAV S.r.l., per la parte chimico-biologica, e GET S.r.l.____7, per la parte granulometrica. Successivamente i risultati sono stati elaborati dalla ditta M3C S.r.l.____7.

L'analisi chimica è eseguita per verificare le concentrazioni di inquinanti quali metalli, idrocarburi, PCB, diossine, pesticidi, composti organoclorurati e organostannici. Mentre l'analisi biologica ricerca sostanzialmente coliformi, salmonella, streptococchi e spore di clostridi solfiti riduttori.

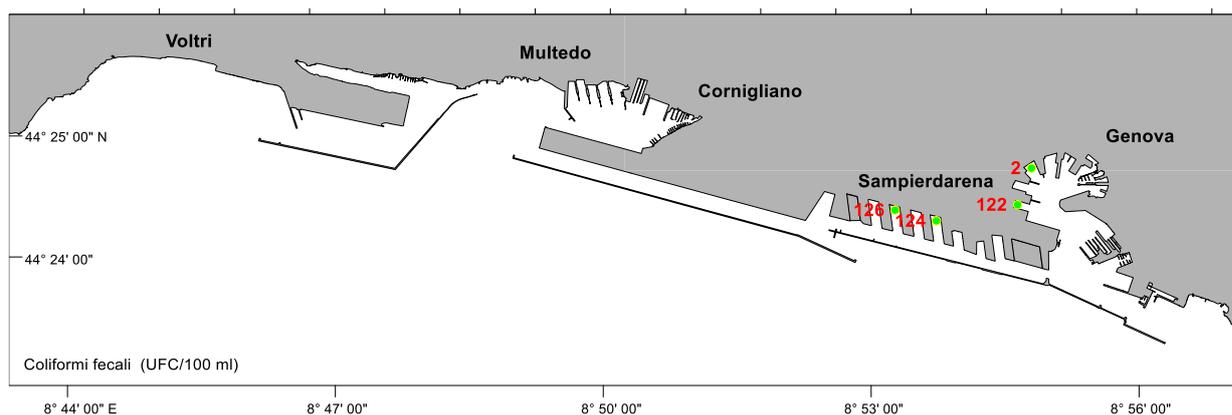


Fig. 2.3 Punti di campionamento dei sedimenti marini dell'anno 2022.

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Tutti i risultati provenienti dal monitoraggio effettuato nell'anno 2022 sono riportati nelle relazioni trimestrali; le rappresentazioni grafiche trimestrali dei parametri monitorati sono riportate nell'appendice 1.

3.1 Caratteristiche generali del sistema portuale

Nel corso del programma di monitoraggio, in atto ormai da più di 20 anni, sono emersi alcuni andamenti generali delle caratteristiche delle acque portuali, sia spaziali sia temporali. Tali andamenti risultano evidenti anche se l'estensione spaziale e il momento in cui si manifestano possono variare di anno in anno. Tale variabilità è riconducibile in varia misura al succedersi delle stagioni, alle attività antropiche che insistono sull'area portuale e alla variabilità delle condizioni meteorologiche.

La temperatura sub-superficiale dell'acqua presenta nel suo andamento stagionale una spiccata periodicità, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo fra luglio e agosto, così come generalmente osservabile alle latitudini temperate, e segue l'evoluzione della temperatura atmosferica.

Storicamente in tutte le stagioni le stazioni 24 e 25, poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel a Sampierdarena, si sono distinte per la temperatura più elevata di circa 1-5 °C rispetto al resto del bacino. Dal 2017 a oggi questa situazione non si è più verificata, a causa della graduale dismissione della centrale termoelettrica.

La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci provenienti da terra; la distribuzione spaziale della salinità superficiale, infatti, evidenzia in quasi tutti i mesi i principali scarichi che interessano l'area portuale. L'evoluzione temporale di questo parametro è legata principalmente all'andamento delle precipitazioni, soprattutto per quanto riguarda la foce del Polcevera, la zona del Porto Antico, la zona più interna del bacino di Multedo, dove sfocia il Chiaravagna e la zona del canale di Prà. Viene interessato dai fenomeni dovuti alle precipitazioni anche il canale di calma adiacente la pista dell'aeroporto, a causa dell'incanalamento dell'acqua proveniente dal torrente Polcevera. I corsi d'acqua che sfociano all'interno dell'area portuale, infatti, hanno spiccato regime torrentizio e generalmente basse portate. In concomitanza con i massimi pluviometrici stagionali tendono però a esondare, o comunque ad aumentare notevolmente la portata con evidenti diminuzioni della salinità in corrispondenza delle foci.

Nel bacino di Pra'-Voltri sfociano alcuni rivi minori con portate molto basse, che non alterano la salinità dell'area se non in caso di precipitazioni molto intense. Negli ultimi anni si è però riscontrata una diminuzione della salinità nei periodi di maggior piovosità nella zona antistante Pegli e nel canale di Pra', questo fenomeno è probabilmente dovuto alla presenza del depuratore e di due torrenti.

Per quanto riguarda la clorofilla-a, le fluttuazioni sistematiche osservate sono da mettere in relazione sia con la variabilità stagionale degli apporti fluviali e delle altre immissioni puntuali, sia con il ciclo stagionale di produzione-degradazione della materia organica. Infatti, da un punto di vista biogeochimico, il livello di irradiazione luminosa e la temperatura dell'acqua sono i due parametri fisici che determinano i periodi in cui la produzione primaria può essere intensa. Tuttavia, l'entità, la durata e la copertura delle fioriture algali sono determinate dalla quantità di nutrienti assimilabili dalle diverse comunità di produttori primari, e quindi anche alle modalità d'immissione dei nutrienti. Qualora i nutrienti siano immessi nel corpo d'acqua in concomitanza con una fioritura, essi vengono assimilati ed entrano nella rete trofica. Di conseguenza, aumenta il loro tempo di residenza nel bacino, in quanto, attraverso la successiva rimineralizzazione delle alghe morte, i nutrienti possono completare il loro ciclo biogeochimico all'interno del bacino stesso. In mancanza di assimilazione da parte dei produttori primari, al contrario, i nutrienti immessi escono attraverso le bocche di porto ed entrano nei loro cicli biogeochimici nella fascia costiera.

Le concentrazioni della clorofilla-a nelle acque portuali seguono un tipico andamento stagionale. Durante il periodo autunnale-invernale la biomassa fitoplanctonica (espressa come clorofilla-a) è più bassa; in seguito, nel periodo primaverile, quando la temperatura dell'acqua diventa sufficientemente elevata e la radiazione luminosa sufficientemente intensa, si osservano le prime fioriture fitoplanctoniche. Queste possono essere stimulate e sostenute dagli apporti di nutrienti provenienti da terra e si prolungano nella stagione estiva, fino a raggiungere solitamente i valori massimi nei mesi di luglio e agosto. Qualora gli apporti di nutrienti non siano sufficienti a compensare il consumo ad opera della comunità autotrofa, le fioriture possono terminare rapidamente. La clorofilla-a ritorna verso valori bassi tipici del periodo autunnale, in seguito alle progressive diminuzioni della temperatura dell'acqua e dell'intensità della radiazione solare.

Dalla distribuzione spazio-temporale della clorofilla-a, si evince anche che ciascun bacino portuale presenta una situazione differente, sia dal punto di vista della quantità massima di biomassa fitoplanctonica (espressa come clorofilla-a), sia del periodo stagionale in cui viene raggiunta.

La distribuzione della concentrazione dell'ossigeno disciolto è modulata sia dal naturale ciclo di produzione del fitoplancton e dalla temperatura dell'acqua, e quindi dalla stagionalità, che dal carico organico proveniente dagli apporti di acqua dolce. In quasi tutte le stagioni, infatti, in corrispondenza dei principali scarichi da terra, si riscontrano valori minimi di ossigeno, la cui entità varia però secondo il periodo stagionale.

Altri parametri, invece, non hanno mostrato un particolare andamento stagionale. Ad esempio, la dinamica dell'ammoniaca e dei coliformi fecali è regolata prevalentemente dai processi di trasporto dei carichi provenienti dagli scarichi immessi nei bacini.

Il pH presenta una distribuzione abbastanza omogenea sia dal punto di vista spaziale che temporale, non discostandosi troppo dai valori medi dell'acqua di mare. Si può notare come nelle zone degli scarichi civili c'è una lieve diminuzione di pH.

I valori del potenziale Red-Ox sono molto variabili sia a livello stagionale sia spaziale e non si notano particolari gradienti.

La torbidità non ha un particolare andamento stagionale ma è maggiormente influenzata dalla presenza di scarichi (depuratori, foci di torrenti) e dalla movimentazione dei sedimenti dovuta al passaggio delle navi (per esempio presso il terminal traghetti).

In generale, le misure di qualità delle acque dipendono fortemente dalla variabilità delle portate dei corsi d'acqua: si ricorda che le portate sono estremamente variabili per i corsi d'acqua liguri, caratterizzati in maggior parte da un regime prettamente torrentizio. L'aumento della portata di un corso d'acqua o di uno scarico (in seguito ad eventi meteorici) influenza in modo diverso i vari contributi all'inquinamento. Ad esempio, per scarichi industriali o provenienti da depuratori, la cui portata è quasi costante nel tempo, può agire come "diluizione", mentre per inquinamento agricolo, zootecnico o urbano può tradursi in un aumento dei carichi, a causa del maggior dilavamento.

Anche i venti sono considerati forzanti meteorologiche importanti, poiché influenzano gli scambi delle acque portuali con il mare aperto. In generale, le componenti da sud-sud-ovest, prevalenti nel periodo estivo e autunnale, tendono a confinare le acque all'interno dell'ambiente portuale. Viceversa, la componente da nord, prevalente nel periodo invernale e spesso caratterizzata da forte intensità, favorisce la fuoriuscita dell'acqua verso l'esterno, e quindi il ricambio con il mare aperto.

3.2 L'anno 2022

Per meglio evidenziare la presenza di alcune differenze nei risultati del monitoraggio relativo all'anno 2022 rispetto agli anni precedenti, si riportano le distribuzioni spaziali delle anomalie dei parametri nei quattro mesi monitorati (febbraio, maggio, agosto e novembre), calcolate rispetto ai dati 1998-2020. Per quanto riguarda i valori di pH, Red-Ox e torbidità le anomalie sono state calcolate rispetto ai dati 2013-2020. Il confronto tra le anomalie dei quattro mesi monitorati e le evoluzioni dei principali parametri meteorologici nel periodo in questione, indica che le variabilità interannuali possono essere in parte ricondotte alla quantità e distribuzione temporale della piovosità annuale, alla temperatura atmosferica e al regime dei venti.

A tal proposito di seguito presentiamo una breve descrizione dell'evoluzione dei parametri atmosferici durante il 2022, confrontati anche con i dati storici raccolti da quando viene effettuato il monitoraggio in oggetto (1998-2020).

3.2.1 Il clima

In figura 3.1 sono riportati l'andamento della temperatura atmosferica durante il 2022 e le anomalie rispetto alla media storica. Evidenziati in colori diversi sono i 4 mesi in cui è stato effettuato il monitoraggio.

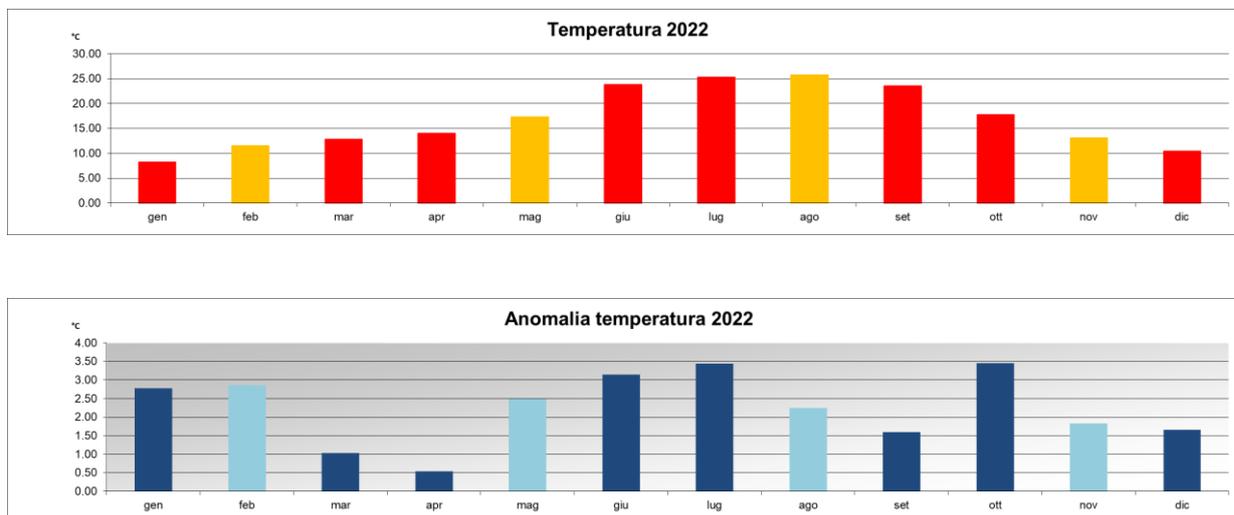


Fig. 3.1 Distribuzione delle temperature atmosferiche e anomalie della temperatura atmosferica nel 2022

Per quanto riguarda la temperatura atmosferica, l'anno 2022 segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo. In generale è stato caratterizzato da temperature discordanti dalla media. Durante tutto l'anno le temperature sono state superiori alla media, anche in maniera molto marcata.

In figura 3.2 sono riportati l'andamento delle precipitazioni durante il 2022 e le anomalie rispetto alla media storica. Sono riportati inoltre i giorni di pioggia per ogni mese. Evidenziati in colori diversi sono i 4 mesi in cui è stato effettuato il monitoraggio.



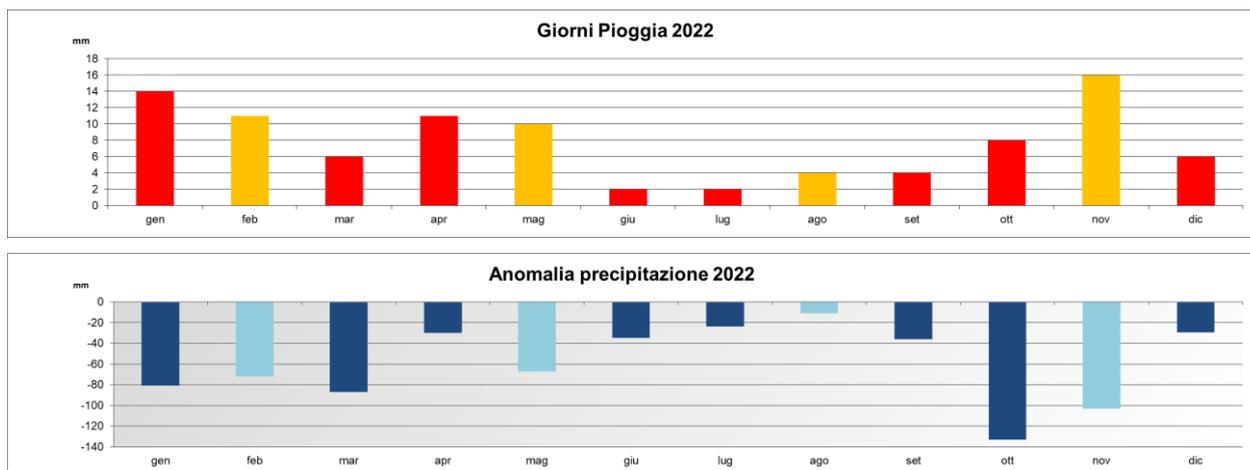
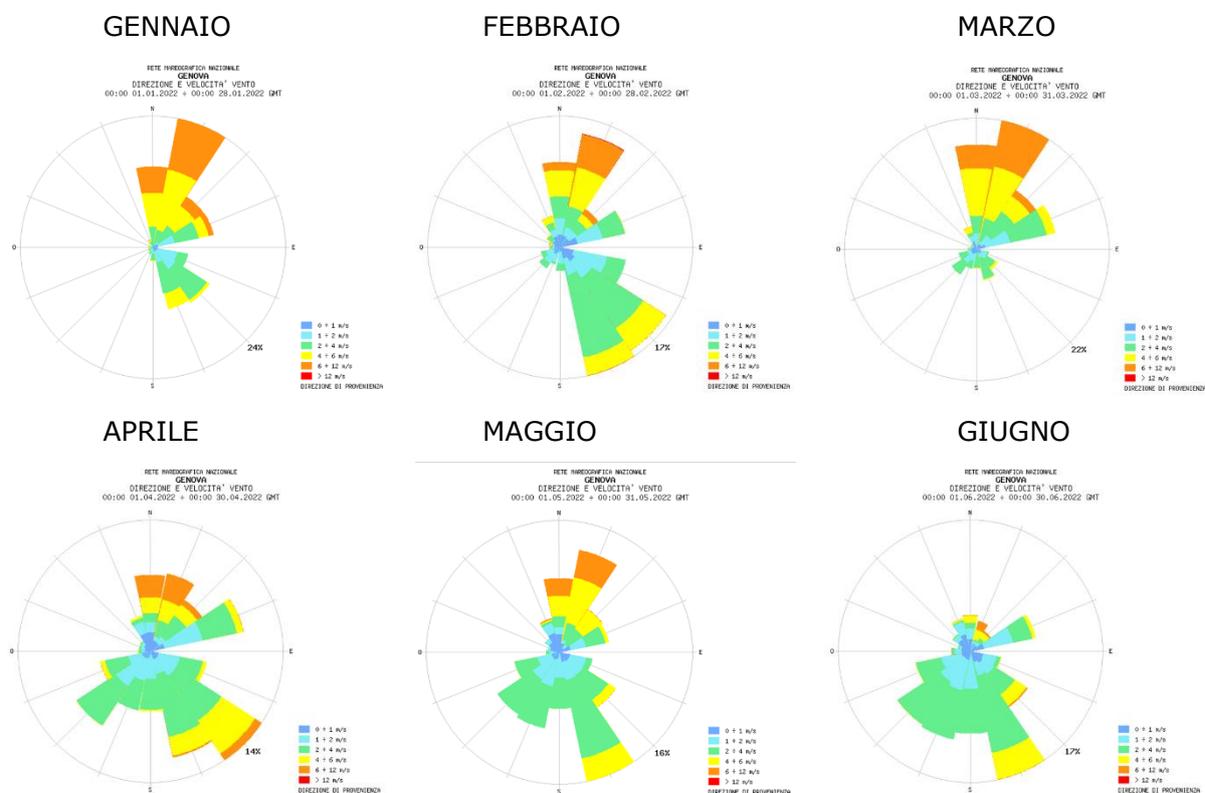


Fig. 3.2 Distribuzione delle precipitazioni, dei giorni di pioggia e anomalie delle precipitazioni nel 2022

L'anno 2022 presenta un regime delle piogge abbastanza in linea con il normale andamento stagionale, dove i mesi più piovosi per il numero di giorni piovosi, sono quelli autunnali e invernali. Il 2022 è stato caratterizzato da precipitazioni anche molto inferiori alla media in tutti i mesi presi in esame.

In figura 3.3 sono riportate le rose dei venti del 2022. Per avere un quadro più completo si riportano le rose di tutti i mesi dell'anno.



