



Servizi Ecologici Porto di Genova s.r.l.

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 2017***

Agosto 2018

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
3 RISULTATI E DISCUSSIONE	8
3.1 Caratteristiche generali del sistema portuale	8
3.2 L'anno 2017	12
3.2.1 Il clima	13
3.2.2 I parametri chimico-fisici e biologici	17
3.2.2.1 Variabilità temporale	17
3.2.2.2 Variabilità spaziale	30
3.3 Le aree "critiche": confronto con gli anni precedenti	34
3.3.1 Mann-Kendall Test	56
4 CONSIDERAZIONI FINALI	58
BIBLIOGRAFIA	62
APPENDICE	63

1 INTRODUZIONE

L'Autorità Portuale di Genova 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 mensili 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.

I dati raccolti durante l'anno 2017 rappresentano il monitoraggio condotto eseguendo campionamenti mensili in circa 110 stazioni con acquisizione dei principali parametri chimico-fisici tramite sonda multiparametrica e sono già stati riportati in una serie di relazioni mensili.

La relazione annuale sullo stato delle acque portuali genovesi ha lo scopo di presentare tutti i risultati relativi al 2017, 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 mensilmente 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 Figura 2.1 si riporta l'ubicazione dei punti di campionamento.

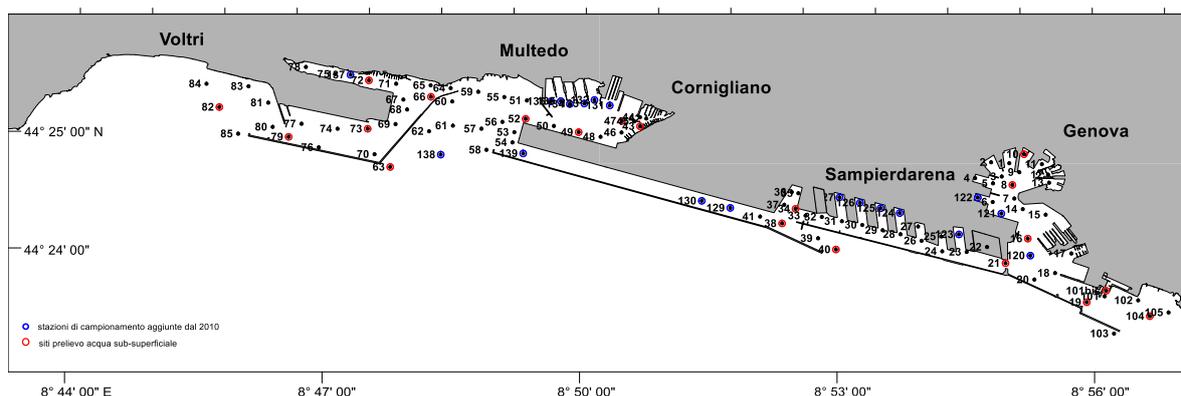


Fig. 2.1 Punti di campionamento dell'anno 2017 in rosso sono evidenziati i punti in cui vengono prelevati campioni d'acqua sub-superficiale e in blu i punti introdotti da ottobre 2010.

Il mezzo utilizzato per il monitoraggio è l'imbarcazione Miriana (Fig. 2.2).



Fig. 2.2 Miriana.

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. 2.3).



Fig. 2.3 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 dal "Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio dell'Università di Genova" (www.dicat.unige.it), dal sito di meteorologia Eurometeo (www.eurometeo.com) e 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 dell'IREN ACQUA GAS 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 ACQUA GAS 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 1 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.

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Tutti i risultati provenienti dal monitoraggio effettuato nell'anno 2017 sono riportati nelle relazioni mensili e trimestrali (CD allegato); le rappresentazioni grafiche mensili 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 15 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.

Negli anni passati 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 distinguono per la temperatura più elevata di circa 1-5 °C rispetto al resto del bacino, nel 2017 questa situazione non si è invece verificata, a causa della 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 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. 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.

Lo scarico del depuratore in Darsena, pur risentendo del regime delle precipitazioni poiché raccoglie l'apporto della maggior parte dei piccoli rivi tombinati inseriti nel tessuto urbano del centro storico di Genova, ha comunque una portata tale da influire sulla salinità del corpo recettore a prescindere dalla frequenza e dall'intensità delle piogge.

Nel bacino di Prà-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 Prà, 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 stimolate 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), che 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, 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 al 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.

Sulla base del set di dati proveniente dal monitoraggio portuale tramite l'utilizzo di alcune analisi statistiche multivariate (analisi delle componenti principali e l'analisi dei fattori principali) si è giunti a una classificazione dei diversi siti all'interno dei tre bacini portuali. Si riportano qui di seguito i principali risultati ottenuti, rimandando alla relazione annuale relativa all'anno 2006 per una più completa trattazione delle analisi statistiche utilizzate.

L'analisi delle componenti principali ha evidenziato che i siti possono essere classificati e, quindi raggruppati, sulla base della qualità delle acque, definita come combinazione lineare delle concentrazioni dei parametri monitorati; tale classificazione è interpretabile in chiave geografica, in funzione della vicinanza dalle principali sorgenti puntuali, quali le foci dei torrenti, i depuratori e la zona industriale, e della vicinanza con le bocche del porto.

Nell'area portuale che si estende dalla foce del Bisagno alla foce del Polcevera, le stazioni più interne e poste in corrispondenza dei principali apporti da terra di tipo civile tipo il depuratore (9-12, colore arancione) si caratterizzano per basse concentrazioni di ossigeno

disciolto, basso pH e alta torbidità. Le stazioni 36 e 37 (colore rosso), poste in corrispondenza della foce del Polcevera, si distinguono per la salinità e il potenziale Red-Ox meno elevati.

Le stazioni 101-105 (colore blu), più influenzate dal mare aperto, sono caratterizzate da una diminuzione della torbidità e da un aumento di salinità e ossigeno.

Anche nel bacino di Multedo le stazioni più interne e poste in corrispondenza dei principali apporti da terra (42-44, colore arancione) si raggruppano e le altre stazioni si distribuiscono seguendo il gradiente interno-esterno del bacino, con torbidità decrescente e aumento dell'ossigeno disciolto.

Le stazioni poste davanti a Voltri, fuori dall'imboccatura portuale (82,85,63,56, colore blu), sono caratterizzate da un aumento della salinità e dell'ossigeno e da una diminuzione della torbidità.