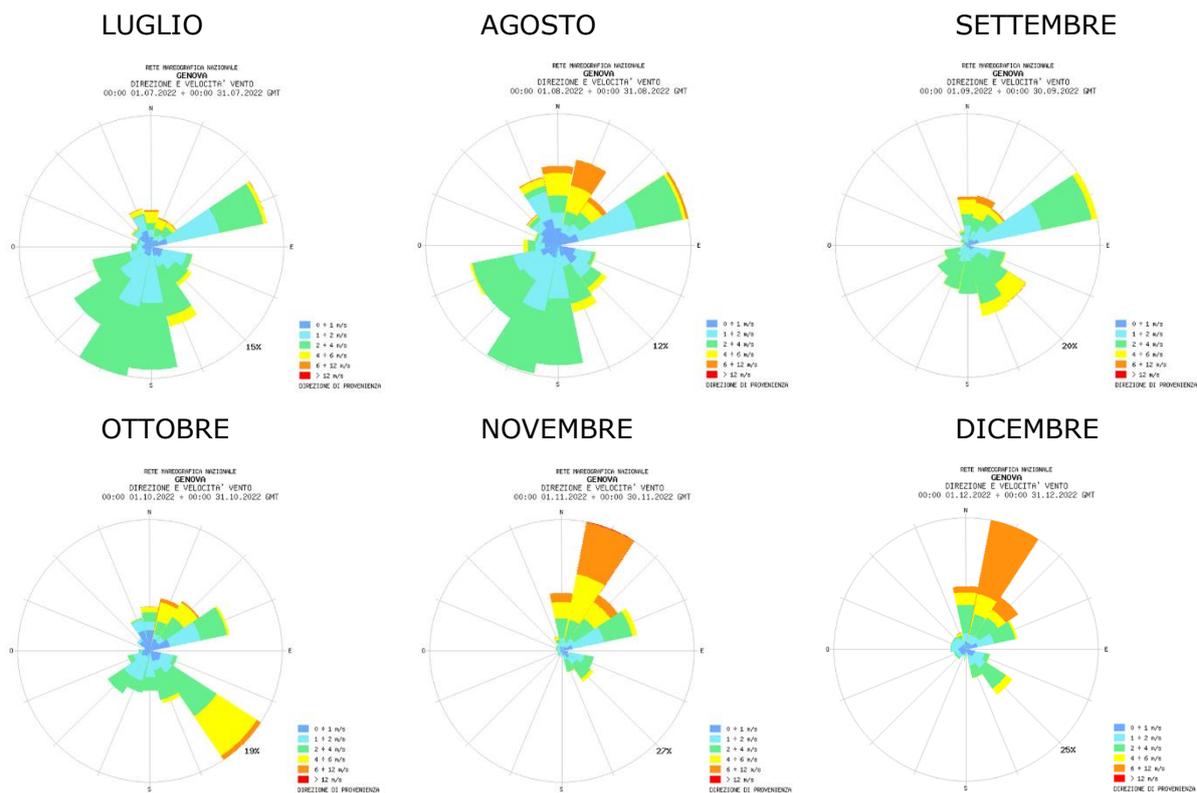


Fig. 3.3 Distribuzione dei venti nel 2022

Durante il 2022 si riscontra un regime dei venti, da deboli a forti e con provenienza variabile. In particolare in tutti i mesi oggetto dei campionamenti si evidenzia che i venti più sostenuti hanno prevalentemente provenienza da NE. Tale regime dei venti può aver favorito il ricambio di acqua con il mare aperto, evitando il confinamento dei carichi inquinanti all'interno dell'area portuale grazie al trasporto di acqua superficiale verso le imboccature del porto.

3.2.2 I parametri chimico-fisici e biologici

Per una migliore lettura si ricorda che nonostante i dati siano riportati a base stagionale per convenzione sia i dati storici sia i dati del 2022 si riferiscono solo ai mesi in cui si sono effettuati i cambiamenti (marzo-inverno, maggio-primavera, agosto-estate, novembre-autunno).

3.2.2.1 Variabilità temporale

In Fig. 3.4 sono riportate le anomalie della temperatura delle acque portuali nel 2022 nelle varie stagioni.

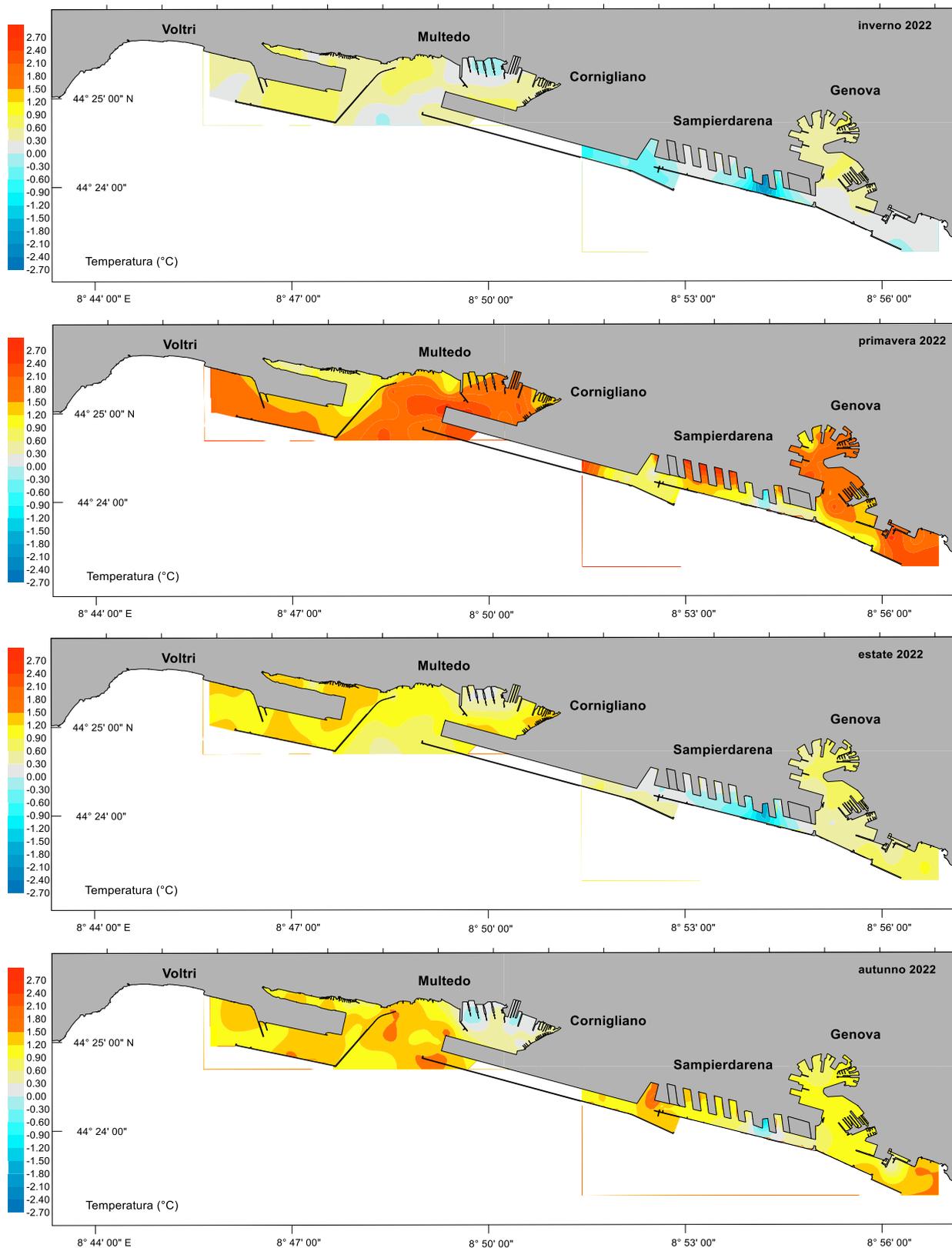


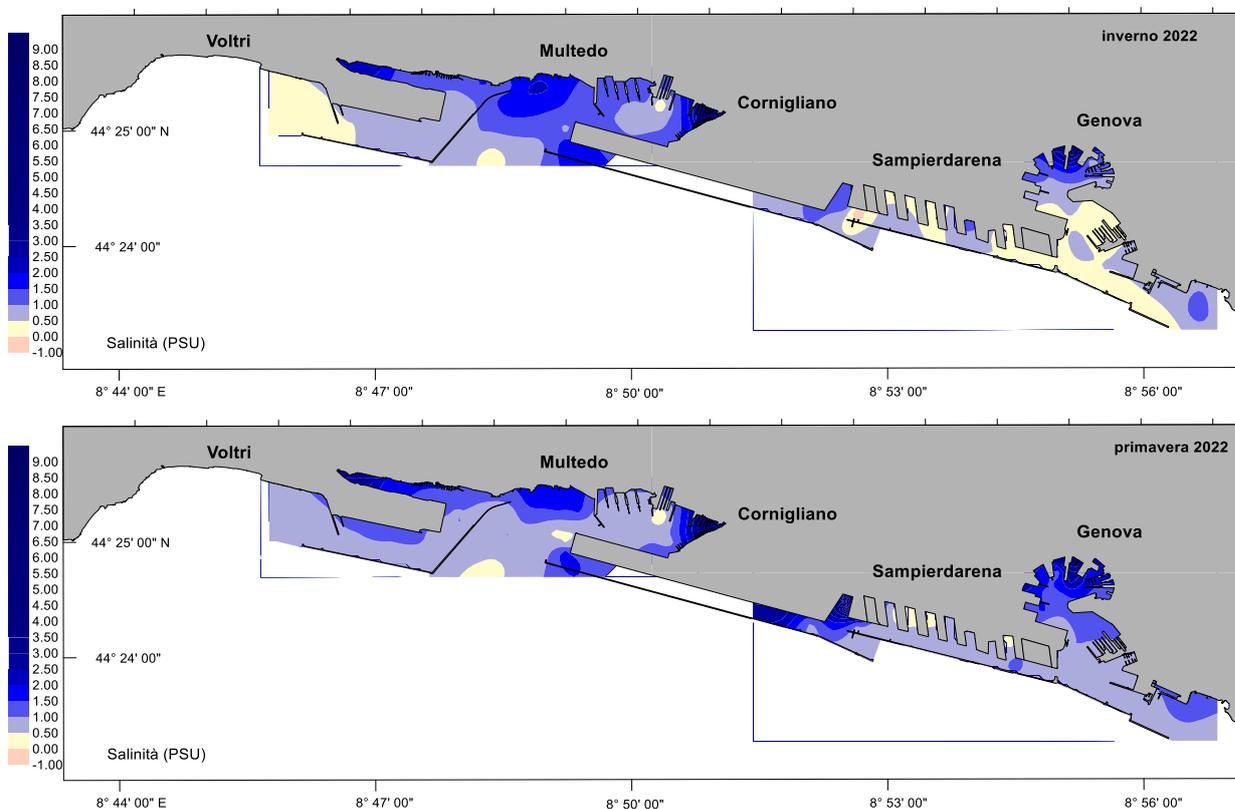
Fig. 3.4 Distribuzione spaziale delle anomalie della temperatura dell'acqua nel 2022

Analizzando le anomalie della temperatura dell'acqua possiamo notare che:

- In inverno si notano anomalie leggermente positive in quasi tutta l'area di Multedo, Prà-Voltri e del Porto Antico. Nelle zone del canale di Sampierdarena e dei bacini di Porto Petroli si trovano anomalie negative. Si riscontrano anomalie negative particolarmente marcate nella zona antistante la centrale dell'Enel.
- In primavera si riscontrano anomalie molto positive in quasi tutta l'area di interesse. Nella zona antistante la centrale dell'Enel si riscontrano anomalie leggermente negative.
- In estate si riscontrano anomalie positive o prossime allo zero in quasi tutta l'area di interesse, ad eccezione del canale di Sampierdarena dove si trovano anomalie negative.
- In autunno si trovano anomalie positive in quasi tutta la zona di interesse. Si riscontrano anomalie leggermente negative nella zona davanti alla centrale dell'Enel e nella zona dei pontili di Porto Petroli.

Per tutte le stagioni l'andamento delle anomalie della temperatura dell'acqua è abbastanza in accordo con quello delle anomalie della temperatura atmosferica.

In Fig. 3.5 sono riportate le anomalie della salinità delle acque portuali nel 2022, nelle varie stagioni.



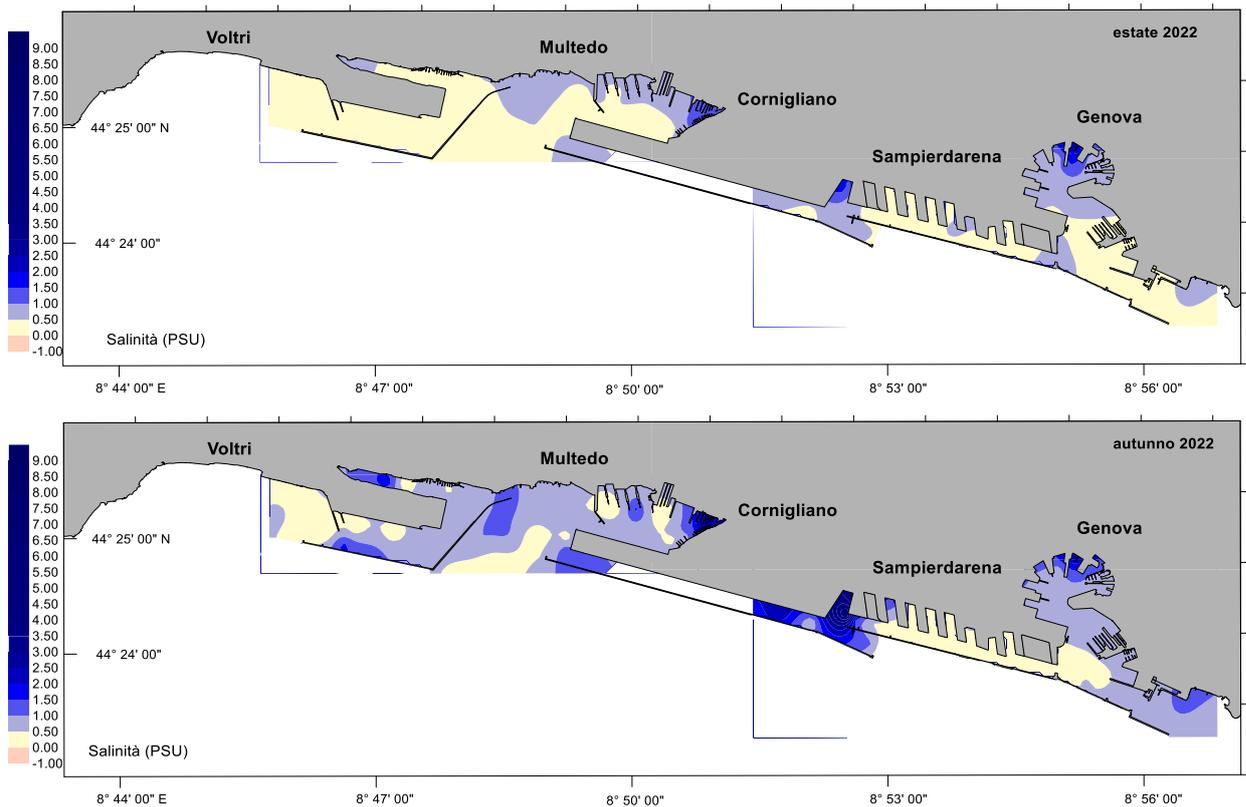


Fig. 3.5 Distribuzione spaziale delle anomalie della salinità e delle precipitazioni atmosferiche nel 2022

Analizzando le anomalie della salinità possiamo notare che:

- In inverno si notano anomalie positive in quasi tutte le aree di interesse, e in particolar modo nella zona antistante la foce del Chiaravagna e nella zona del depuratore della Darsena. Si riscontrano anomalie leggermente negative nella stazione 34, influenzata dalla foce del Polcevera.
- In primavera si notano anomalie positive in tutte le aree di interesse, e in particolar modo alle foci dei corsi d'acqua e nella zona interessata dal depuratore della Darsena.
- In estate si riscontrano anomalie leggermente positive o prossime allo zero in tutta l'area portuale. Alle foci dei corsi d'acqua e nella zona interessata dal depuratore della Darsena si evidenziano anomalie positive.
- In autunno si notano anomalie positive in quasi tutte le aree di interesse, e in particolar modo alle foci dei corsi d'acqua e nella zona interessata dal depuratore della Darsena.

L'andamento delle anomalie della salinità è in accordo con quello delle anomalie delle precipitazioni, e si può notare come in quasi tutte le stagioni nelle zone più interessate da apporti di acque dolci i valori di salinità sono superiori alla media.

In Fig. 3.6 sono riportate le anomalie della percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto nelle acque portuali nel 2022 nelle varie stagioni.

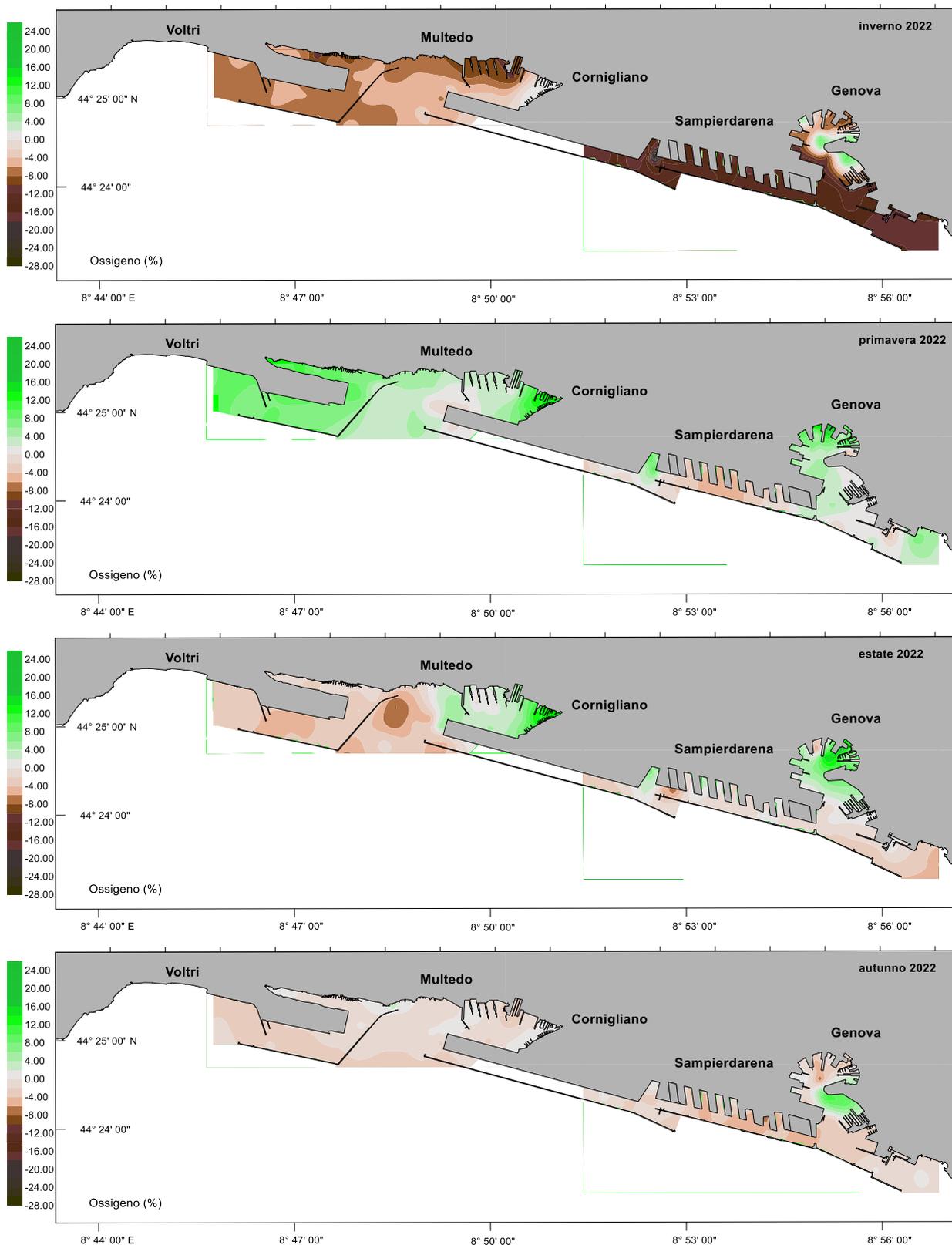


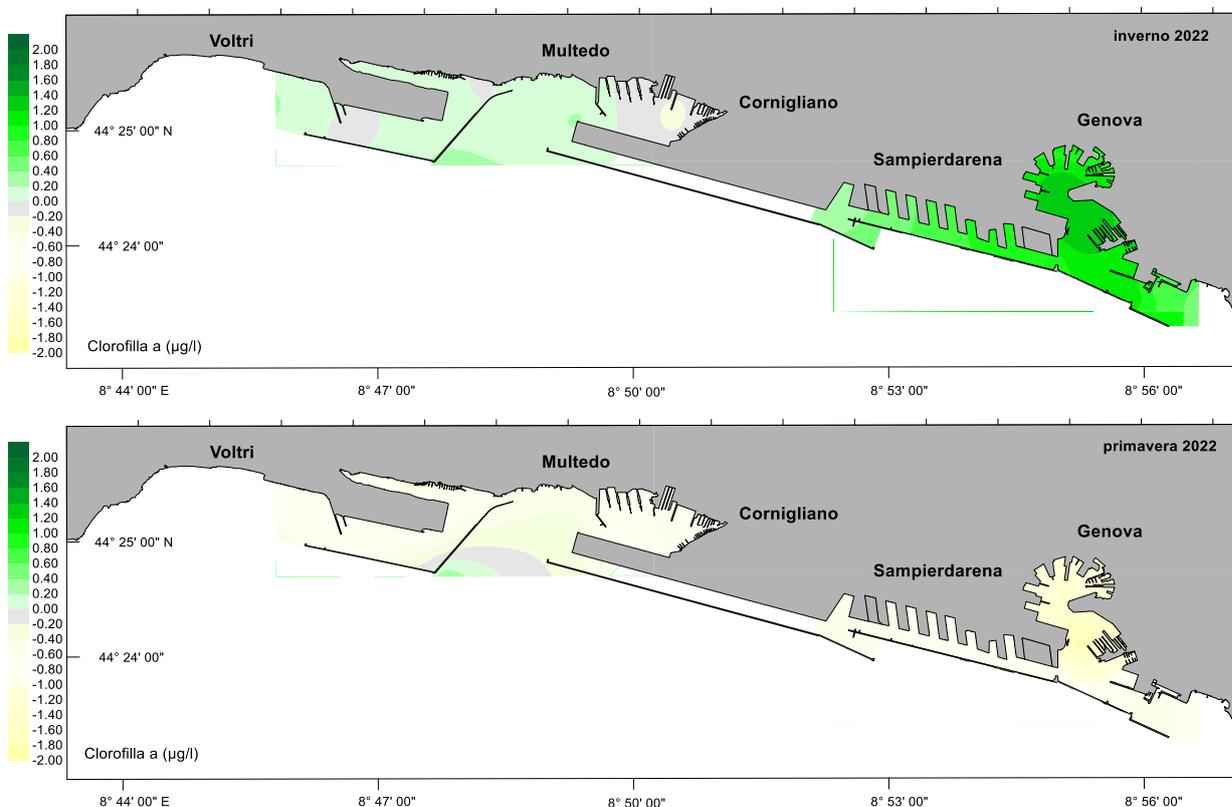
Fig. 3.6 Distribuzione spaziale delle anomalie della percentuale di saturazione dell'ossigeno nel 2022

Considerando l'ossigeno disciolto, espresso come anomalia della percentuale di saturazione, possiamo evidenziare:

- In inverno si notano anomalie negative in quasi tutta l'area portuale. Nella zona di calata Gadda e all'imboccatura del Porto Antico si evidenziano anomalie leggermente positive.
- In primavera si riscontrano anomalie positive in quasi tutte le zone del porto. Nella zona del canale di Sampierdarena si notano anomalie leggermente negative.
- In estate si notano anomalie positive nelle zone del Porto Antico e nel bacino di Multedo. Nelle restanti zone si riscontrano anomalie leggermente negative.
- In autunno sono presenti anomalie negative in quasi tutta la zona di interesse. Nella zona di calata Gadda si riscontrano anomalie positive.

L'evoluzione stagionale dell'ossigeno disciolto è da ricercare in una combinazione dei fattori che ne determinano la concentrazione; tali fattori sono sia di natura fisica (temperatura dell'acqua), che biologica (sviluppo della biomassa fitoplanctonica), che chimica (apporto di sostanza organica, proveniente in questo caso dagli scarichi da terra).

In Fig. 3.7 sono riportate le anomalie della concentrazione di clorofilla a nelle acque portuali nel 2022, nelle varie stagioni.



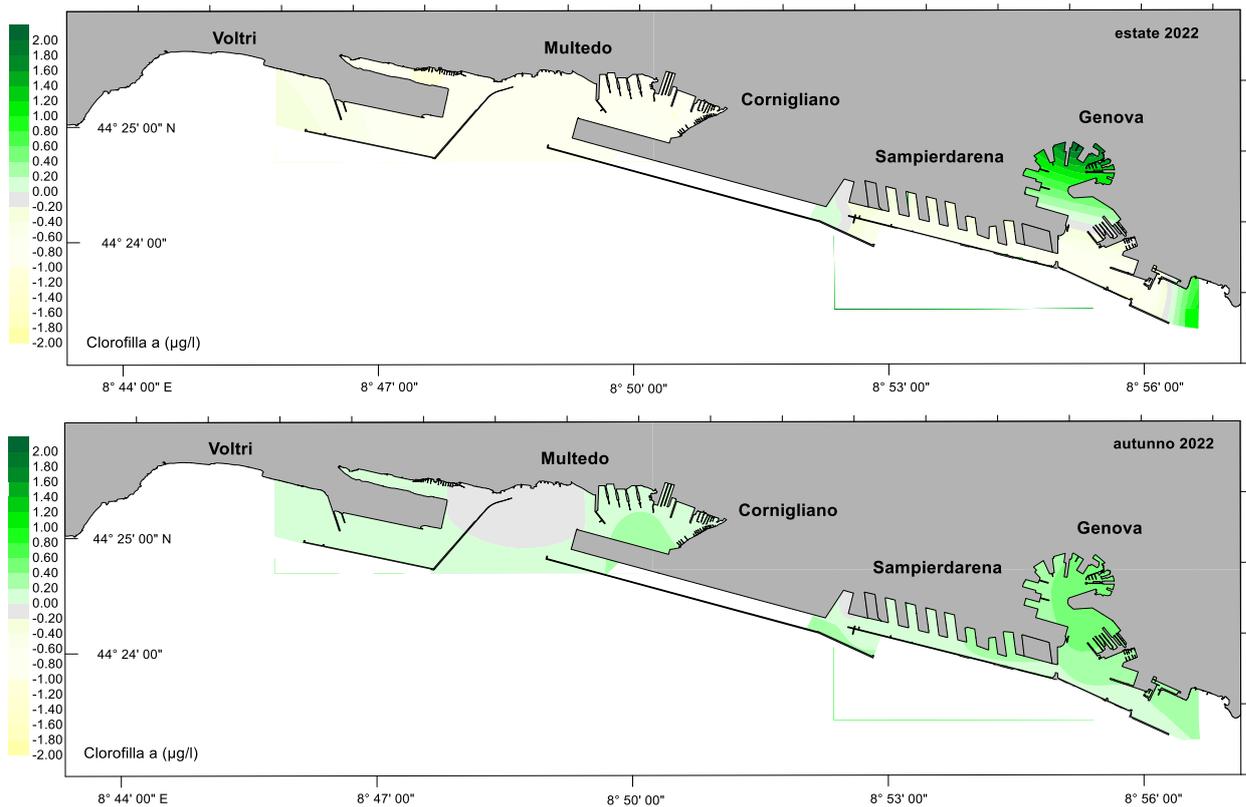


Fig. 3.7 Distribuzione spaziale delle anomalie della clorofilla a nel 2022

Considerando le anomalie della clorofilla-a possiamo osservare:

- In inverno si riscontrano anomalie positive in quasi tutte le zone di interesse. Nel bacino di Multedo si notano anomalie leggermente negative o prossime allo zero.
- In primavera si riscontrano anomalie leggermente negative o prossime allo zero in quasi tutta l'area di interesse.
- In estate si riscontrano anomalie positive nella zona del Porto Antico e nella zona di Punta Vagno. Nelle restanti zone si riscontrano anomalie leggermente negative o prossime allo zero.
- In autunno le anomalie sono leggermente positive o prossime allo zero in tutta l'area di interesse.

In Fig. 3.8 sono riportate le anomalie della concentrazione di ammoniaca nelle acque portuali nel 2022, nelle varie stagioni.

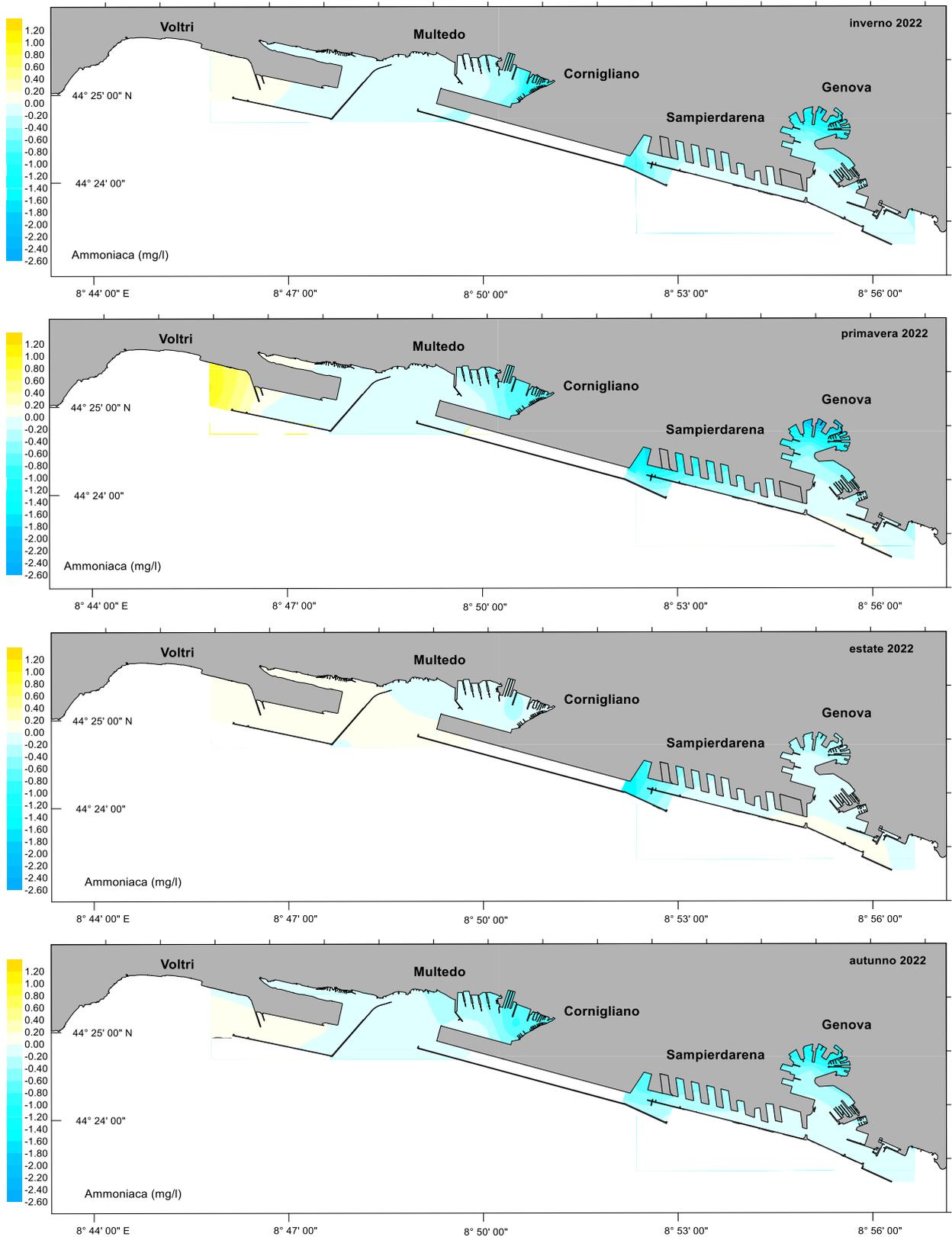
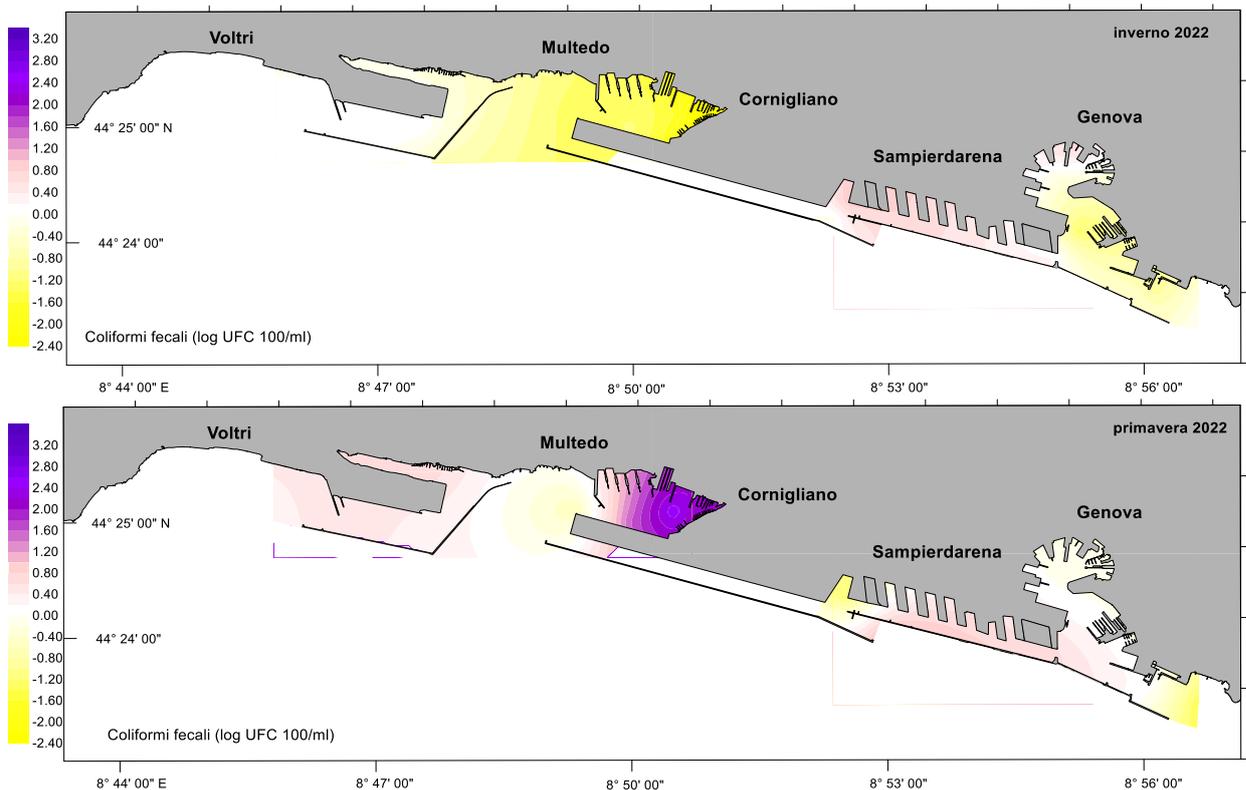


Fig. 3.8 Distribuzione spaziale delle anomalie dell'ammoniaca nel 2022

Analizzando le anomalie dell'ammoniaca possiamo notare:

- In inverno le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area portuale. Anomalie più marcatamente negative si riscontrano nelle zone influenzate dagli apporti di acqua dolce.
- In primavera le anomalie sono negative in tutto il bacino di Genova e nel bacino di Multedo. Nella zona di mare antistante Voltri e nel canale di Prà si riscontrano anomalie positive.
- In estate le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area portuale.
- In autunno le anomalie sono negative in tutta l'area portuale. Anomalie più marcatamente negative si riscontrano nelle zone influenzate dagli apporti di acqua dolce.

In Fig. 3.9 sono riportate le anomalie della concentrazione dei coliformi fecali nelle acque portuali nel 2022, nelle varie stagioni.



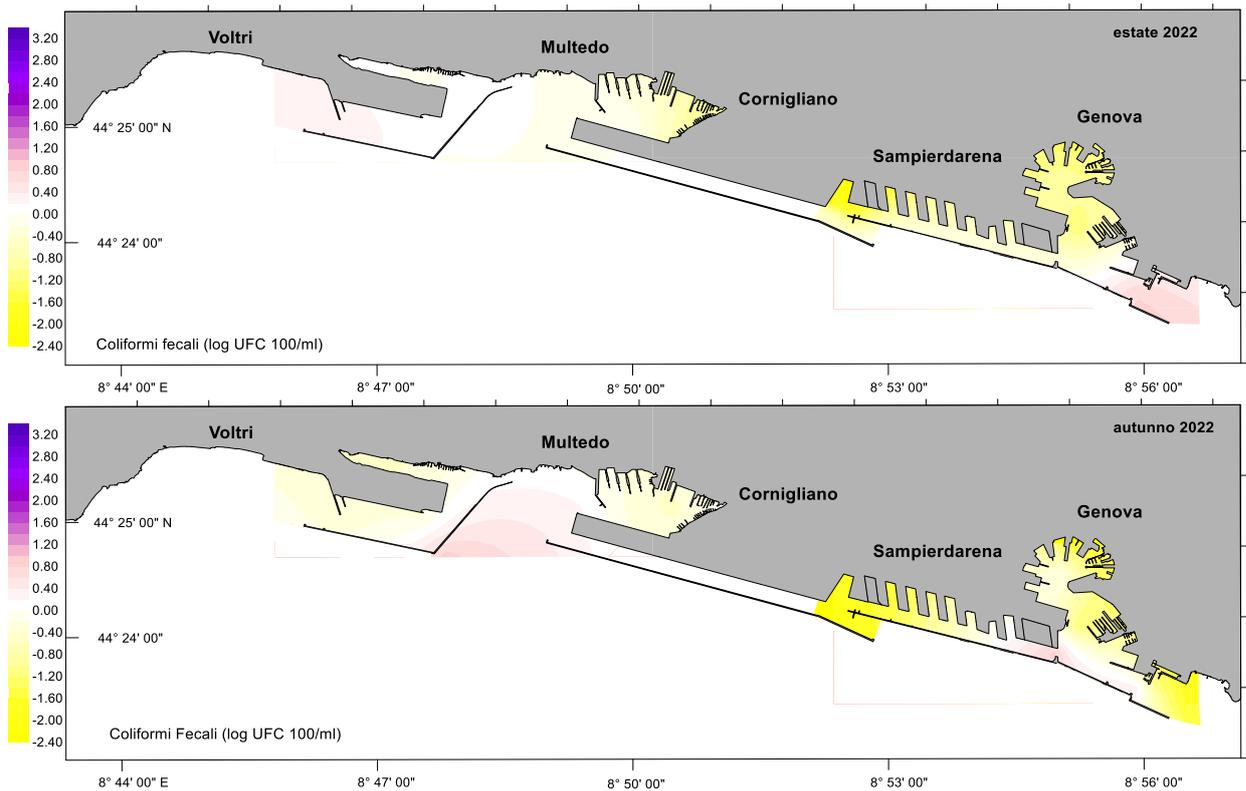


Fig. 3.9 Distribuzione spaziale delle anomalie dei coliformi fecali nel 2022

Analizzando la concentrazione di coliformi fecali possiamo evidenziare che:

- In inverno si trovano anomalie negative in quasi tutta l'area portuale, in particolare nel bacino di Multedo. Nella zona del canale di Sampierdarena e della foce del Polcevera si riscontrano anomalie leggermente positive.
- In primavera le anomalie sono positive alla foce del Chiaravagna, e nel canale di Sampierdarena. Alla foce del Polcevera e nella zona di Punta Vagno si riscontrano anomalie negative.
- In estate si trovano anomalie in quasi tutta l'area portuale. Si notano anomalie positive nel bacino di Voltri e all'imboccatura di levante del bacino di Genova.
- In autunno le anomalie sono leggermente negative nella zona compresa tra i bacini di Multedo e di Prà-Voltri e nella zona antistante calata Bettolo. Nelle restanti zone si riscontrano anomalie positive, in particolare nel Porto Antico, alla foce del Polcevera e nella zona di Punta Vagno.

In Fig. 3.10 sono riportate le anomalie di pH nelle acque portuali nel 2022, nelle varie stagioni.