Le stazioni 54, 139 (verde) più vicine alla pista dell'aeroporto, quindi più influenzate dall'acqua dolce proveniente dal Polcevera e convogliata nel canale di calma presentano valori più bassi di salinità e pH.

In figura 3.1 a e b sono riportate le analisi delle componenti principali riferite al bacino di Genova (a) e al bacino di Multedo-Prà-Voltri (b). Ogni gruppo è evidenziato con colore diverso nel grafico.

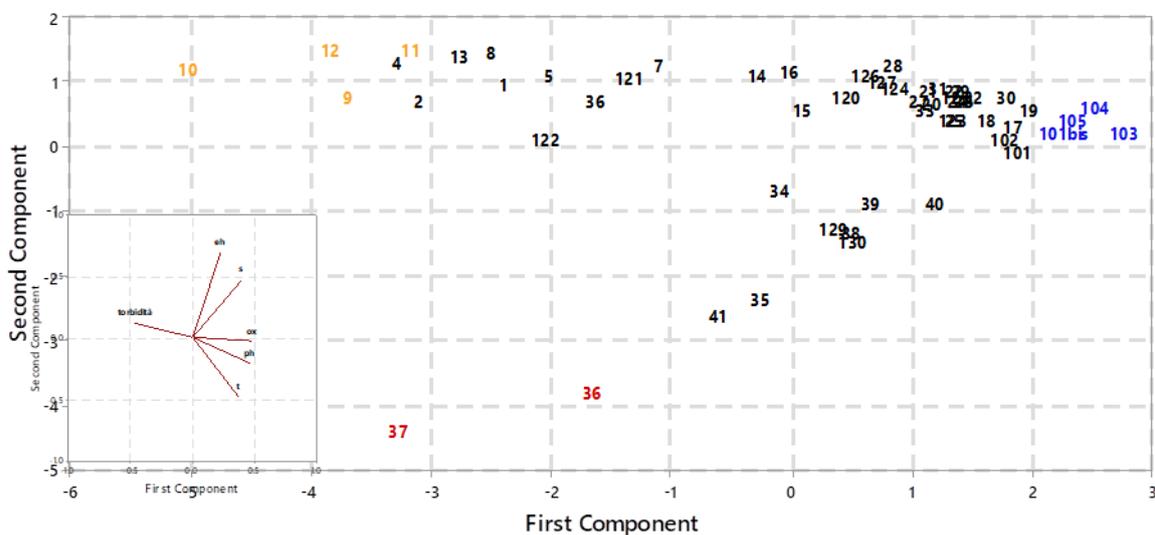


Fig. 3.1 a

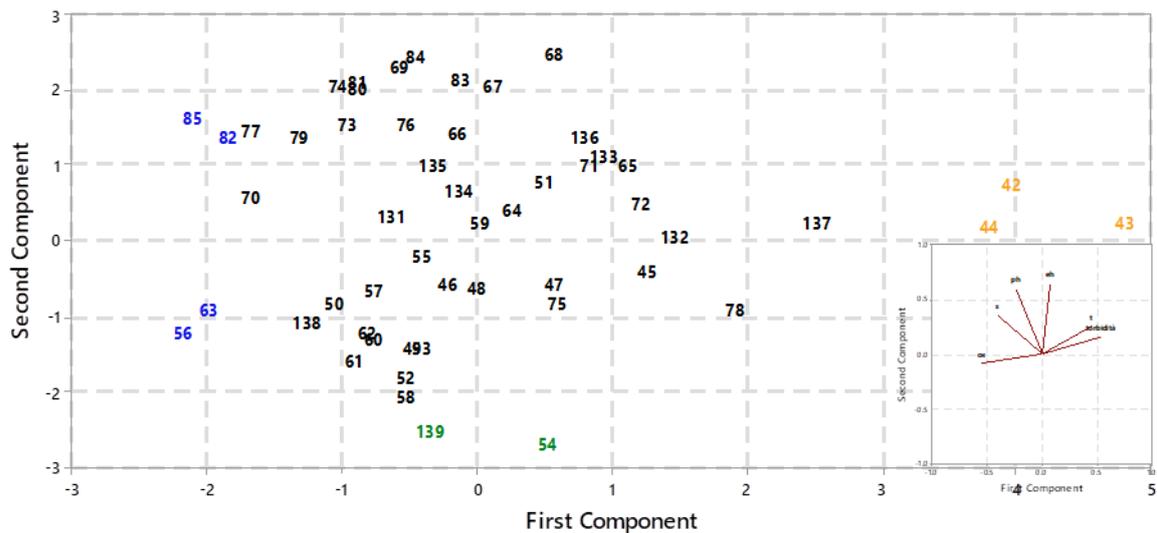


Fig. 3.1 b

Fig. 3.1 a-b analisi delle componenti principali porto di Genova

3.2 L'anno 2017

La sequenza di eventi descritti nella sezione 3.1, così come la classificazione delle stazioni del monitoraggio, è stata riscontrata in maniera evidente anche nel 2017, seppure con alcune variazioni. Maggiori dettagli sui dati raccolti nel 2017 sono riportati in appendice.

Per meglio evidenziare la presenza di alcune differenze nei risultati del monitoraggio relativo all'anno 2017 rispetto agli anni precedenti, si riportano le distribuzioni spaziali delle anomalie stagionali dei parametri, calcolate rispetto ai dati 1998-2016. Per quanto riguarda i valori di pH, Red-Ox e torbidità le anomalie sono state calcolate rispetto ai dati 2013-2016. Il confronto tra le anomalie stagionali 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 2017, confrontati anche con i dati storici.

3.2.1 Il clima

In figura 3.2 sono riportati l'andamento della temperatura atmosferica durante il 2017 e le anomalie rispetto alla media storica.