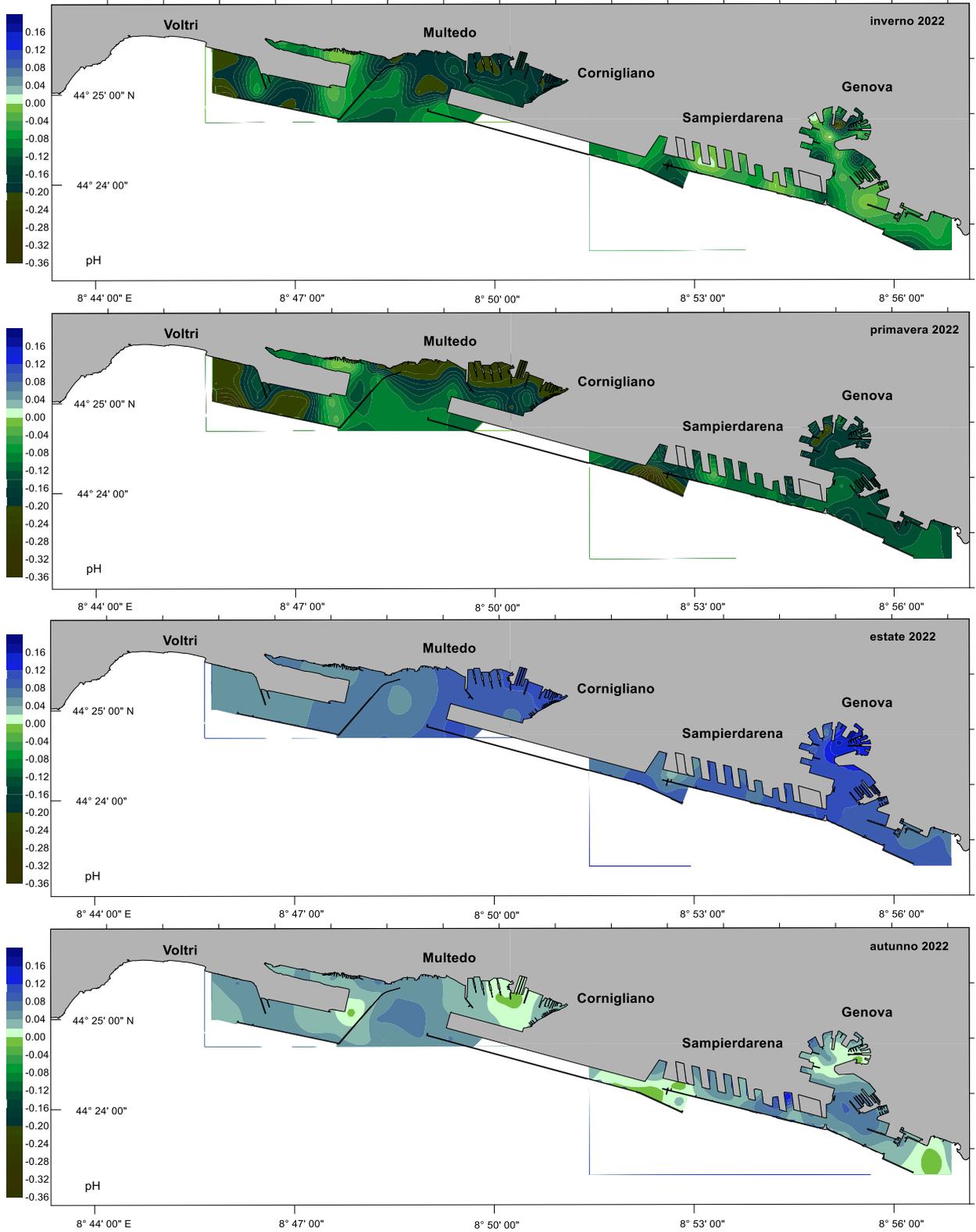
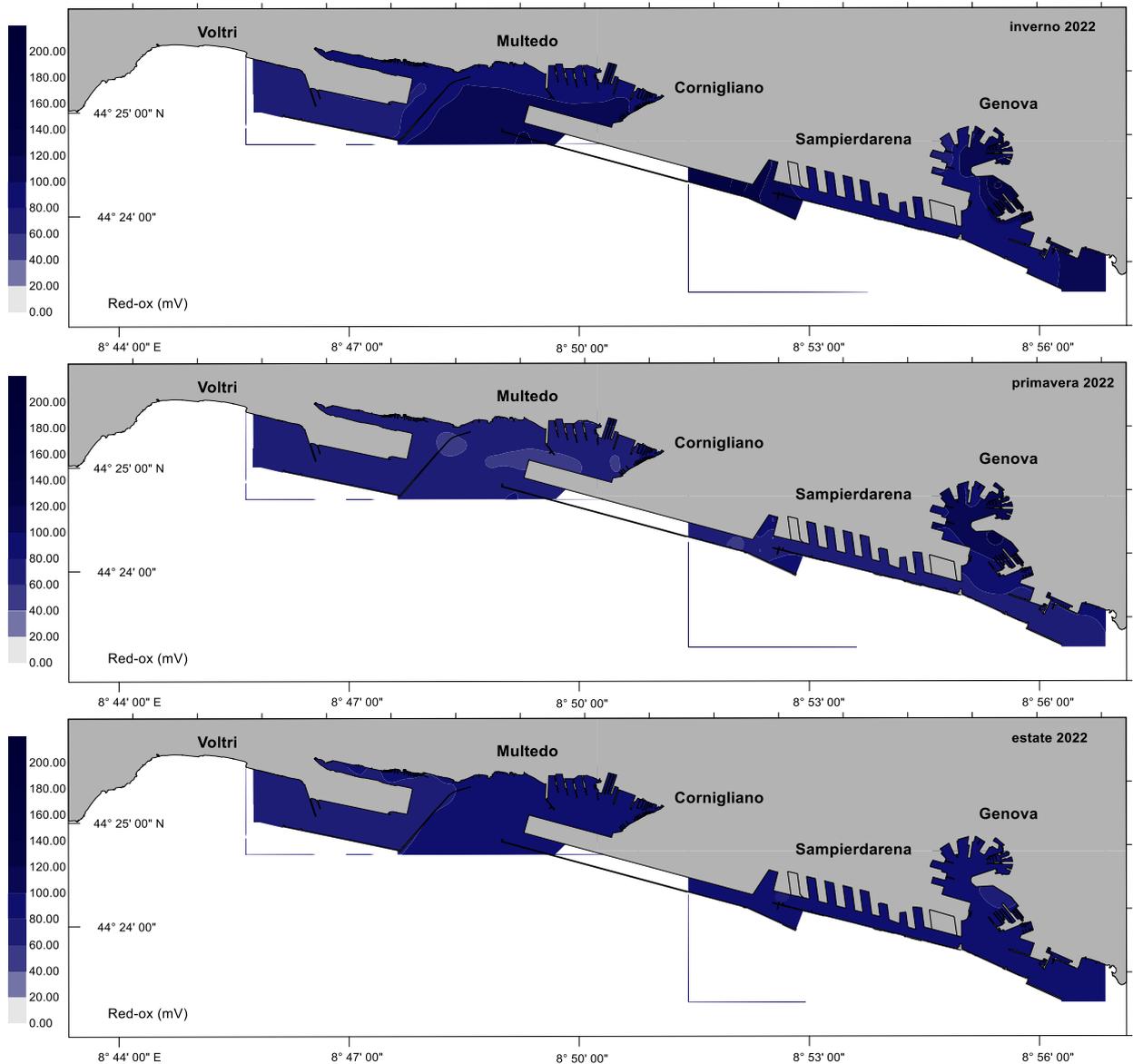


Fig. 3.10 Distribuzione spaziale delle anomalie di pH nel 2022

Analizzando i valori di pH possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono negative in tutta l'area, in particolare nella zona di Multedo e Prà-Voltri.
- In primavera le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In estate le anomalie sono positive in tutta l'area di interesse.
- In autunno le anomalie sono positive o prossime allo zero in tutta l'area.

In Fig. 3.11 sono riportate le anomalie di potenziale Red-Ox nelle acque portuali nel 2022, nelle varie stagioni.



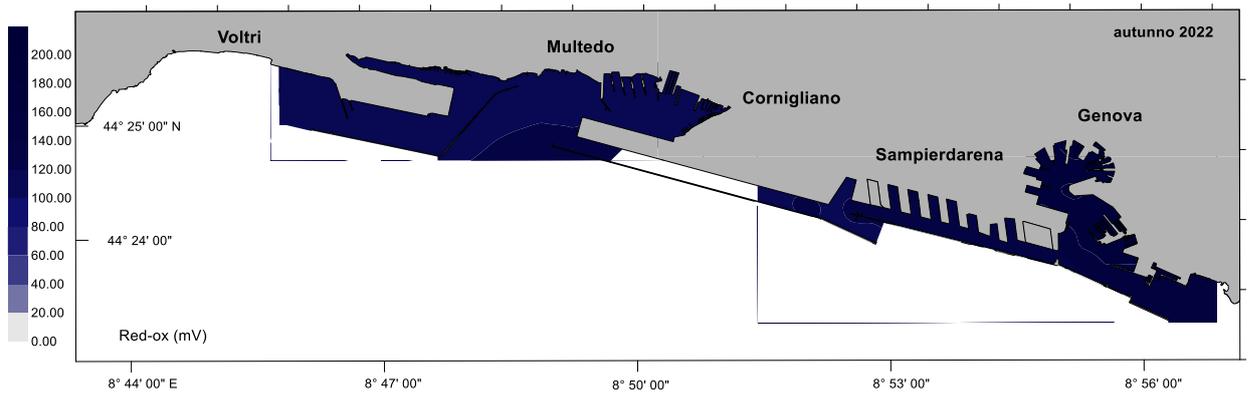
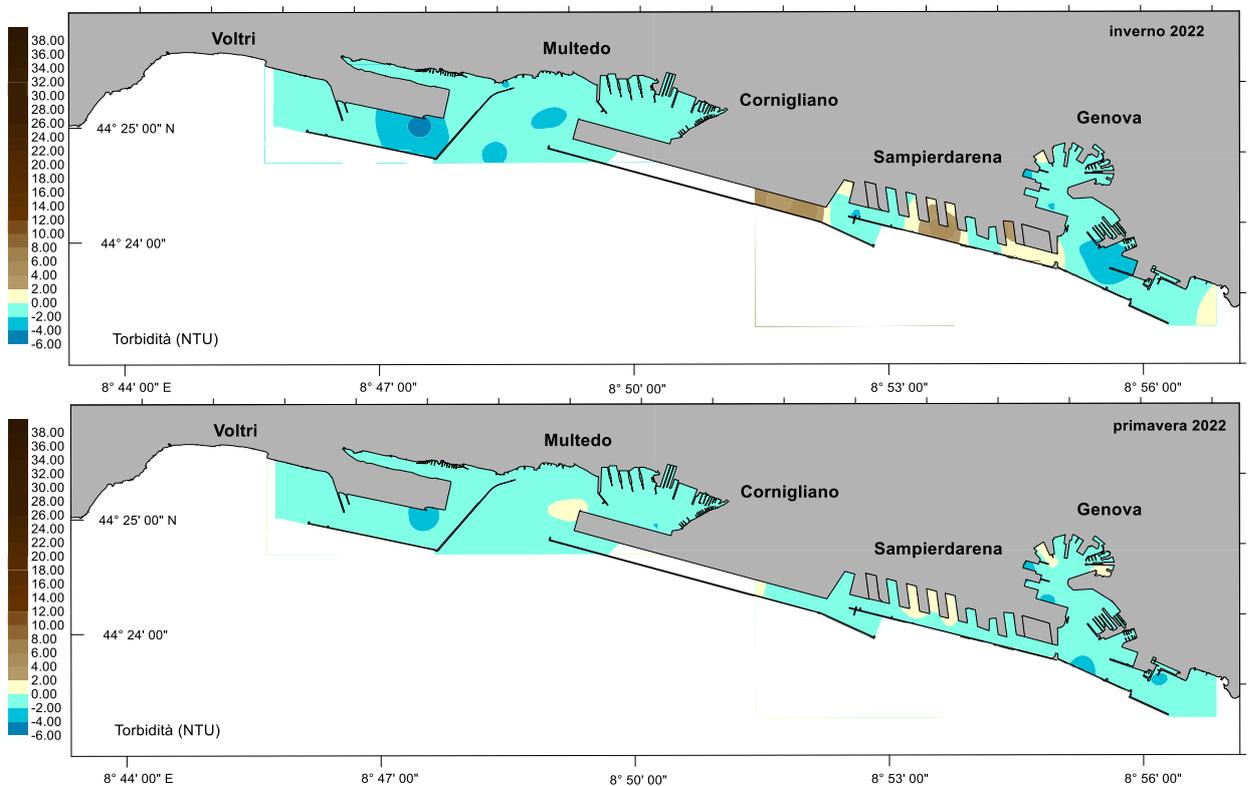


Fig. 3.11 Distribuzione spaziale delle anomalie di potenziale Red-Ox nel 2022

Analizzando i valori di Red-Ox possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono positive in tutta l'area.
- In primavera le anomalie sono positive in tutta l'area.
- In estate le anomalie sono positive in tutta l'area.
- In autunno le anomalie sono positive in tutta l'area.

In Fig. 3.12 sono riportate le anomalie di torbidità nelle acque portuali nel 2022, nelle varie stagioni.



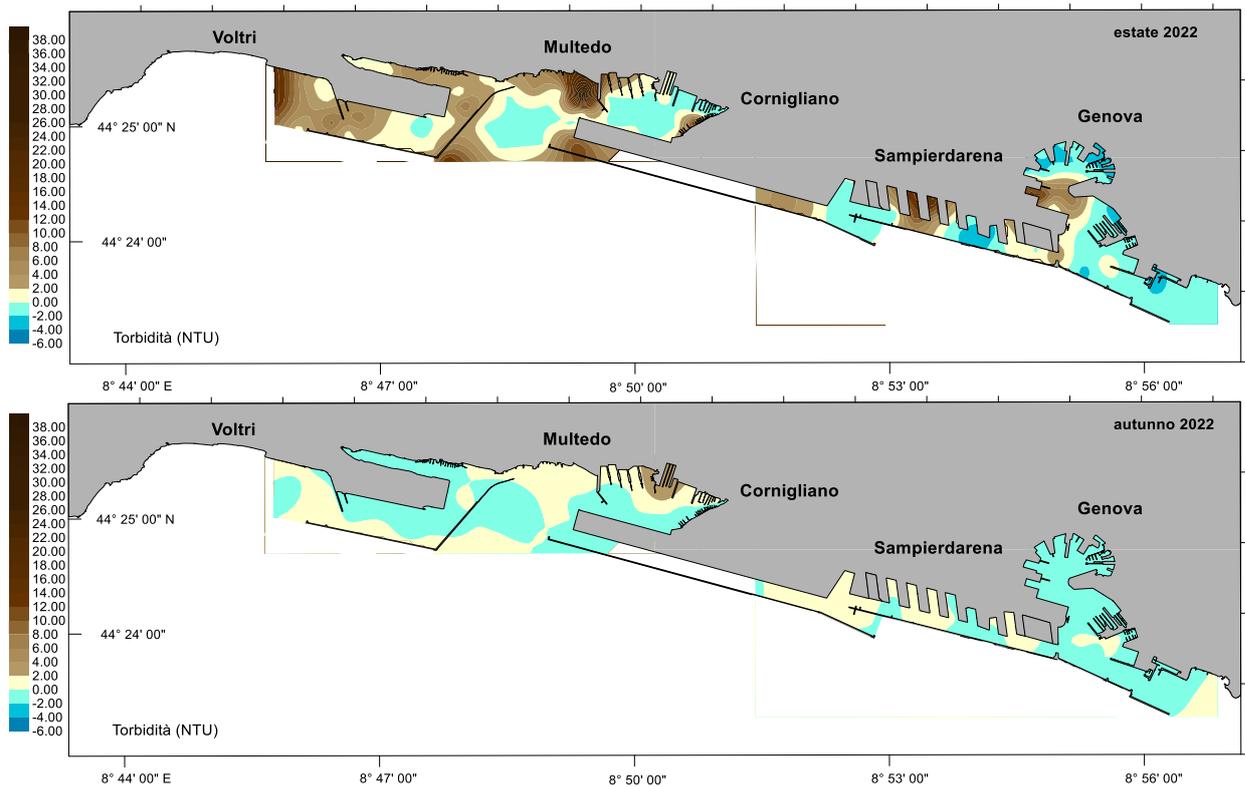


Fig. 3.12 Distribuzione spaziale delle anomalie di torbidità nel 2022

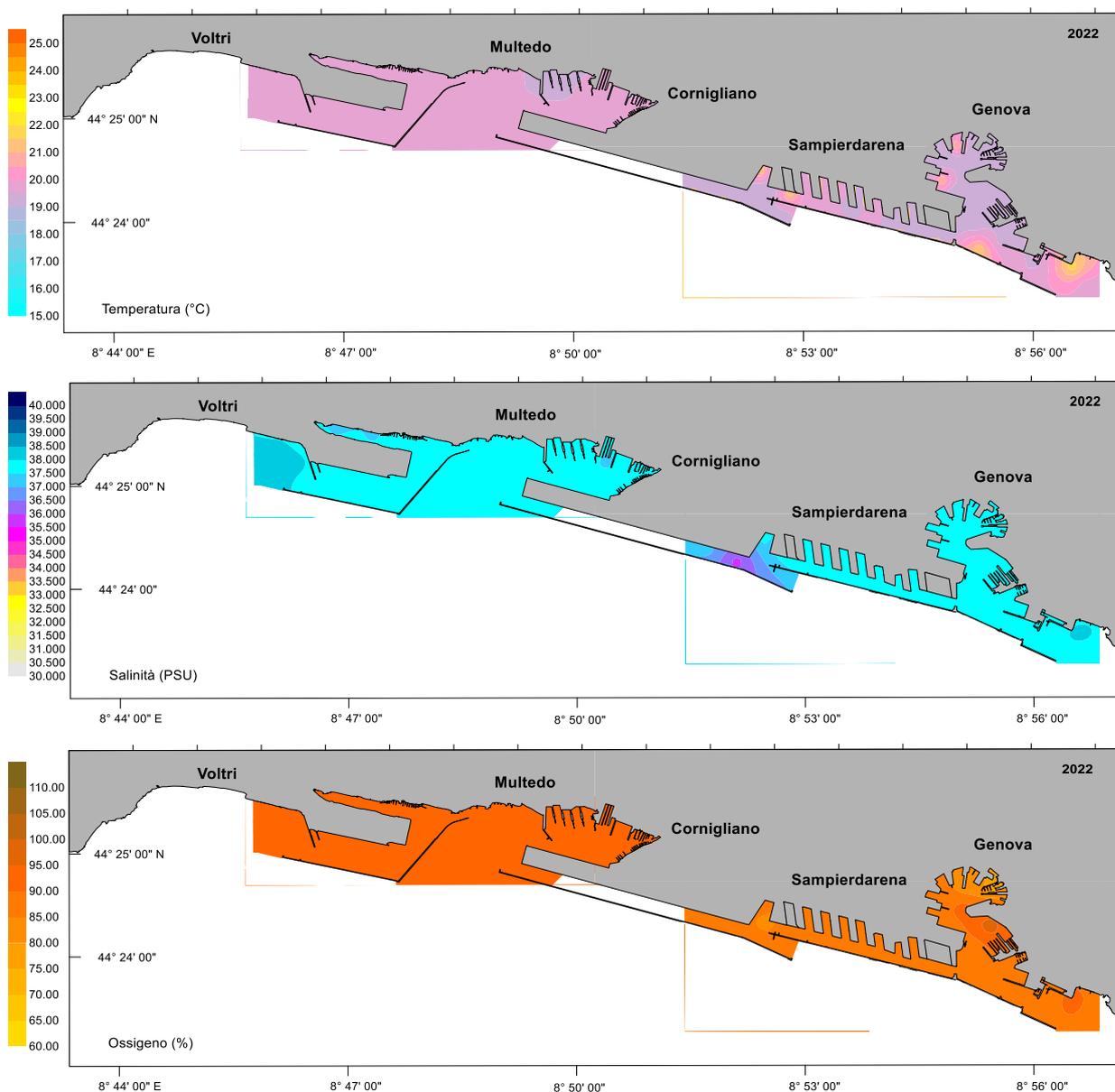
Analizzando i valori di torbidità possiamo evidenziare che:

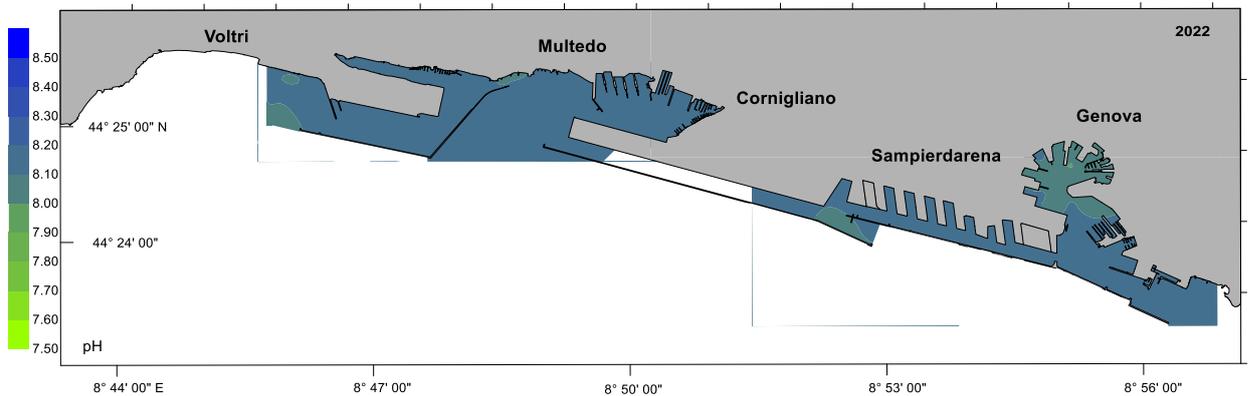
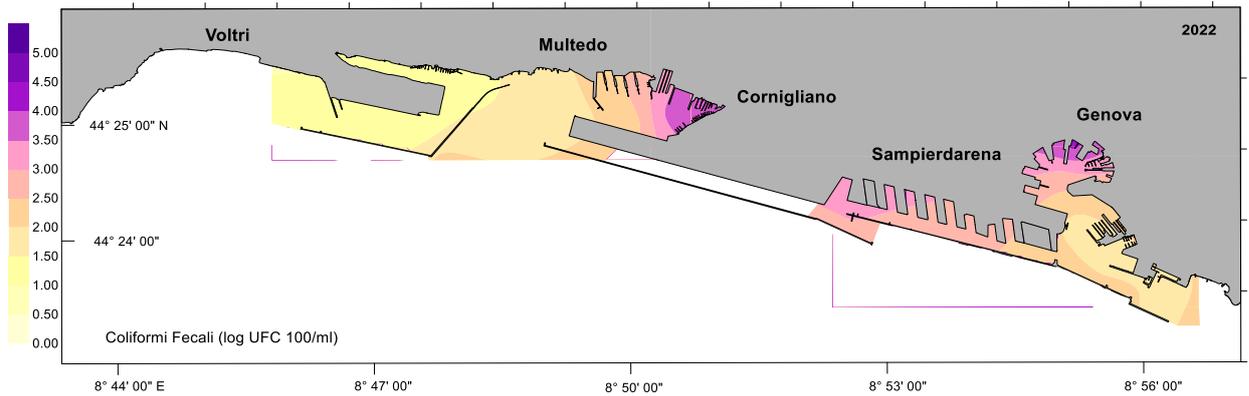
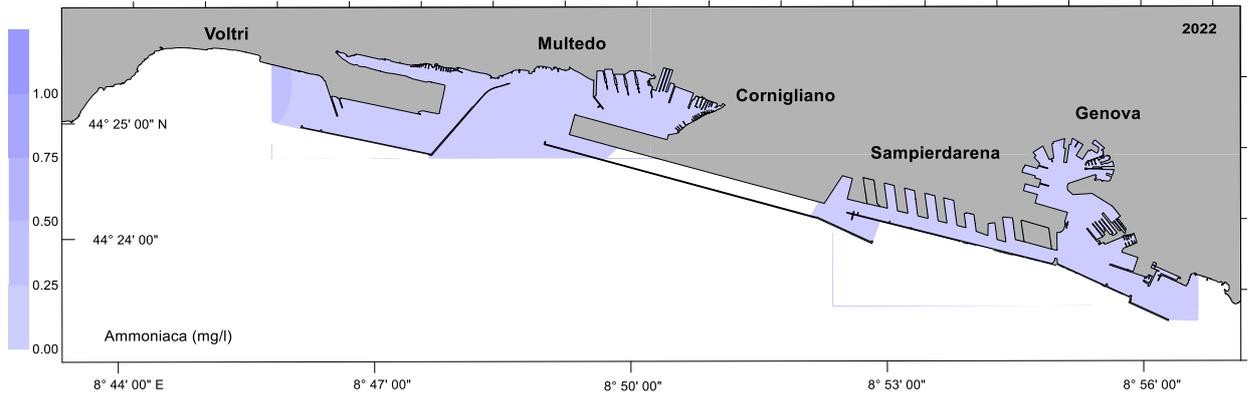
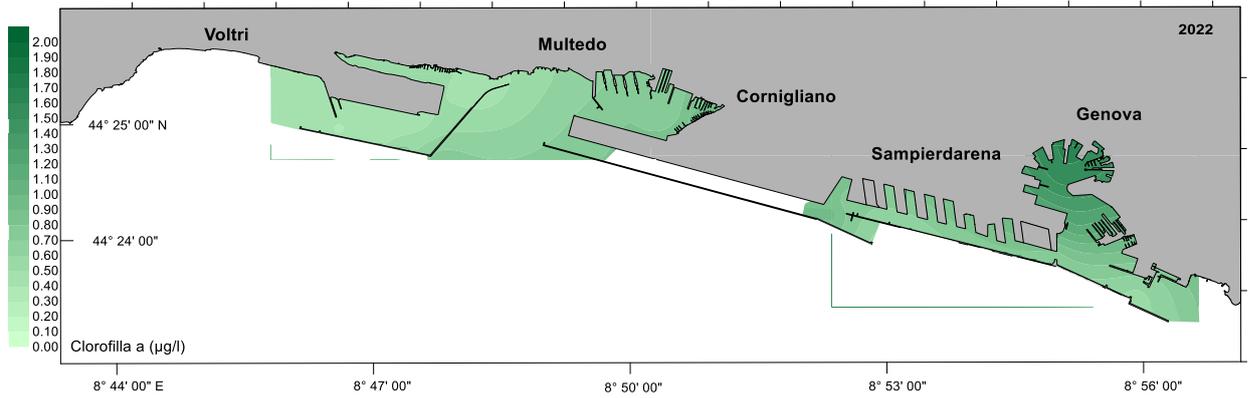
- In inverno le anomalie sono negative in quasi tutta la zona portuale, ad eccezione dell'imboccatura di levante del canale di calma adiacente alla pista dell'aeroporto ed in alcune zone del canale di Sampierdarena dove si notano anomalie positive
- In primavera le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area portuale.
- In estate le anomalie sono positive in gran parte dell'area portuale. Si riscontrano anomalie negative in parte del bacino di Miltedo, alla foce del Polcevera, nella zona del Porto Antico e all'imboccatura di levante del bacino di Genova.
- In autunno le anomalie sono negative in quasi tutta l'area portuale. Si riscontrano anomalie positive nella zona dei bacini di Sestri Ponente.

3.2.2.2 Variabilità spaziale

Lo studio della variabilità spaziale dei parametri monitorati nel porto di Genova durante l'anno 2022 (salinità, temperatura, ossigeno disciolto, clorofilla-a, ammoniaca, coliformi fecali, pH, potenziale Red-Ox e torbidità) è stato condotto utilizzando le distribuzioni dei dati, in maniera da evidenziare a livello qualitativo la presenza di gradienti di concentrazione.

I valori medi annuali dei parametri nei siti di campionamento sono stati interpolati mediante il programma grafico Surfer 12 (Goldensoftware), ottenendo delle mappe che evidenziano in maniera intuitiva i principali tratti della loro variabilità spaziale (Fig. 3.13).





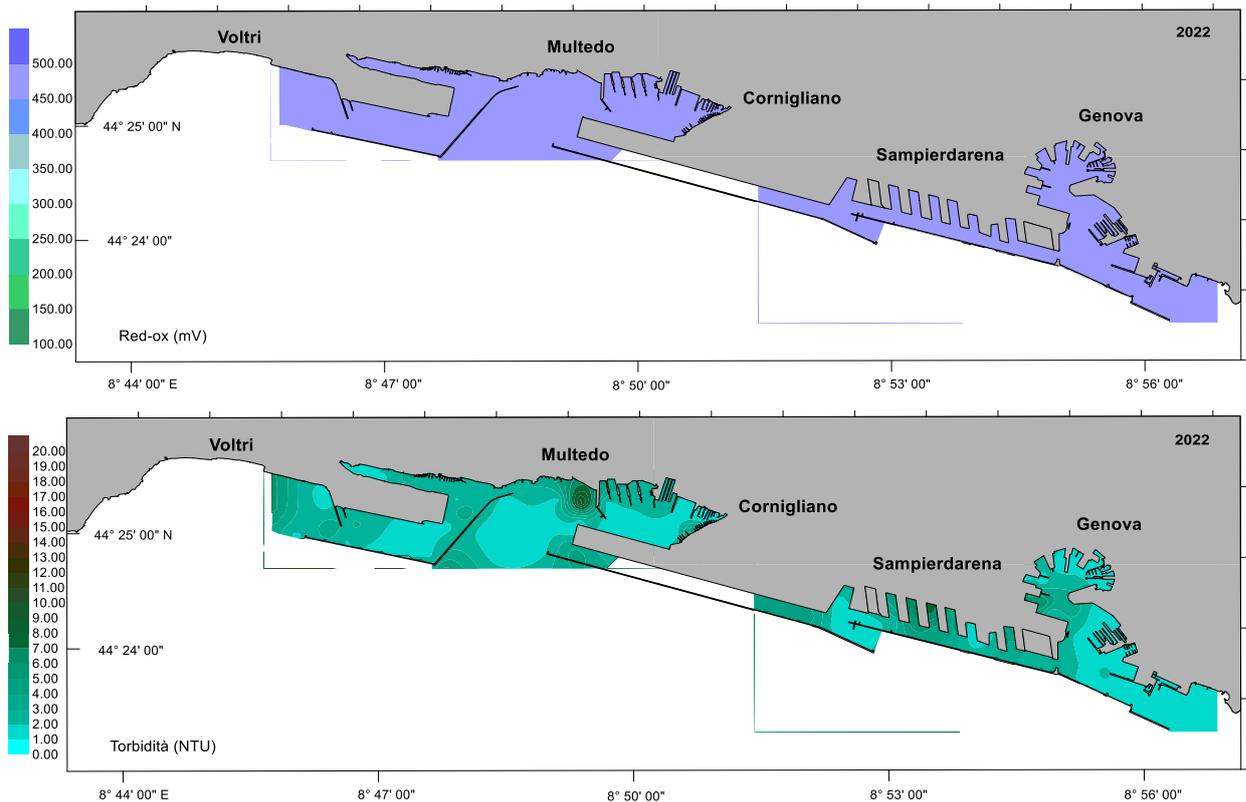


Fig. 3.13 Distribuzioni spaziali (media annuale) di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla-a, ammoniacale, coliformi fecali, pH, potenziale Red-Ox e torbidità.

La distribuzione della temperatura evidenzia una distribuzione dei valori abbastanza omogenea, con valori leggermente maggiori nelle zone più confinate. Nell'area di Punta Vagno si notano temperature leggermente più elevate che diminuiscono spostandosi verso il mare aperto. Nell'area della foce del Polcevera si notano temperature che vanno diminuendo via via che ci si addentra nel canale di calma adiacente l'aeroporto. Le stazioni poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica dell'Enel a Sampierdarena, anche durante il 2022, come dal 2017, non si sono distinte per la temperatura più elevata rispetto al resto del bacino, come succedeva negli anni precedenti alla dismissione della centrale. Il bacino di Voltri-Pra' presenta una distribuzione molto omogenea.

La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci e, infatti, i valori minimi si trovano alla foce del Di particolare interesse anche l'imboccatura di levante del canale di calma antistante la pista dell'aeroporto, che presenta valori di salinità minori, probabilmente dovuta all'incanalarsi dell'acqua proveniente dal Polcevera nel canale di calma. Il bacino di Voltri ha, in generale, una salinità più elevata.

La concentrazione dell'ossigeno diminuisce in corrispondenza degli scarichi di acqua dolce da terra (Darsena e foce del Polcevera principalmente) mentre risulta piuttosto omogenea nel resto del bacino.

I massimi di clorofilla-a, che rappresenta una stima dell'effettivo sviluppo raggiunto dal fitoplancton, sono collocati all'interno del bacino di Multedo, alla foce del Polcevera e nella

zona del depuratore in Darsena, in corrispondenza dei maggiori apporti da terra. Si nota in generale un gradiente decrescente verso le bocche portuali.

I massimi relativi di concentrazione di ammoniaca e coliformi fecali, indici di contaminazione antropica, ai quali solitamente corrispondono basse concentrazioni di ossigeno disciolto e salinità più basse, si trovano in corrispondenza degli scarichi del depuratore in Darsena e in prossimità delle foci del Polcevera e del Chiaravagna. In generale le concentrazioni decrescono man mano che ci si sposta dalla parte più interna dei bacini, maggiormente influenzata dalle immissioni da terra e caratterizzata da basso idrodinamismo, alle bocche del porto.

Per quanto riguarda il pH si nota come la distribuzione sia piuttosto omogenea, con valori leggermente inferiori nelle zone più confinate e più influenzate da apporti di origine terrestre, soprattutto nelle zone della foce del Polcevera e del Porto Antico.

Il potenziale Red-Ox presenta una distribuzione uniforme in tutta l'area di interesse, con valori leggermente inferiori nell'area del Porto Antico.

I massimi valori di torbidità si notano nella zona antistante Pegli e nella zona di Calata Mogadiscio. Nel resto del bacino i valori risultano essere piuttosto uniformi.

3.2.2.3 Analisi dei sedimenti

Nella tabella di seguito vengono sintetizzati i risultati relativi ai sedimenti marini prelevati.

Data prelievo	Punto di prelievo	Risultati
28/02/2022	Calata S. Lazzarino (Terminal Traghetti)	<ul style="list-style-type: none">• Cromo, Nichel, Piombo, Zinco e alcuni I.P.A. riscontrati in misura significativa,• Coliformi, streptococchi e clostridi solfitoriduttori riscontrati in misura significativa,• Campione costituito prevalentemente da sabbia (79.60%) e pelite (19.35%) con diametro medio 0,12 mm.
30/05/2022	Calata S. Benigno	<ul style="list-style-type: none">• Cromo, Nichel, Mercurio, Piombo, Zinco, alcuni I.P.A. e PCB riscontrati in misura significativa,• Coliformi, streptococchi, clostridi solfitoriduttori e salmonella riscontrati in misura significativa,• Campione costituito prevalentemente da sabbia (70.54%) e pelite (28.46%) con diametro medio 0,13 mm.
24/08/2022	Calata Massaua	<ul style="list-style-type: none">• Cromo, Nichel e alcuni I.P.A. riscontrati in misura significativa,• Coliformi, enterococchi e clostridi solfitoriduttori riscontrati in misura significativa,• Campione costituito prevalentemente da sabbia (84.97%) e pelite (12.56%) con diametro medio 0.16 mm.
24/11/2022	Calata Tripoli	<ul style="list-style-type: none">• Cromo, Nichel, Rame, Piombo, Zinco, alcuni I.P.A., alcuni composti organoclorurati e PCB riscontrati in misura significativa,• Sommatoria TE, PCDD, PCDF e PCB Diossina simili) al di sopra del valore limite• Coliformi, Enterococchi, Clostridi solfitoriduttori e salmonella in misura significativa,• Campione costituito prevalentemente da sabbia (59.81%) e pelite (40.08%) con diametro medio 0,09 mm.

Tabella 3.1 Sintesi risultati ai campionamenti di sedimenti marini del 2022

Le analisi hanno evidenziato come i sedimenti prelevati a Calata Tripoli siano quelli più contaminati da attività antropiche. Questo può essere dovuto al fatto che nel punto dove sono stati prelevati i campioni aveva appena finito di operare la draga che ha effettuato i lavori di dragaggio dei fondali portuali, questo potrebbe spiegare la presenza di valori alterati dovuti alla movimentazione dei sedimenti più profondi solitamente non raggiunti dalle bennate effettuate per il monitoraggio.

3.3 Le aree "critiche": confronto con gli anni precedenti

L'analisi statistica multivariata e le distribuzioni spaziali dei parametri hanno evidenziato alcune aree "critiche" all'interno dell'area portuale, così definite in base alla concentrazione di quei parametri tipici di una contaminazione antropica, quali ammoniaca e coliformi fecali. Anche gli altri parametri provenienti dal monitoraggio possono essere considerati indicatori indiretti di contaminazione antropica: la clorofilla e l'ossigeno disciolto risentono della presenza di scarichi civili per la maggiore disponibilità di nutrienti inorganici che favoriscono lo sviluppo della comunità fitoplanctonica e per l'apporto di sostanza organica la cui degradazione richiede consumo di ossigeno; anche diminuzioni di salinità e diminuzioni di temperatura possono essere collegate alla presenza di scarichi da terra; anche i valori di pH, Red-Ox e torbidità possono essere influenzati dalla presenza di scarichi. La vicinanza con gli scarichi provenienti da terra e il grado di confinamento delle acque, infine, rappresentano due fattori che condizionano la dispersione degli inquinanti nell'ambiente portuale.

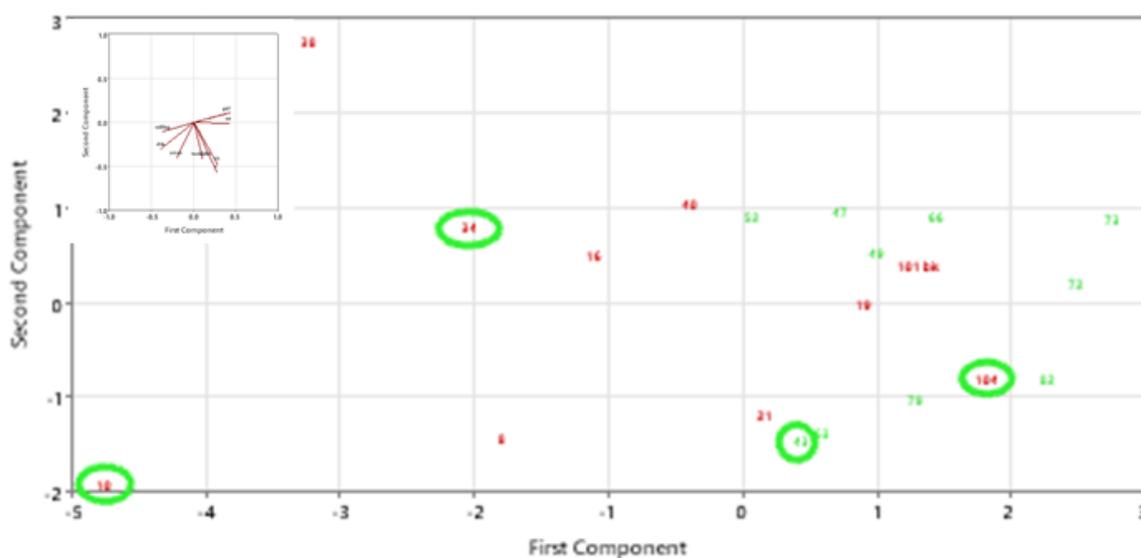


Fig. 3.14 Analisi delle componenti principali applicata ai bacini di Genova (rosso) e Miltedo-Voltri (verde) per le sole stazioni in cui si eseguono le analisi di ammoniaca, coliformi fecali e clorofilla-a; sono cerchiati i 4 siti critici.

I siti che possono presentare le maggiori criticità ambientali sono:

- Darsena, caratterizzata da uno scarso ricambio idrico e dalla presenza dello scarico del depuratore;
- Foce del torrente Bisagno, soggetta a rischio sia biologico, sia industriale per la presenza lungo l'asta torrentizia di numerosi insediamenti artigianali e industriali;
- Punta Vagno, area a possibile rischio ambientale di origine biologica, poiché in zona è presente un impianto di depurazione degli scarichi civili cittadini;

- Foce del torrente Polcevera, che presenta notevoli problematiche ambientali, sia per gli apporti alluvionali che il Polcevera trasporta, sia per la presenza, in prossimità della foce, dello scarico del depuratore della Valpolcevera;
- Foce del torrente Chiaravagna, all'interno del bacino del Porto Petroli; l'immissione in un bacino basso e semichiuso non consente l'adeguato sviluppo di meccanismi di autodepurazione biologica né di diluizione, compromettendo la qualità delle acque marine nel corpo ricettore.

Nei grafici seguenti, si riporta l'andamento, durante l'anno 2022, dei principali parametri provenienti dal monitoraggio in alcune stazioni poste all'interno di queste aree critiche; per verificare se ci siano state differenze significative rispetto agli anni passati, viene anche riportato l'andamento medio, calcolato sul set di dati 1998-2020, dei parametri nelle stesse stazioni. Per i dati di pH, potenziale Red-Ox e torbidità, l'analisi è stata fatta riportando l'andamento medio calcolato sul set di dati 2013-2020.