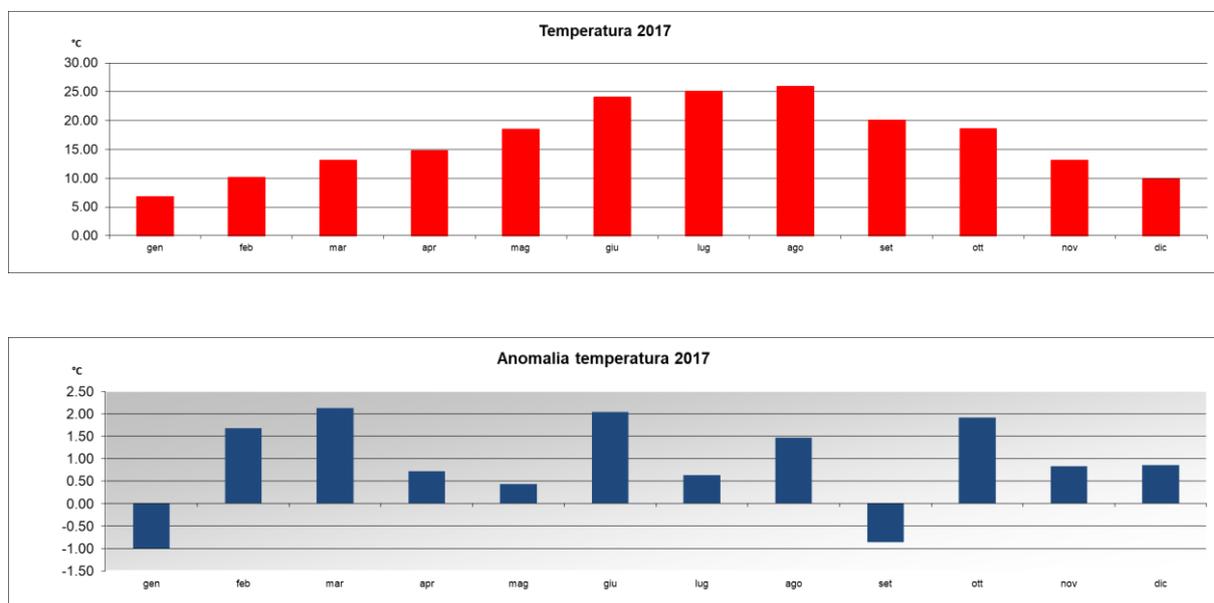


Fig. 3.2 Distribuzione delle temperature atmosferiche e anomalie della temperatura atmosferica nel 2017

Per quanto riguarda la temperatura atmosferica, l'anno 2017 segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo. In generale è stato caratterizzato da temperature abbastanza discordanti dalla media. Durante quasi tutto l'anno le temperature sono state superiori alla media, tranne che per i mesi di gennaio e settembre che presentano temperature inferiori alla media.

In figura 3.3 sono riportati l'andamento delle precipitazioni durante il 2017 e le anomalie rispetto alla media storica. Sono riportati inoltre i giorni di pioggia per ogni mese.

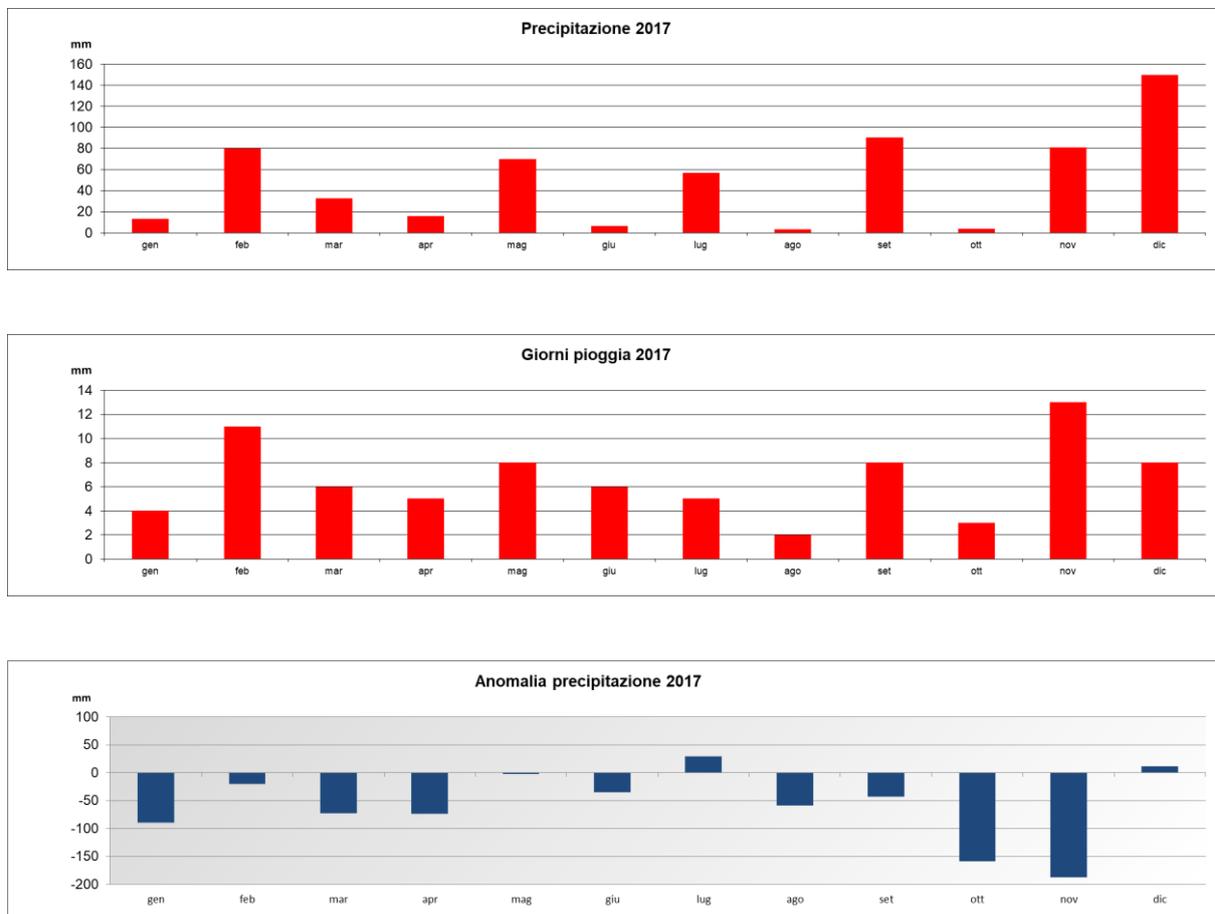


Fig. 3.3 Distribuzione delle precipitazioni, dei giorni di pioggia e anomalie delle precipitazioni nel 2017.

L'anno 2017 presenta un regime delle piogge in linea con il normale andamento stagionale, dove i mesi più piovosi, sia per quantità di pioggia caduta sia per il numero di giorni piovosi, sono quelli autunnali e invernali. In generale il 2017 è stato caratterizzato da precipitazioni inferiori alla media tranne che per i mesi di luglio e dicembre, dove si sono riscontrate precipitazioni leggermente superiori alla media.