Inoltre, poiché all'interno o in prossimità delle acque portuali sono presenti i punti di scarico di alcuni dei depuratori delle acque reflue urbane, si riportano i valori limite, per l'ammoniaca e i coliformi fecali, di cui alla tabella A allegata alla legge 10 maggio 1976 n. 319 e successive modificazioni e integrazioni (Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento) (vedi tabella 3.1). Infatti, la legge regionale (Liguria) n. 11 del 22 marzo 1993 (Autorizzazione agli scarichi delle pubbliche fognature del Comune di Genova in ambito portuale), Art. 1, prevede che: *"Fino alla realizzazione delle condotte di scarico che consentano il rispetto delle distanze e delle profondità stabilite in applicazione dell'articolo 9 commi 3 e 4 della legge regionale 1 settembre 1982 n. 38 per i punti di scarico dei depuratori delle acque reflue urbane la Provincia di Genova su richiesta del Comune di Genova può autorizzare gli scarichi nelle acque portuali dei depuratori siti in Darsena e in Sestri Ponente purché gli stessi rispettino i limiti di cui alla tabella A allegata alla legge 10 maggio 1976 n. 319 e successive modificazioni e integrazioni e purché non siano di ostacolo o di limite alla manovra e all'operatività dei natanti e dei veicoli terrestri di interscambio."* Inoltre la legge n. 43 del 16 agosto 1995 (Norme in materia di valorizzazione delle risorse idriche e di tutela delle acque dall'inquinamento.), Art.7, prevede che: *"Gli scarichi in acque superficiali, interne e marine, sul suolo provenienti dagli insediamenti produttivi, autorizzati dalle Province ai sensi dell'articolo 3, devono essere conformi ai limiti imposti con il provvedimento di autorizzazione. In ogni caso i limiti di accettabilità degli scarichi non devono essere superiori a quelli imposti dalla tabella A allegata alla legge 319/1976 e successive modificazioni e integrazioni."*

Azoto Ammoniacale (mg/l) espresso come NH4+:	15
Coliformi fecali (MPN/100 ml):	12000

Tabella 3.2 Valori limite per l'ammoniaca e i coliformi fecali, riportati nella tabella A allegata alla legge 10 maggio 1976 n. 319 e successive modificazioni e integrazioni (Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento).

Darsena

Nella zona della Darsena, la stazione di campionamento posta in corrispondenza dello scarico del depuratore è la numero 10 (vedi figura 3.15).

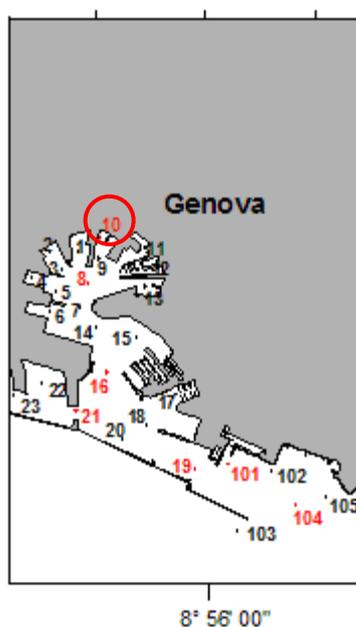


Fig. 3.15 Localizzazione della stazione numero 10, posta in corrispondenza dello scarico del depuratore in Darsena

In figura 3.16 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, potenziale Red-Ox e torbidità).

La temperatura dell'acqua segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo; rispetto alla media, nel 2022 si evidenziano valori superiori alla media durante tutto l'anno.

La salinità è compresa tra 37.500 e 38.000 PSU, valori in generale più alti rispetto a quelli medi in tutti i mesi.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta in generale superiore alla media. Solo nel mese di febbraio si riscontrano concentrazioni superiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a, invece è generalmente superiore alla media, fatta eccezione per il mese di maggio, dove risulta inferiore. Si può notare un picco estivo nel mese di agosto.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, si riscontrano concentrazioni minori rispetto alla media in tutti i mesi ad eccezione del mese di febbraio dove si riscontrano valori superiori alla media. I valori limite riportati nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml) sono stati superati nel solo mese di febbraio. Negli anni precedenti, in media, tale valore limite è stato sempre superato.

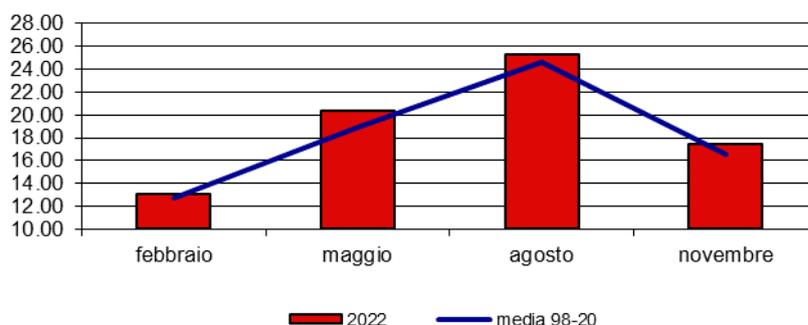
L'ammoniaca presenta concentrazioni minori rispetto alla media durante tutto l'anno. Le concentrazioni sono sempre notevolmente sotto il valore limite previsto dalla legge 10 maggio 1976 n. 319 (15 mg/l), come negli anni precedenti.

Il pH presenta valori inferiori alla media a febbraio e maggio mentre ad agosto e novembre si riscontrano valori superiori alla media.

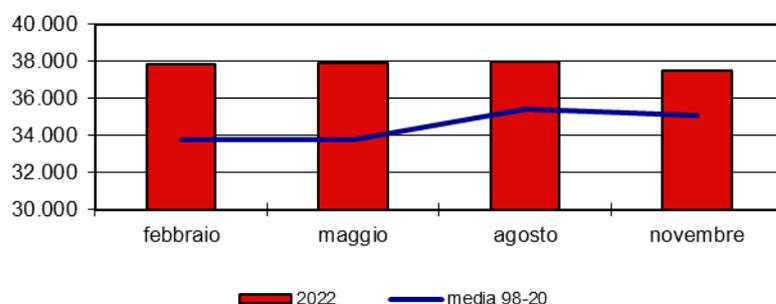
I valori di potenziale Red-Ox sono superiori alla media durante tutto l'anno.

La torbidità presenta valori inferiori alla media durante tutto l'anno. nei mesi di marzo e dicembre.

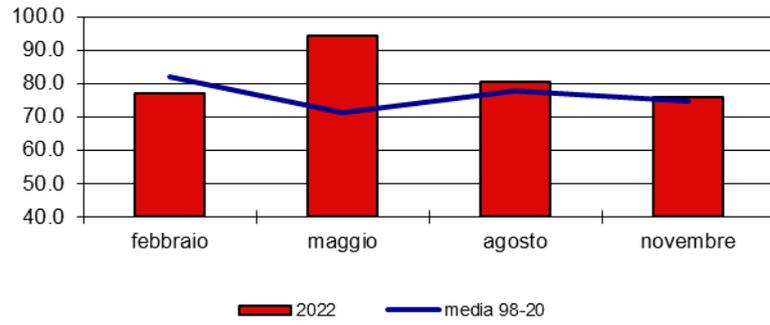
Temperatura (°C)



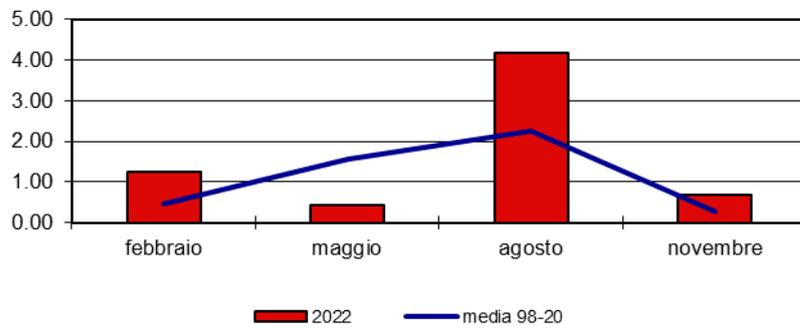
Salinità (PSU)



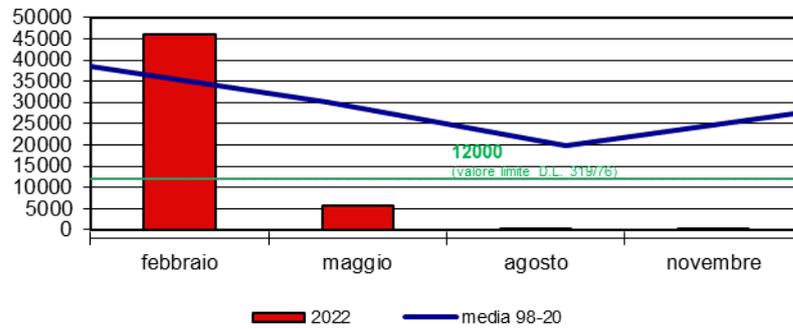
Ossigeno disciolto (% sat)



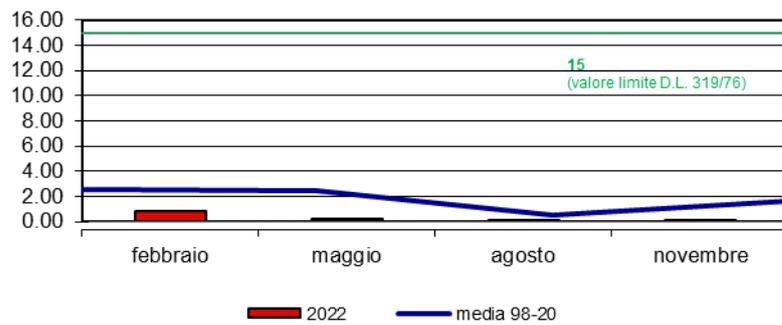
Clorofilla a ($\mu\text{g/l}$)



Coliformi fecali (MPN/100 ml)



Ammoniaca (mg/l)



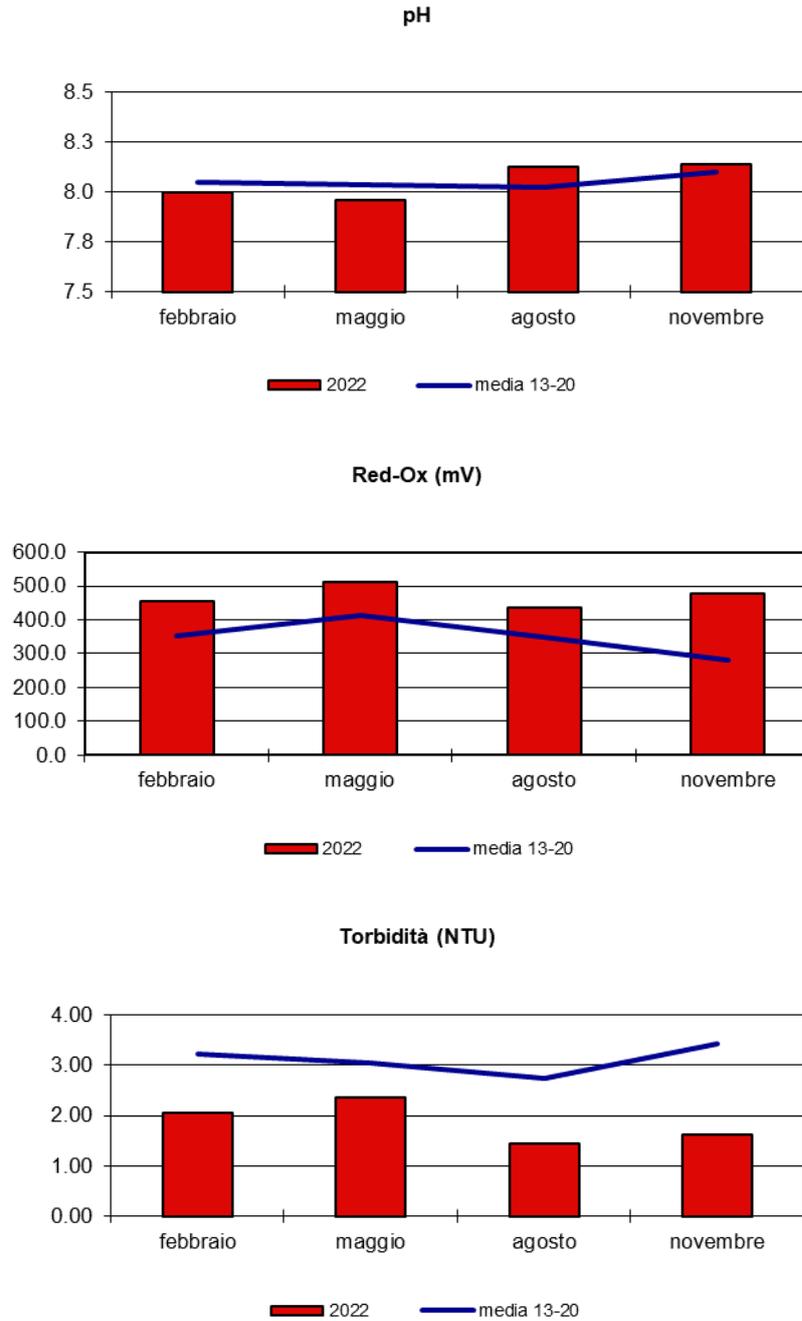


Fig. 3.16 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 10)

Foce del Bisagno e Punta Vagno

La stazione di campionamento posta in prossimità dello scarico del depuratore è la numero 104 (vedi figura 3.17)

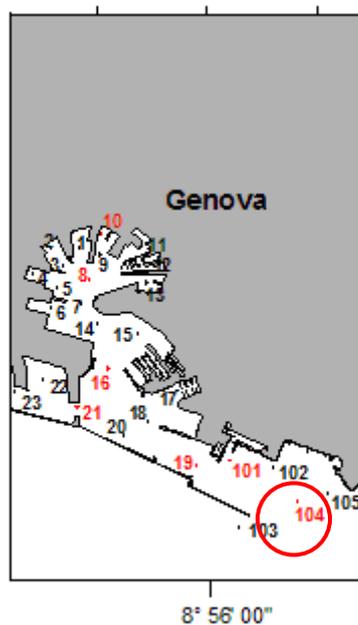


Fig. 3.17 Localizzazione della stazione numero 104, posta in prossimità dello scarico del depuratore a Punta Vagno

In figura 3.18 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, potenziale Red-Ox e torbidità).

La temperatura dell'acqua segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo. Durante tutto l'anno si nota una temperatura sopra alla media.

La salinità è compresa tra 37.800 e 38.220 PSU, valori per tutto l'anno leggermente più elevati di quelli medi, tenendo conto della variabilità di questo parametro, legata essenzialmente al regime delle precipitazioni.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, presenta valori in generale inferiori o simili alla media, fatta eccezione per il mese di maggio in cui si riscontrano concentrazioni leggermente superiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a invece è superiore alla media durante quasi tutto l'anno ad eccezione del mese di maggio dove si notano valori inferiori alla media.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, l'evoluzione stagionale ha valori inferiori a quelli medi. I valori limite riportati nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100

ml) non sono stati mai superati. Negli anni precedenti, in media, tale valore limite è stato superato nel mese di febbraio.

L'ammoniaca durante tutto l'anno presenta concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità, e di conseguenza presenta valori inferiori o paragonabili alla media e sempre notevolmente sotto il valore limite previsto dalla legge 10 maggio 1976 n. 319 (15 mg/l).

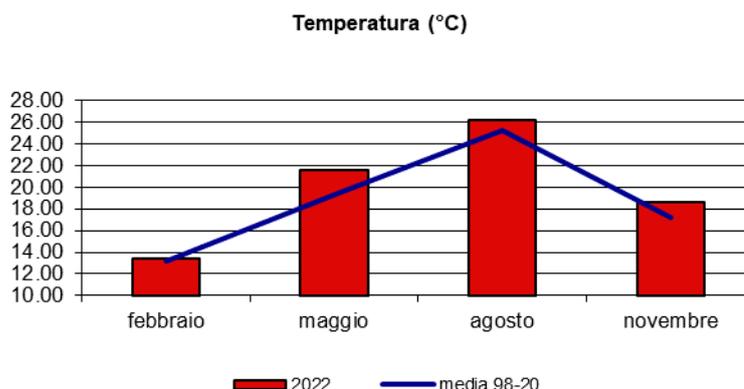
Il pH presenta valori simili alla media o inferiori durante tutto l'anno, ad eccezione del mese di agosto che presenta valori superiori alla media.

I valori di potenziale Red-Ox sono le superiori alla media durante tutto l'anno.

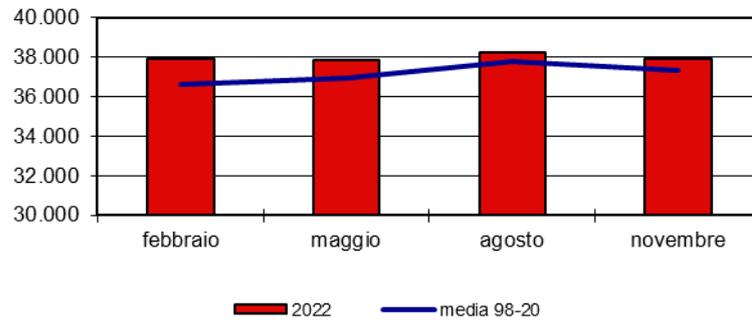
La torbidità, durante quasi tutto l'anno, presenta valori inferiori o simili alla media, fatta eccezione per il mese di novembre dove si riscontrano valori superiori alla media.

Nella stazione 104, tra le zone definite a "rischio", si continua a riscontrare un miglioramento rispetto al passato, basandosi sulle concentrazioni di ammoniaca e coliformi fecali, che conferma l'andamento osservato negli anni precedenti. Negli anni precedenti questa stazione era caratterizzata dalla presenza dello scarico del depuratore di Punta Vagno che nel 2009 ha subito una ricollocazione più al largo tramite una nuova condotta a mare. Tale miglioramento è confermato, anche quest'anno, dall'analisi delle componenti principali, che evidenzia come la stazione 104 sia meno influenzata dal depuratore, infatti, non è più associata ai parametri strettamente legati alla presenza dello scarico fognario (coliformi fecali, azoto ammoniacale, relazione inversa con ossigeno disciolto e salinità) ma si può sempre più associare ai parametri che indicano uno scambio con il mare aperto (salinità, ossigeno disciolto, reazione inversa con azoto ammoniacale e coliformi fecale).

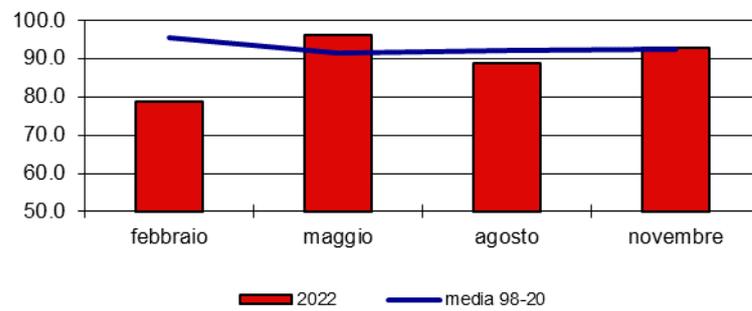
Si è potuto notare come la variabilità di alcuni parametri (salinità, temperatura, ossigeno disciolto, coliformi fecali e torbidità) probabilmente risente della vicinanza alla foce del torrente Bisagno, visibile in maniera più marcata da quando la condotta del depuratore è stata spostata più al largo.



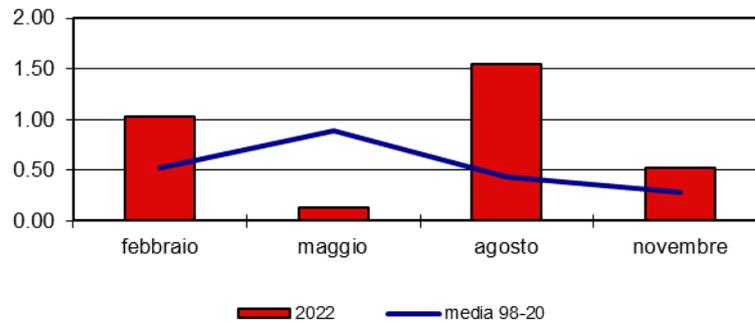
Salinità (PSU)



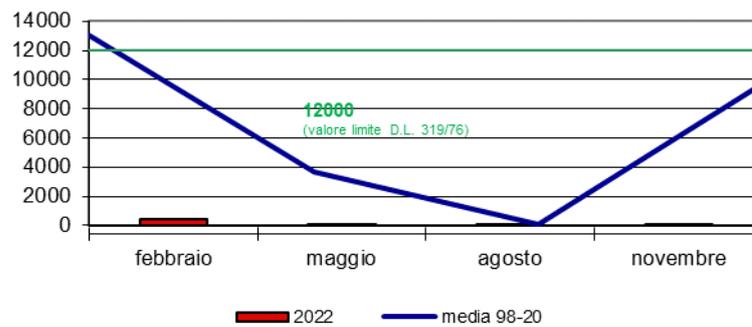
Ossigeno disciolto (% sat)



Clorofilla a ($\mu\text{g/l}$)



Coliformi fecali (MPN/100 ml)



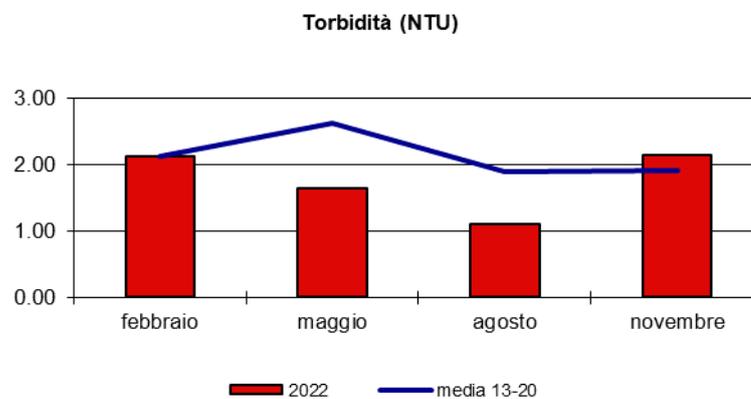
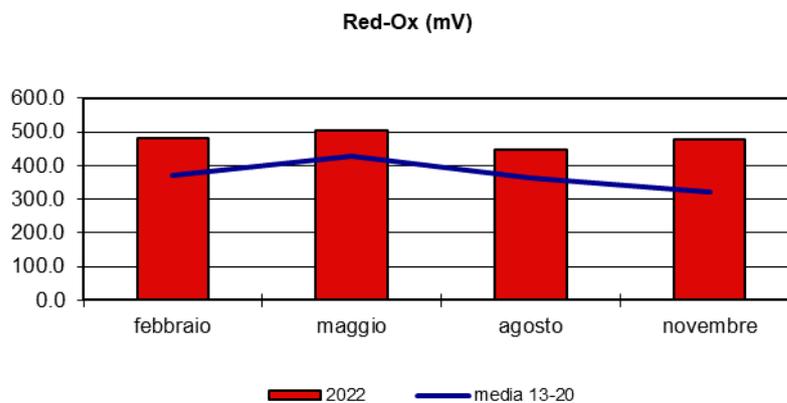
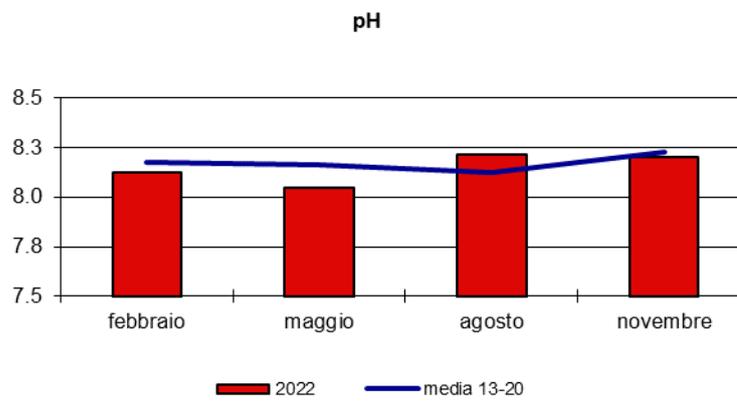
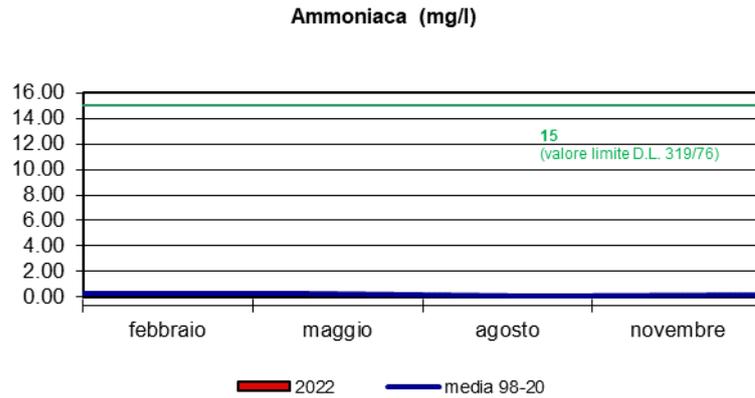


Fig. 3.18 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 104)

Foce del Polcevera

La stazione di campionamento posta in corrispondenza della foce del Polcevera è la numero 34 (vedi figura 3.19).

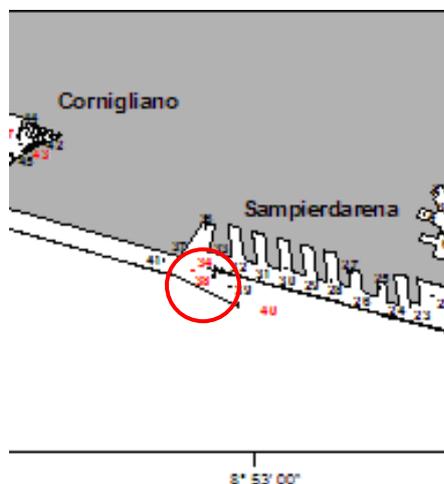


Fig. 3.19 Localizzazione della stazione numero 34, posta in corrispondenza della foce del Polcevera

In figura 3.20 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, Red-Ox e torbidità).

La temperatura dell'acqua segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo; rispetto alla media, nel 2022, si evidenziano temperature leggermente inferiori nel mese di febbraio. Nei restanti mesi si riscontrano temperature simili alla media o leggermente superiori.

La salinità è compresa tra 36.000 e 37.900 PSU. Si riscontrano valori superiori alla media durante tutto l'anno.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta inferiore alla media nei mesi di febbraio e novembre; mentre nei mesi di maggio e agosto si riscontrano valori superiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a è superiore alla media nel mese di febbraio. Nei restanti mesi si notano valori inferiori alla media.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, le concentrazioni sono inferiori alla media in tutti i mesi. In tutti i mesi è stato rispettato il valore limite riportato nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml). Negli anni precedenti, in media, tale valore limite è stato superato sempre nei mesi presi in esame.

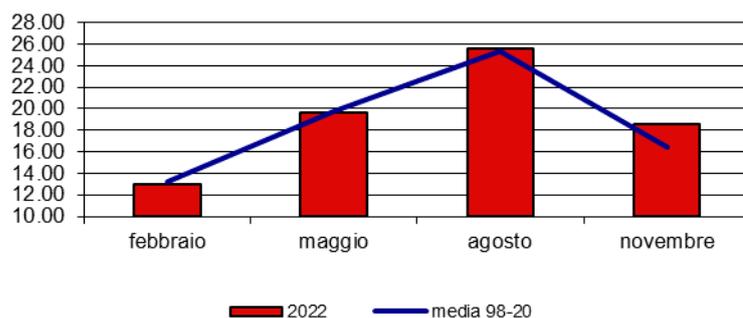
L'ammoniaca presenta durante tutto l'anno valori inferiori alla media e i valori sono sempre decisamente al di sotto del valore limite previsto dalla legge 10 maggio 1976 n. 319 (15 mg/l).

Il pH presenta valori inferiori alla media nei mesi di febbraio e maggio, mentre nei mesi di agosto e novembre presenta valori leggermente superiori alla media.

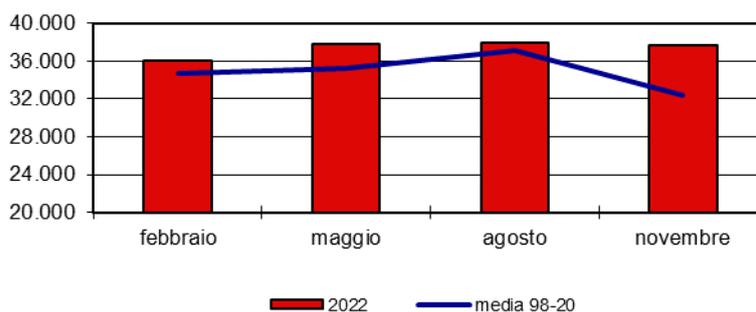
I valori di Red-Ox sono superiori alla media durante tutto l'anno.

La torbidità presenta valori inferiori alla media nel mese di novembre, nei restanti mesi si riscontrano valori superiori alla media.

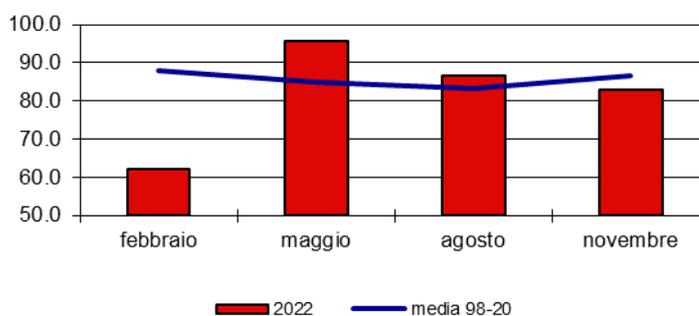
Temperatura (°C)



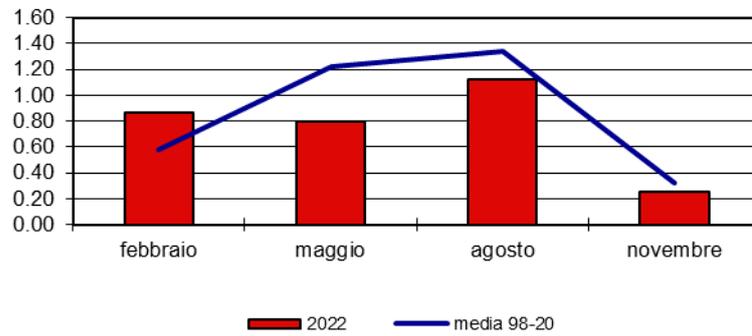
Salinità (PSU)



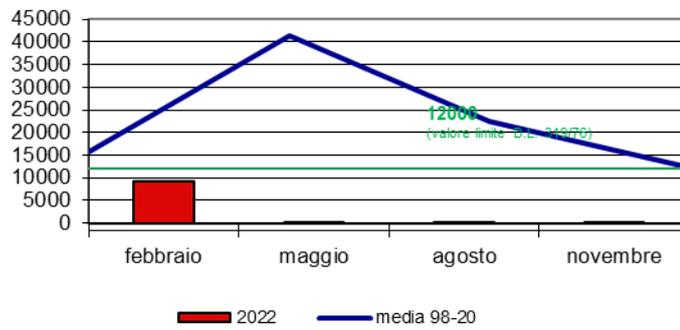
Ossigeno disciolto (% sat)



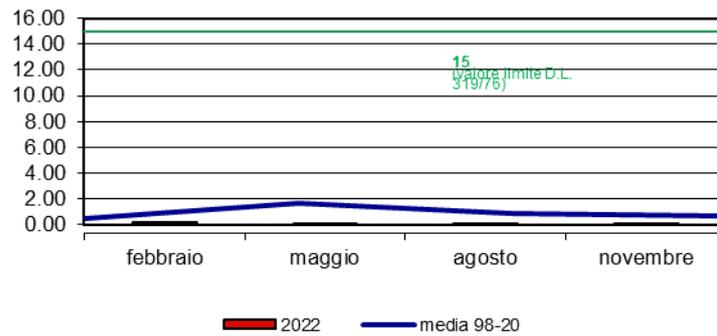
Clorofilla a ($\mu\text{g/l}$)



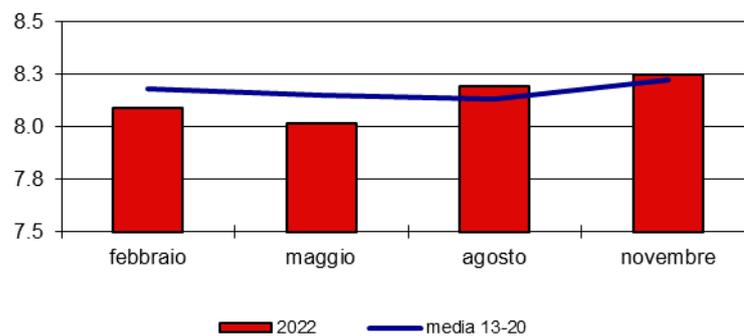
Coliformi fecali (MPN/100 ml)



Ammoniaca (mg/l)



pH



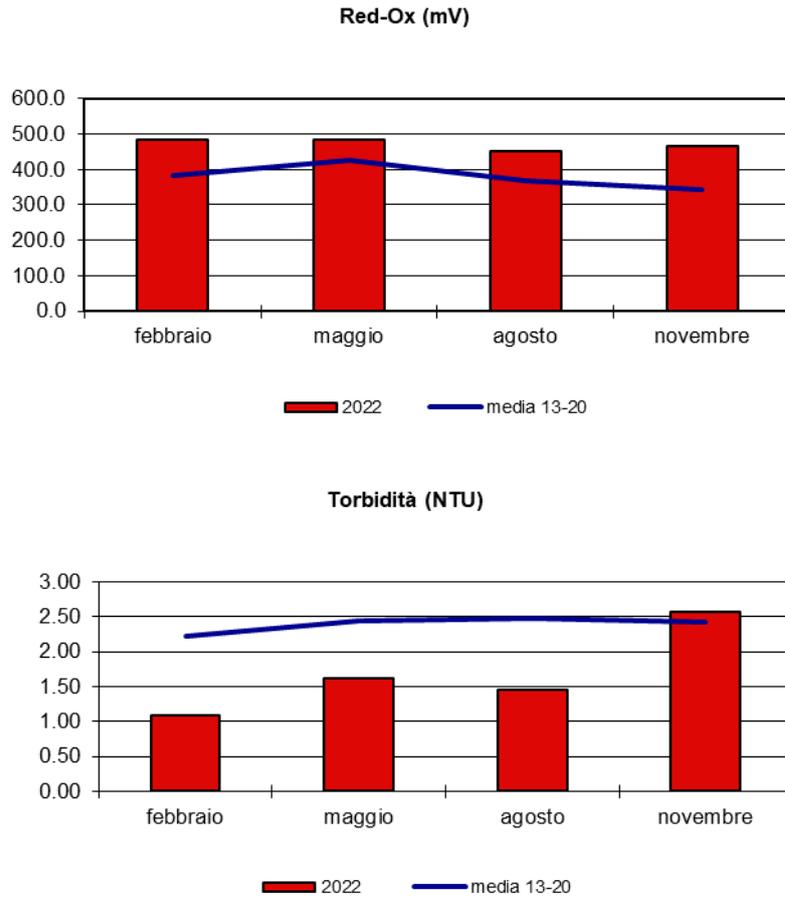


Fig. 3.20 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 34)

Foce del Chiaravagna

La stazione di campionamento posta in corrispondenza della foce del Chiaravagna è la numero 43 (vedi figura 3.21).

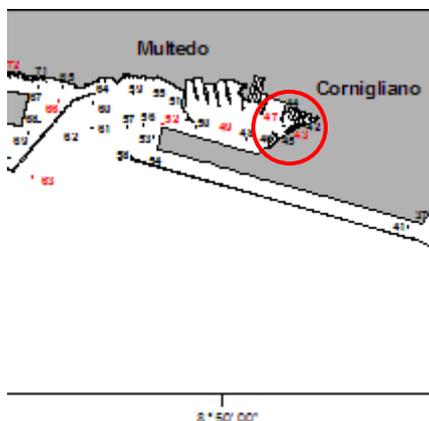


Fig. 3.21 Localizzazione della stazione numero 43, posta in corrispondenza della foce del Chiaravagna

In figura 3.22 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, Red-Ox e torbidità).

La temperatura dell'acqua segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo; rispetto alla media, nel 2022 si evidenziano in generale valori di temperatura simili o superiori.

La salinità è compresa tra 36.900 e 38.100 PSU, valori in generale leggermente superiori o simili a quelli medi, tenendo conto della variabilità di questo parametro, legata essenzialmente alla portata del Chiaravagna, a sua volta dipendente dal regime delle precipitazioni.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta sempre più elevato o simile alla media.

La concentrazione della clorofilla a presenta valori inferiori alla media in tutti i quasi mesi monitorati, nel mese di novembre si riscontrano valori leggermente superiori alla media.

Per quanto riguarda i coliformi fecali le concentrazioni sono inferiori rispetto alla media durante tutto l'anno, così come al valore limite riportato nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml).

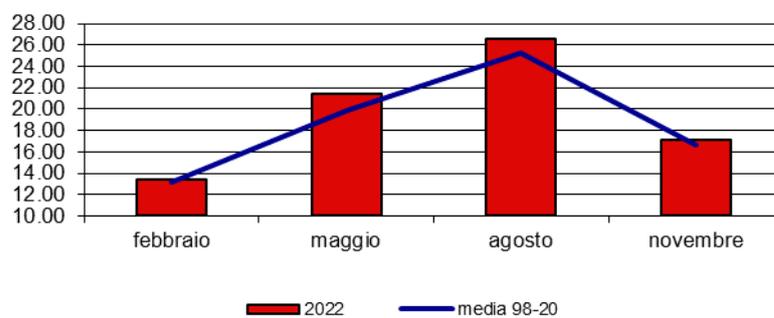
L'ammoniaca presenta valori sempre inferiori alla media e al valore limite riportato nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (15 mg/l)

Il pH presenta valori inferiori alla media nei mesi di febbraio e maggio, nei mesi di agosto e novembre si riscontrano valori superiori alla media.

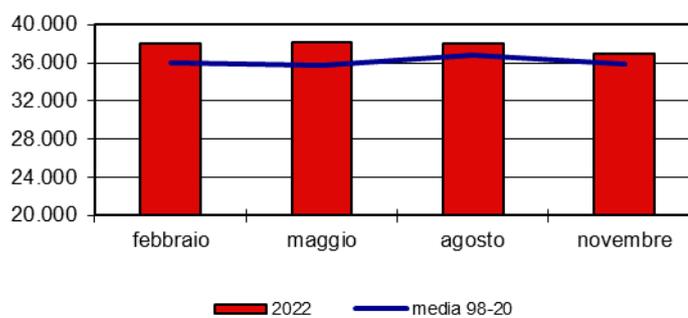
I valori di Red-Ox sono superiori alla media durante tutto l'anno.

La torbidità, durante quasi tutto l'anno, presenta valori inferiori alla media. Solo nel mese di agosto si riscontrano valori superiori alla media.