In figura 3.4 sono riportate le rose dei venti mensili del 2017

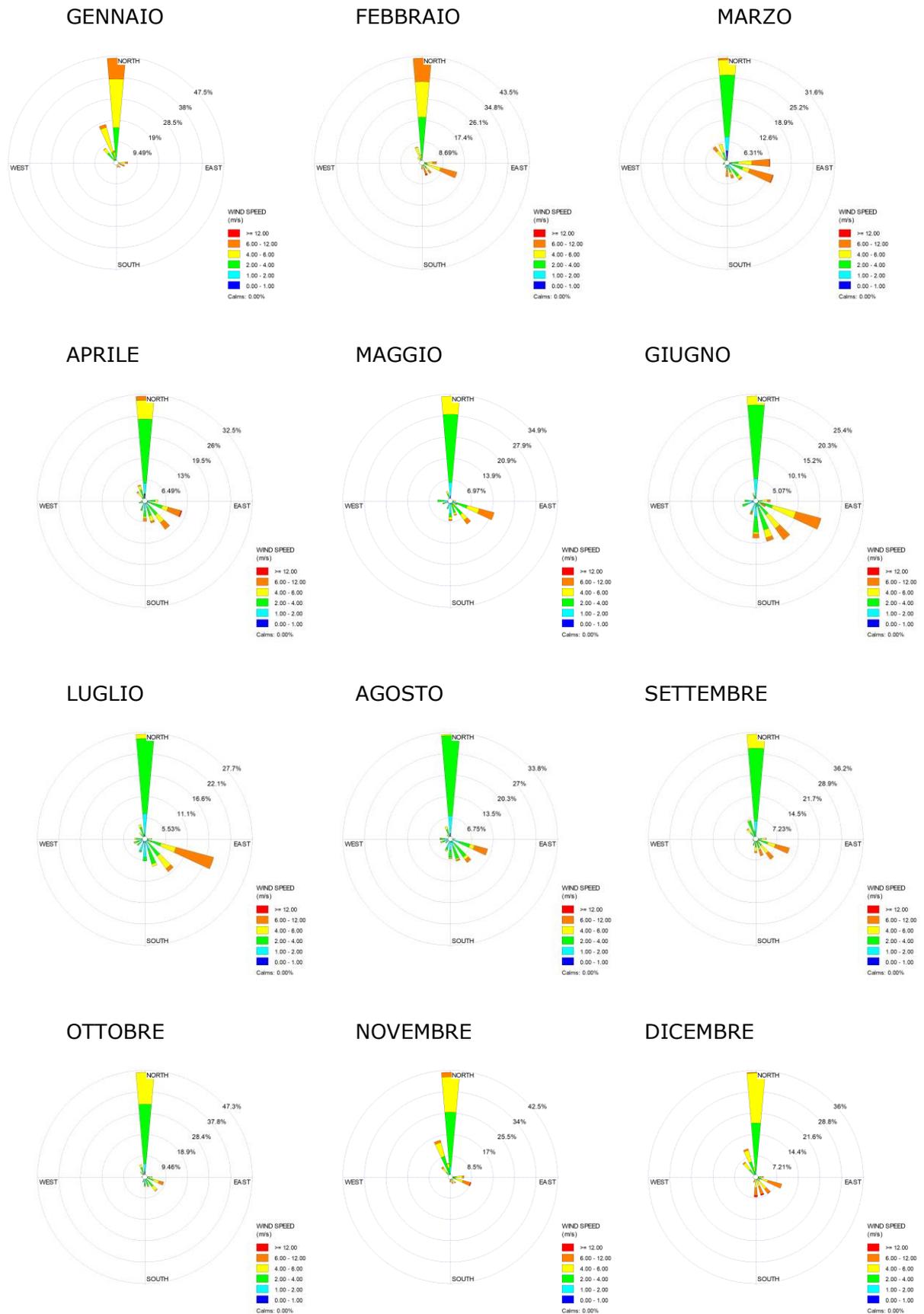


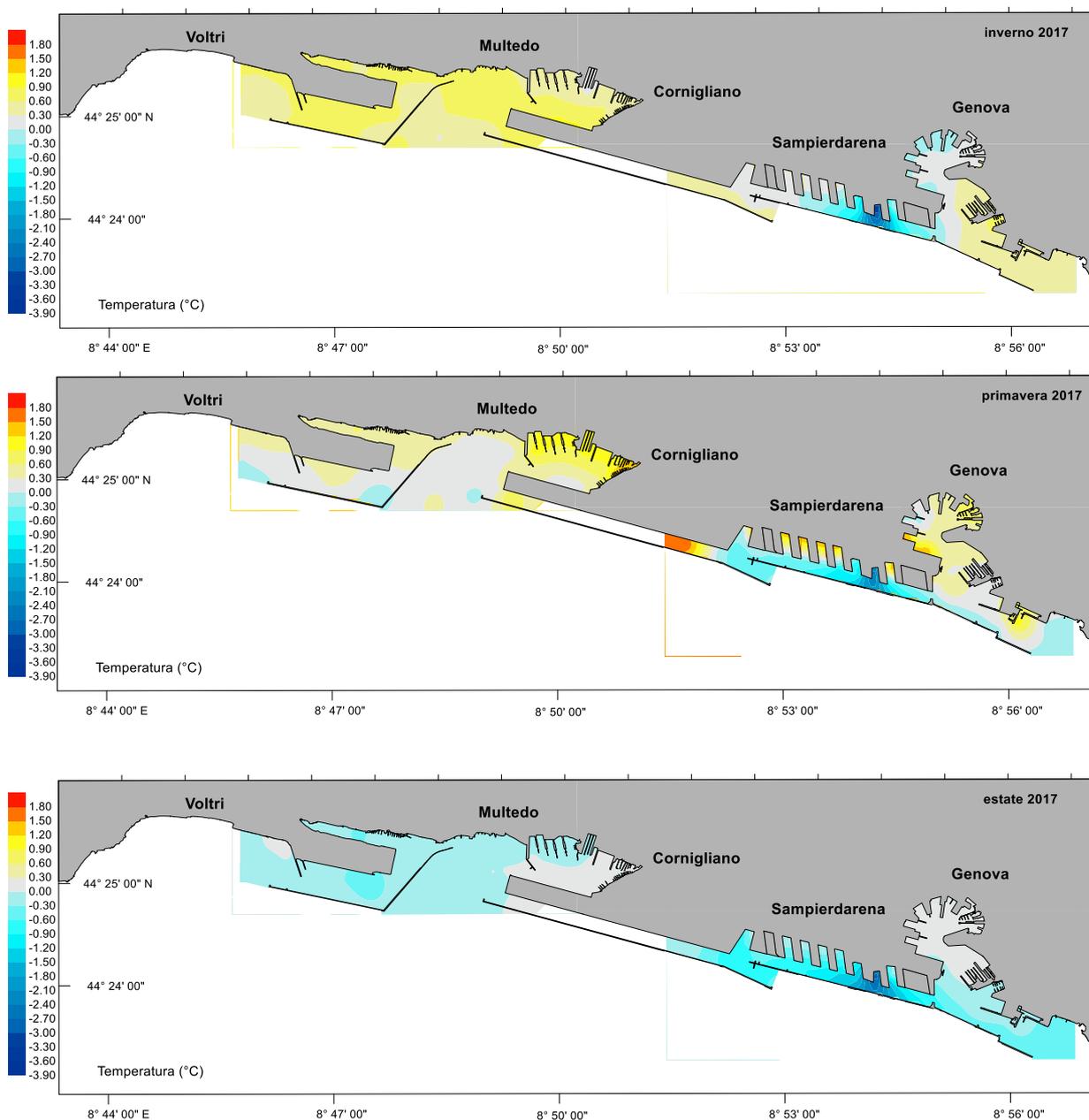
Fig. 3.4 Distribuzione dei venti nel 2017.