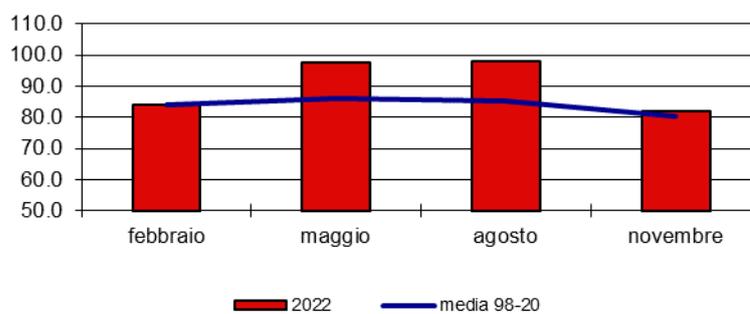
Temperatura (°C)



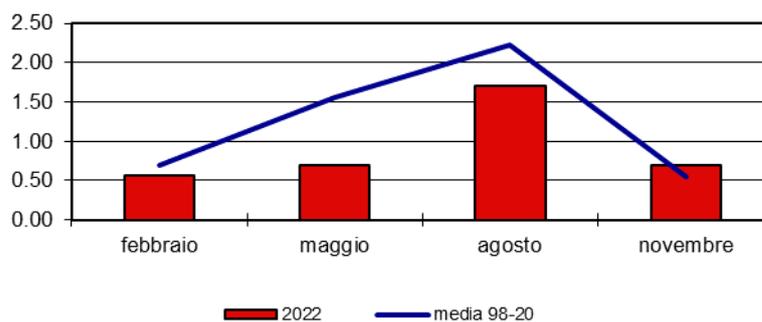
Salinità (PSU)



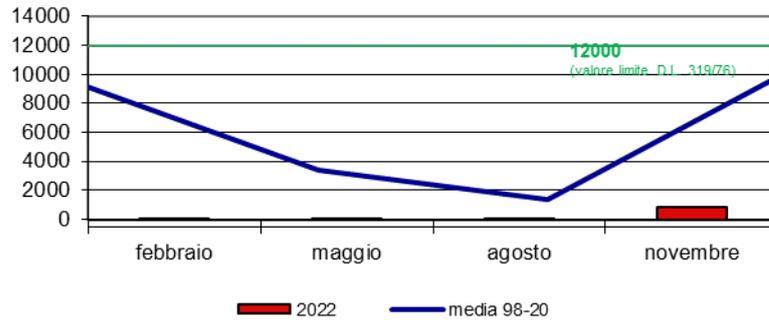
Ossigeno disciolto (% sat)



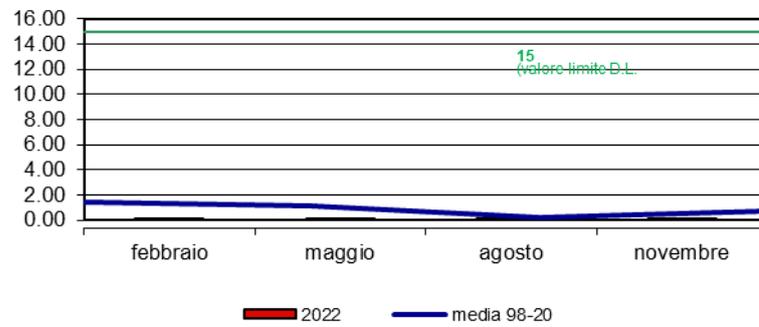
Clorofilla a (µg/l)



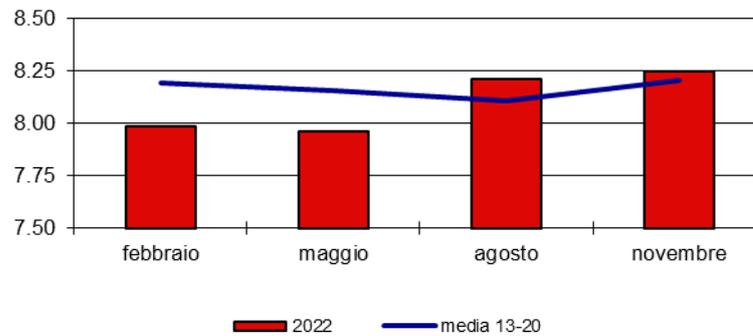
Coliformi fecali (MPN/100 ml)



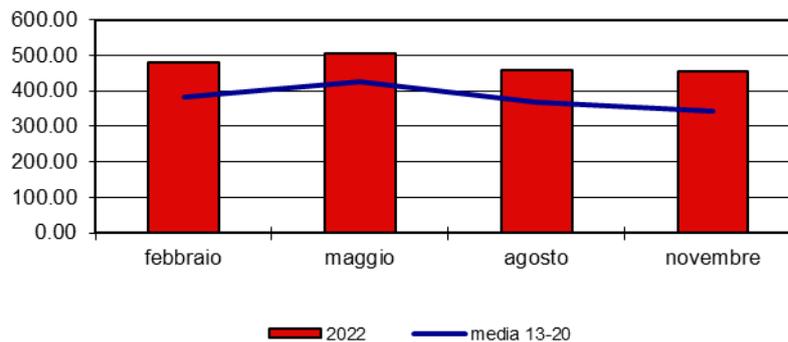
Ammoniaca (mg/l)



pH



Red-Ox (mV)



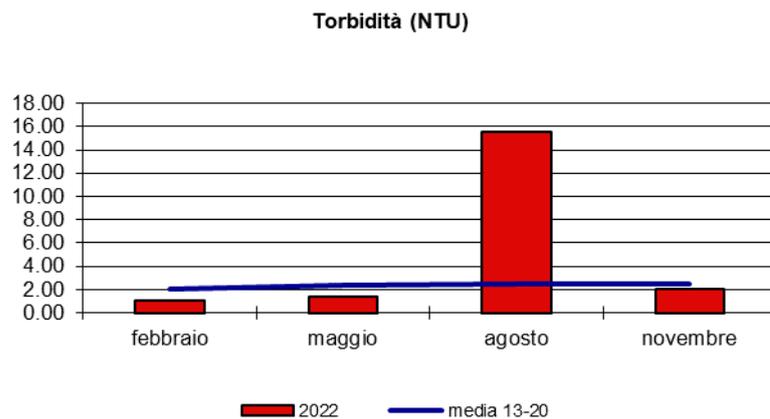


Fig. 3.22 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2022 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2020 (2013-2020 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 43)

3.3.1 Mann-Kendall Test

Sulle serie dei dati 1998-2022 (medie annuali, per i dati di Red-Ox, Ph e Torbidità sul set di dati 2013-2022) delle quattro aree considerate critiche è stata eseguita la verifica statistica della presenza di un *trend*, ovvero di una tendenza lineare all'aumento o alla diminuzione di un parametro, è stata effettuata con l'ausilio di test di significatività non parametrici basati sulla statistica della successione dei ranghi di una serie. È stato scelto il test t di Mann-Kendall (Kendall, 1962), che verifica l'ipotesi nulla (H0) di assenza di tendenza associando ai valori di *t* ricavati per ciascuna serie, un valore di probabilità α_1 che rappresenta proprio la significatività dell'ipotesi nulla. La verifica della presenza di una tendenza avviene quindi in maniera indiretta, per rifiuto dell'H0, quando la significatività α_1 della serie esaminata risulta inferiore alla soglia di accettazione α ($\alpha_1 < \alpha$), assunta in questo caso pari a 0,05. La direzione del trend, negativa o positiva, viene data dal segno delle variabili *t*.

Nella tabella 3.2 vengono riportati i trend per ciascuna stazione e per ogni parametro analizzato.

STAZIONE	T	S	O2%	AMM	COLI	CHLA	RED-OX	PH	TORB
10	+	+	/	-	/	/	+	/	-
104	+	+	/	-	-	-	+	/	-
34	-	/	+	-	-	/	+	/	-
43	/	+	+	-	-	-	+	/	/

Tabella 3.2. Test di Mann-Kendall ($\alpha=0.05$). In grassetto sono riportati i trend significativi, con il relativo segno + o -.

Osservando i dati per ogni singola stazione si può notare:

- Stazione 10: c'è un aumento della salinità, ciò può indicare un minor impatto degli scarichi di acqua dolce. Si nota inoltre una diminuzione dell'azoto ammoniacale e della torbidità indice di una minor presenza di scarichi antropici. Questa diminuzione è dovuta, probabilmente, allo spostamento verso mare dello scarico del depuratore della Darsena.
- Stazione 104: si nota un aumento della salinità, si nota inoltre una diminuzione della concentrazione dei coliformi fecali, dell'azoto ammoniacale, della clorofilla e della torbidità. Questi trend confermano come questa stazione, essendo la più esterna, sia quella più simile al mare aperto e meno influenzata dai cambiamenti del bacino portuale.

- Stazione 34: presenta un aumento della percentuale dell'ossigeno disciolto e una diminuzione dei coliformi fecali, dell'azoto ammoniacale e della torbidità a indicare un miglioramento della salute dell'area. Si nota anche una diminuzione della temperatura.
- Stazione 43: si nota un aumento della salinità e della percentuale dell'ossigeno disciolto, una diminuzione della concentrazione di azoto ammoniacale e dei coliformi fecali, a indicare un miglioramento della salute dell'area, presumibilmente dovuto ai piani di risanamento ambientali attuati in zona. Si nota inoltre una diminuzione della clorofilla a.

Quasi tutti i trend confermano quelli riscontrati precedentemente.

Considerando che la serie di dati storici disponibili è ormai decennale è possibile applicare a essa diversi metodi di analisi statistica. Nel lavoro "*Seasonal and spatial variability of water quality parameters (Port of Genoa)*" (Ruggieri *et al* 2011) è stata utilizzata, sui dati ambientali del porto raccolti dal 2000 al 2007, la dynamic factor analysis (DFA), una tecnica di analisi multivariata delle serie storiche usata per stimare trend comuni nelle serie storiche. I risultati di tale analisi confermano quelli da noi ottenuti evidenziando un generale miglioramento della qualità dell'acqua nel periodo studiato, con alcune zone che non presentano particolari trend. Inoltre inserendo le variabili meteorologiche nell'analisi statistica si nota come queste possano in parte spiegare la variabilità dei parametri dell'acqua presi in considerazione, e quindi come gli eventi meteo-marini vadano a sovrapporsi ai fattori di impatto antropico.

4 CONSIDERAZIONI FINALI

Poiché le distribuzioni spaziali dei valori medi annuali dei parametri indagati provenienti dal monitoraggio del 2022 risultano qualitativamente simili a quelle degli anni precedenti, nonostante le differenze quantitative inter-annuali, valgono le principali considerazioni fatte per il monitoraggio degli anni precedenti.

Le elaborazioni dei dati raccolti hanno confermato che l'evoluzione temporale dei parametri considerati è riconducibile in varia misura al succedersi delle stagioni, alle attività e scarichi antropici che insistono sull'area portuale e alla variabilità delle condizioni meteorologiche.

Di seguito vengono riportati i principali andamenti dei parametri monitorati e le differenze rispetto agli anni precedenti.

- La temperatura sub-superficiale dell'acqua ha presentato, nel suo andamento stagionale, una spiccata periodicità, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo, così come generalmente osservabile alle latitudini temperate. Rispetto agli anni passati, in generale la temperatura dell'acqua è stata superiore alla media durante tutto l'anno in quasi tutta la zona portuale. In tutte le stagioni nelle stazioni 24 e 25, poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel a Sampierdarena, dove normalmente si riscontrava una temperatura più elevata rispetto al resto del bacino, si notano valori inferiori a quelli solitamente trovati. Tale anomalia è dovuta alla mancanza del consueto aumento della temperatura nella zona per tutto l'anno, conseguenza della graduale dismissione della centrale termoelettrica iniziata nel 2016. In inverno e estate le anomalie negative interessano tutto il canale di Sampierdarena.
- La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci provenienti da terra; la distribuzione spaziale della salinità superficiale, infatti, evidenzia in quasi tutti i mesi i principali scarichi che interessano l'area portuale. L'evoluzione temporale di questo parametro è legata principalmente all'andamento delle precipitazioni, soprattutto per quanto riguarda la foce del Polcevera e la zona più interna del bacino di Multedo, dove sfocia il Chiaravagna; entrambi i corsi d'acqua, infatti, hanno spiccato regime torrentizio e generalmente basse portate. Anche lo scarico del depuratore in Darsena, risente del regime delle precipitazioni poiché raccoglie l'apporto della maggior parte dei piccoli rivi tombinati inseriti nel tessuto urbano. L'andamento della salinità nei bacini ha in parte seguito quello delle precipitazioni, e in generale si sono riscontrate salinità superiori alla media, soprattutto nelle zone interessate da scarichi di acqua dolce in tutte le stagioni.
- L'evoluzione stagionale dell'ossigeno disciolto è da ricercare in una combinazione dei fattori che ne determinano la concentrazione; tali fattori sono sia di natura fisica (temperatura dell'acqua), che biologica (sviluppo della biomassa fitoplanctonica), che chimica (apporto di sostanza organica, proveniente in questo caso dagli scarichi da terra). Bisogna altresì considerare che i campionamenti vengono effettuati in acque superficiali,

perciò il dato può essere maggiormente influenzato da turbolenze della massa d'acqua dovute a diversi fattori. Durante il 2022 le concentrazioni di ossigeno disciolto sono state in generale inferiori o simili alla media durante quasi tutto l'anno. Nella stagione primaverile però si trovano valori superiori alla media in quasi tutta l'area portuale.

- L'andamento della clorofilla-a nelle acque portuali segue solitamente un tipico andamento stagionale, con minimi durante il periodo autunnale-invernale e massimi raggiunti nella stagione primaverile-estiva, quando la temperatura dell'acqua diventa sufficientemente elevata e la radiazione luminosa sufficientemente intensa per favorire le fioriture fitoplanctoniche. All'interno di quest'andamento tipico, le fluttuazioni osservate sono da mettere in relazione con la variabilità degli apporti di nutrienti provenienti da terra e le caratteristiche di ciascun'area. Durante il 2022 le concentrazioni di clorofilla-a sono state vicine alla media o superiori alla media in quasi tutte le stagioni, ad eccezione della stagione primaverile dove si riscontrano anomalie negative in tutta la zona portuale.

- L'ammoniaca ha presentato in generale concentrazioni inferiori o simili agli anni precedenti.

- La concentrazione dei coliformi fecali è stata piuttosto variabile, sia nel tempo sia nello spazio. In generale durante tutto l'anno si sono notate anomalie negative o simili alla media in quasi tutta l'area, fatta eccezione per il bacino di Miltedo che presenta anomalie positive in primavera.

- Per quanto riguarda il pH si nota come la distribuzione sia piuttosto omogenea sia nel tempo sia nello spazio. Nel 2022 in generale si sono riscontrati valori superiori alla media in estate e autunno e valori inferiori alla media in inverno e primavera in tutta la zona portuale.

- Il potenziale Red-Ox presenta valori abbastanza variabili sia nel tempo sia nello spazio. In generale durante tutto l'anno in tutta la zona portuale si trovano valori superiori alla media.

- La torbidità non presenta un andamento stagionale ma è abbastanza variabile. Durante il corso dell'anno i valori risultano essere piuttosto uniformi, si sono trovati talvolta singoli punti con valori alterati, probabilmente dovuti a passaggi di navi, lavori di movimentazione dei sedimenti o forti piogge. In generale nel 2022 si sono trovati valori di torbidità inferiori alla media, ad eccezione delle stagioni estiva in cui a Voltri sono riscontrati valori anche superiori alla media.

L'analisi dei sedimenti ha evidenziato come:

- Terminal Traghetti: la presenza di metalli e IPA è significativa, così come anche la contaminazione batterica risulta essere significativa.
- Calata S. Benigno: la presenza di metalli, IPA e alcuni PCB è significativa come anche quella di microorganismi indicanti contaminazione batterica.
- Calata Massaua: la presenza di metalli e IPA è significativa come anche quella di microorganismi indicanti contaminazione batterica

- Calata Tripoli: la presenza di metalli, IPA, alcuni composti organoclorurati e PCB è significativa come anche quella di microorganismi indicanti contaminazione batterica. Anche i valori di TE, PCDD, PCDF e PCB Diossina simili sono al di sopra del valore limite. In questa zona stava però operando la draga che può aver movimentato sedimenti di profondità.

Come nel passato si sono analizzate le caratteristiche di aree considerate "critiche" all'interno dell'area portuale.

Secondo questa classificazione, i siti che presentano le maggiori criticità ambientali sono:

- Darsena
- Foce del torrente Bisagno
- Foce torrente Polcevera
- Foce del torrente Chiaravagna

Per verificare se ci siano state variazioni all'interno di queste aree critiche rispetto agli anni passati, è stato compiuto un confronto tra i dati provenienti dal 2022 e l'andamento medio (calcolato sul set di dati 1998-2020). Per i dati di pH, Red-Ox e torbidità, l'analisi è stata fatta riportando l'andamento medio calcolato sul set di dati 2013-2020. Inoltre, poiché all'interno o in prossimità delle acque portuali sono presenti i punti di scarico di alcuni dei depuratori delle acque reflue urbane, si è verificato se sono stati superati i valori limite di legge.

In quasi tutte le aree definite a rischio, rispetto agli anni passati, si sono notati leggeri miglioramenti. E', infatti, in generale diminuito il numero di campionamenti in cui sono stati superati i limiti di legge per quanto riguarda le concentrazioni di coliformi fecali e la concentrazione di ammoniaca è sempre stata notevolmente sotto il valore limite di legge.

Il monitoraggio effettuato fino ad oggi nel Porto di Genova è scaturito dalla consapevolezza dei potenziali impatti negativi connessi con le attività portuali e con la presenza di scarichi idrici, sia naturali sia non, e quindi dalla volontà di salvaguardare l'ambiente e di prevenire la contaminazione della colonna d'acqua e qualunque impatto negativo sul comparto biotico, nonché dalla necessità di controllare che, nel caso siano riscontrati disturbi all'ambiente, siano utilizzati tutti gli accorgimenti necessari a minimizzarli.

Per una migliore caratterizzazione dell'area sarebbe consigliabile in futuro prevedere, oltre ai campionamenti che già vengono effettuati, misure di profili lungo l'intera colonna d'acqua, almeno per le aree più significative (scarichi depuratori, foci dei torrenti).

Infatti, alcuni studi effettuati nel Porto di Genova hanno dimostrato come in diversi periodi stagionali e in determinate aree portuali si riscontra una stratificazione della massa d'acqua, che porta a una differenziazione delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque di superficie

e di fondo non rilevabile dal tipo di monitoraggio fino a oggi effettuato (Povero et al., 2005, Ruggieri et al., 2005). Inoltre, sono proprio le acque di fondo che molto spesso presentano le maggiori alterazioni, soprattutto a carico della concentrazione dell'ossigeno disciolto, della sostanza organica e dei nutrienti.

Per una maggior conoscenza delle dinamiche sia dei sedimenti sia delle masse d'acqua sarebbe opportuno disporre di una banca dati in continuo aggiornamento delle batimetrie dei fondali dell'area portuale, anche per poter intervenire in maniera tempestiva con eventuali dragaggi.

Il monitoraggio della qualità dell'acqua dei corpi idrici è condotto sempre più spesso utilizzando reti di stazioni di misura automatica e in continuo. L'impiego di questi sistemi di rilevamento offre la possibilità, diversamente dai tradizionali sistemi di monitoraggio periodico, di sorvegliare in tempo reale alcuni fenomeni che avvengono su scala temporale breve e che hanno un effetto rilevante sullo stato dell'ecosistema acquatico.

Un ulteriore miglioramento del monitoraggio si potrebbe ottenere utilizzando una o più boe oceanografiche, da posizionare in aree particolari del Porto, che forniscano in continuo dati ambientali utili a monitorare situazioni critiche.

Un altro aspetto interessante da sviluppare sarebbe il monitoraggio della presenza di idrocarburi e di altri inquinanti, tramite l'analisi di immagini ottenute attraverso l'uso di sensoristica montata su droni aerei, così da poter arrivare in aree difficilmente raggiungibili dalle imbarcazioni. Questo tipo di monitoraggio permetterebbe di fronteggiare in maniera più tempestiva ed efficace eventuali inquinamenti accidentali e di poter controllare il ritorno a una situazione di normalità in seguito alle operazioni di disinquinamento.

Si rimanda ai prossimi anni la valutazione sulla cadenza temporale del campionamento, passata nel 2021 da mensile a trimestrale, così da poter valutare se sono sufficienti gli attuali campionamenti o se sarebbe meglio incrementarli tornando a una cadenza mensile.

BIBLIOGRAFIA

<http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/>

Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale. <https://www.portsofgenoa.com/it/>

DICAT-1998-2015 Meteorologic data. In: <http://www.dicat.unige.it/meteo/>

Eurometeo. <http://www.eurometeo.it>

Kendall M.G., 1962. Rank correlation methods. 3rd ed, Hafner Publishing Company New York.

HOLM-HANSEN O., LORENZEN C.J., HOLMES R.W. & STRIKLAND J.D.H. (1965):

"Fluorimetric determination of chlorophyll", J.Cons.Perma.Int.Explor.Mer., 30, 3-15

IRSA/CNR: METODI PER LA DETERMINAZIONE DI MICROORGANISMI INDICATORI DI INQUINAMENTO E DI PATOGENI <http://www.irsa.cnr.it/Metodi/>

IRSA/CNR: METODI PER LA DETERMINAZIONE DI COSTITUENTI INORGANICI NON METALLICI <http://www.irsa.cnr.it/Metodi/>

ISPRA Metodologie di studio del plancton marino, n. 56 – 2010

Povero P., Ruggieri N., Misic C., Castellano M., Rivaro P., Conio O., Derqui E., Maggi S., Fabiano M., (2005). Port of Genoa. LOICZ Report & Studies No. 28, 1-157 pages, LOICZ, Texel, the Netherlands.

RETE MAREOGRAFICA NAZIONALE <https://www.mareografico.it/>

Ruggieri N., Castellano M., Capello M, Maggi S., Povero P. (2011). Seasonal and spatial variability of water quality parameters (Port of Genoa). Marine Pollution Bulletin 62, 340–349

Ruggieri N., Castellano M., Taruffi M., Fabiano M., Misic C., Maggi S., Povero P., (2005). Water and Nutrients Budget in a Semi-enclosed area of the coastal Ligurian Sea: the Port of Genoa. LOICZ II Inaugural Open Science Meeting, Egmond aan Zee, Netherlands, 27-29 June.

APPENDICE 1