Durante il 2017 si riscontra un regime dei venti, da deboli a molto forti e con provenienza abbastanza variabile. Prevalentemente si riscontrano venti provenienti da N. 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

3.2.2.1 Variabilità temporale

In Fig. 3.5 sono riportate le anomalie della temperatura delle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



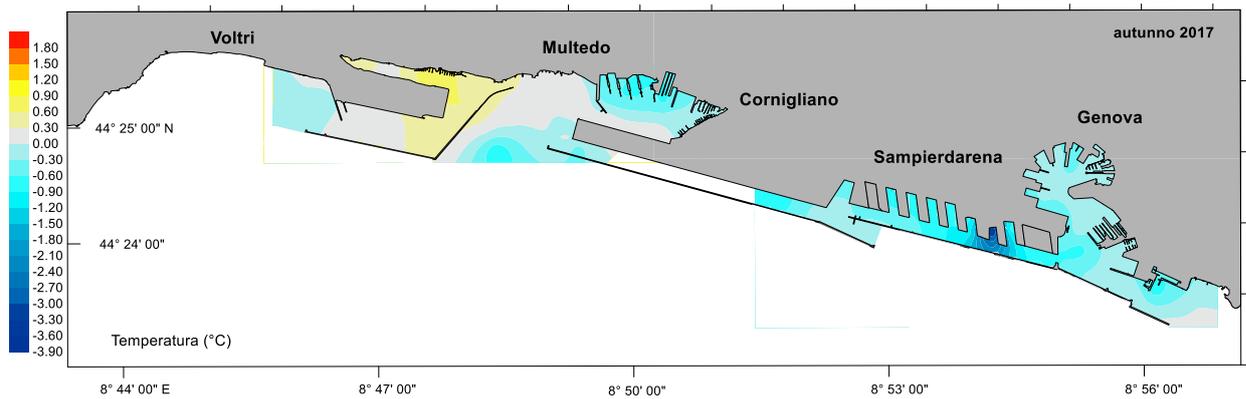


Fig. 3.5 Distribuzione spaziale delle anomalie della temperatura dell'acqua nel 2017

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

- In inverno si trovano anomalie positive o vicine allo zero in tutta l'area dei bacini di Multedo e Prà-Voltri, nell'area che va da calta delle Grazie a Punta Vagno e alla foce del Polcevera. Si riscontrano anomalie negative all'interno del Porto Antico e nella zona davanti alla centrale dell'Enel.
- In primavera si notano anomalie positive o vicine allo zero in tutta l'area dei bacini di Multedo e Prà-Voltri. Si riscontrano anomalie positive anche nell'area del Porto Antico e in quella della Fiera, e in maniera più marcata all'imboccatura di levante del canale di calma dell'aeroporto. Presso Punta Vagno e nella zona davanti alla centrale dell'Enel si notano anomalie negative.
- In estate si riscontrano anomalie leggermente negative o vicine allo zero in quasi tutta la zona portuale, in particolare nella zona antistante la centrale dell'Enel.
- In autunno si riscontrano anomalie negative o vicine allo zero in quasi tutta l'area, fatta eccezione per la zona del canale di Prà dove si riscontrano anomalie positive.

Per tutte le stagioni, tranne che per quella estiva, l'andamento delle anomalie della temperatura dell'acqua è abbastanza in accordo con quello delle anomalie della temperatura atmosferica.

In Fig. 3.6 sono riportate le anomalie della salinità delle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).

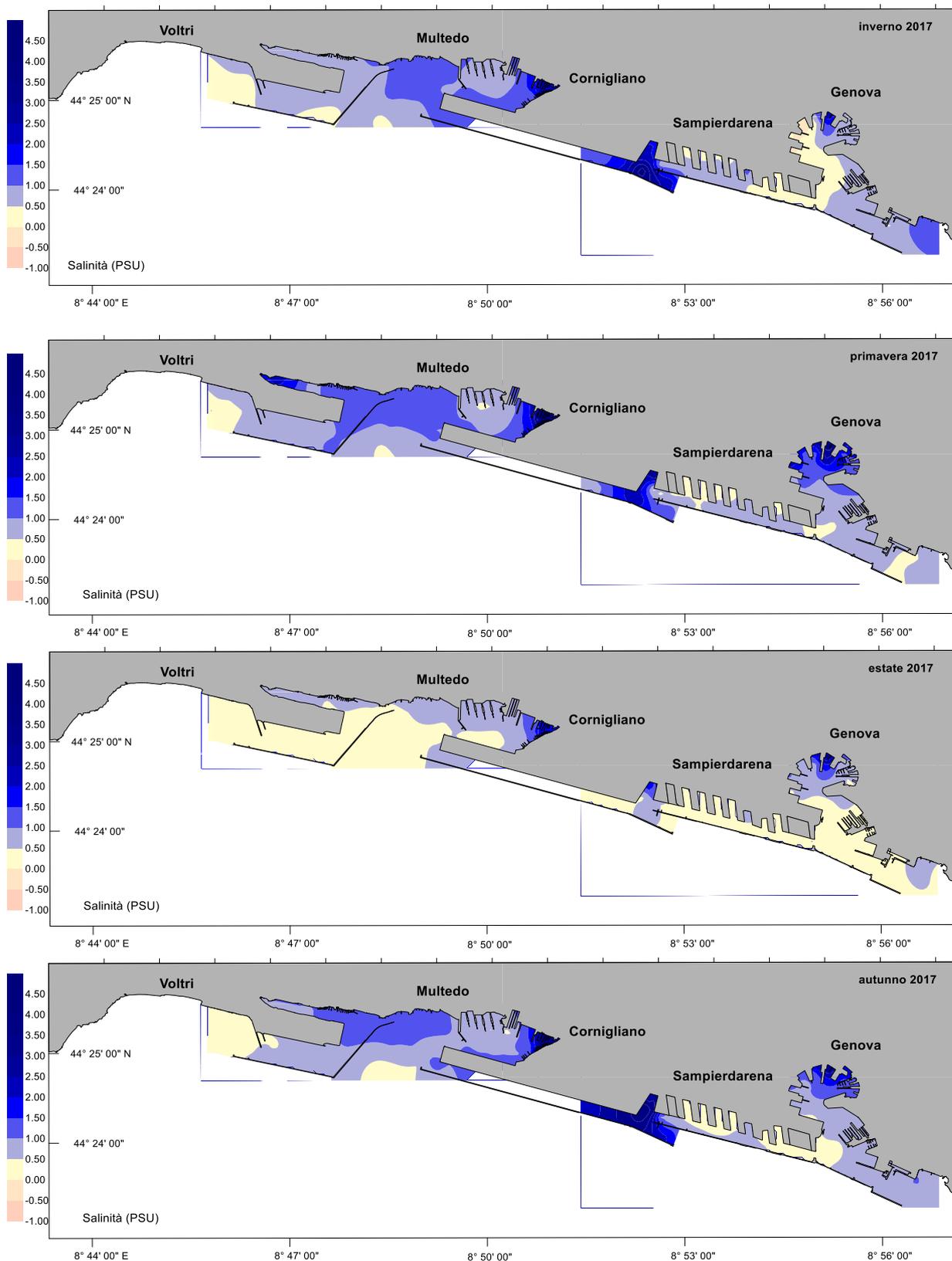


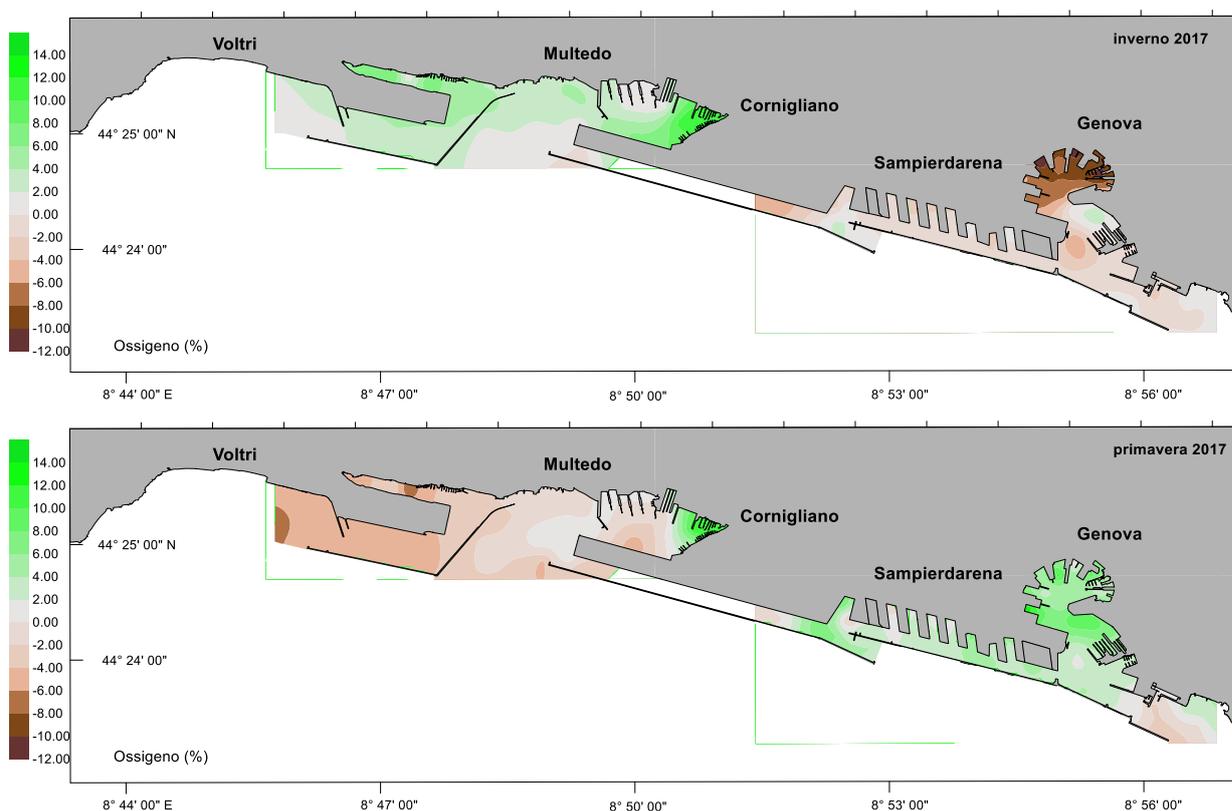
Fig. 3.6 Distribuzione spaziale delle anomalie della salinità e delle precipitazioni atmosferiche nel 2017

Analizzando le anomalie della salinità possiamo notare che:

- In inverno si sono riscontrate anomalie positive in quasi tutta l'area portuale, in maniera più marcata alle foci dei torrenti Polcevera e Chiaravagna. Nell'area del terminal traghetti si trovano anomalie leggermente negative.
- In primavera si notano anomalie positive o intorno allo zero in tutto il porto. Nelle zone più influenzate da apporti di acque dolci, cioè la foce del Polcevera, il Porto Antico e la foce del Chiaravagna le anomalie sono marcatamente superiori alla media.
- In estate le anomalie sono positive o intorno allo zero in tutta l'area, in particolare nella la zona della Darsena si notano anomalie marcatamente positive.
- In autunno quasi tutta la zona è interessata da anomalie positive o intorno allo zero; in particolare alla foce del Polcevera, nella zona del Porto Antico e alla foce del Chiaravagna le anomalie sono marcatamente positive.

L'andamento delle anomalie della salinità è abbastanza in accordo con quello delle anomalie delle precipitazioni, anche se 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. 3.7 sono riportate le anomalie della percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto nelle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



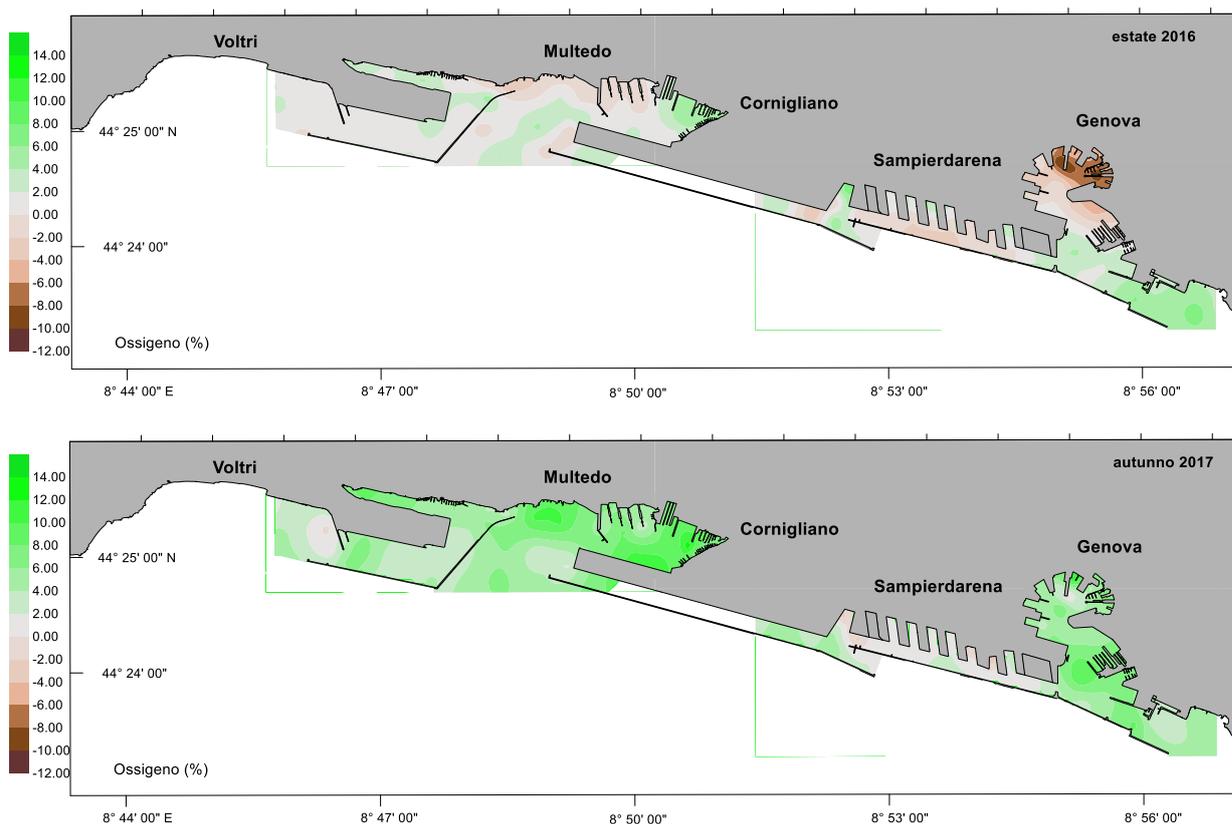


Fig. 3.7 Distribuzione spaziale delle anomalie della percentuale di saturazione dell'ossigeno nel 2017

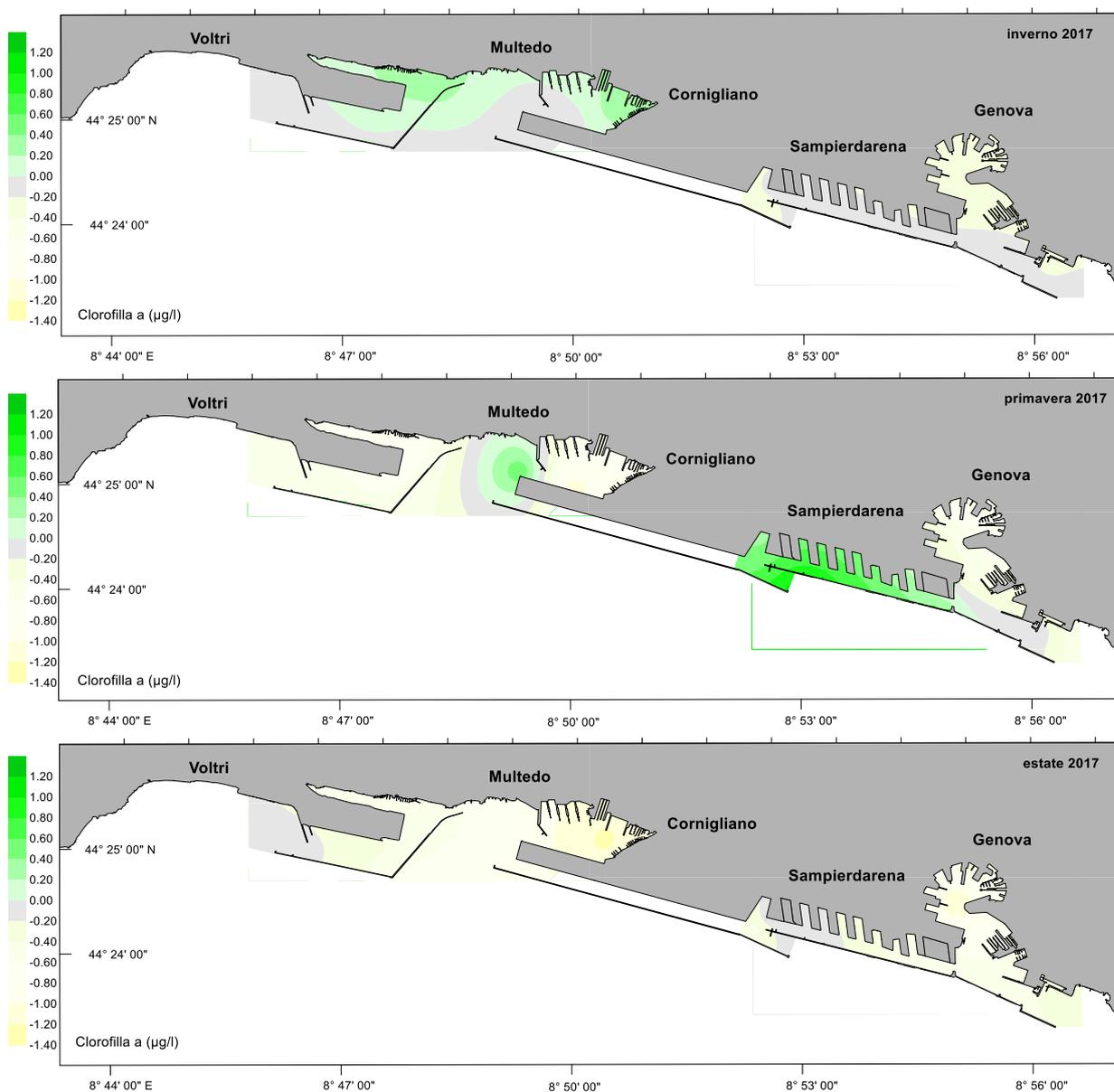
Considerando l'ossigeno disciolto, espresso come anomalia della percentuale di saturazione, possiamo evidenziare:

- In inverno sono presenti anomalie positive nei bacini di Multedo e Volti-Prà. Nel bacino di Genova le anomalie sono negative o prossime allo zero, nella zona del Porto Antico si trovano valori molto inferiori alla media.
- In primavera si notano anomalie positive alla foce del Chiaravagna e in quasi tutto il bacino di Genova. Nelle restanti zone dei bacini di Multedo e Voltri-Prà e nella zona di Punta Vagno le anomalie sono negative.
- In estate si riscontrano anomalie leggermente positive o prossime allo zero in quasi tutta nei bacini di Multedo e Voltri-Prà. Presso la foce del Polcevera e la zona di Punta Vagno le anomalie sono positive. Nella zona del Porto Antico si notano anomalie negative, nelle restanti zone del bacino di Genova si anno anomalie prossime allo zero.
- In autunno si notano anomalie positive in tutta l'area portuale, fatta eccezione per la foce del Polcevera dove si notano anomalie leggermente negative.

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. 3.8 sono riportate le anomalie della concentrazione di clorofilla a nelle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



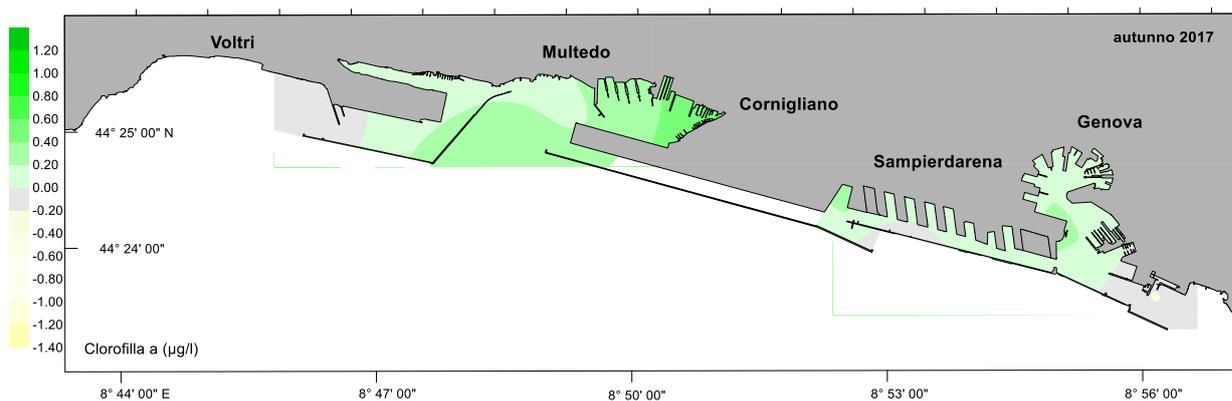
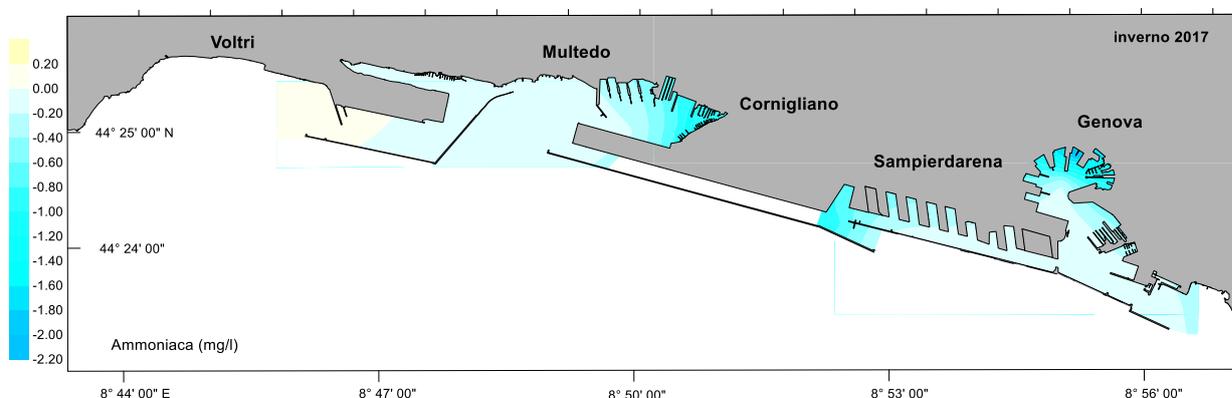


Fig. 3.8 Distribuzione spaziale delle anomalie della clorofilla a nel 2017

Considerando le anomalie della clorofilla-a possiamo osservare:

- In inverno le anomalie sono prossime allo zero o leggermente positive in tutta l'area portuale.
- In primavera si riscontrano anomalie prossime allo zero o leggermente positive nei bacini di Multedo e Voltri-Prà e nella zona compresa tra Punta Vagno e il Porto Antico. All'imboccatura del bacino di Multedo e nella zona da Sampierdarena alla foce del Polcevera si evidenziano anomalie marcatamente positive.
- In estate, in quasi tutta l'area portuale si riscontrano anomalie prossime allo zero. Solo alla foce del Chiaravagna e nella zona del Porto Antico si evidenziano anomalie negative.
- In autunno le anomalie sono positive o prossime allo zero in tutta la zona portuale.

In Fig. 3.9 sono riportate le anomalie della concentrazione di ammoniaca nelle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



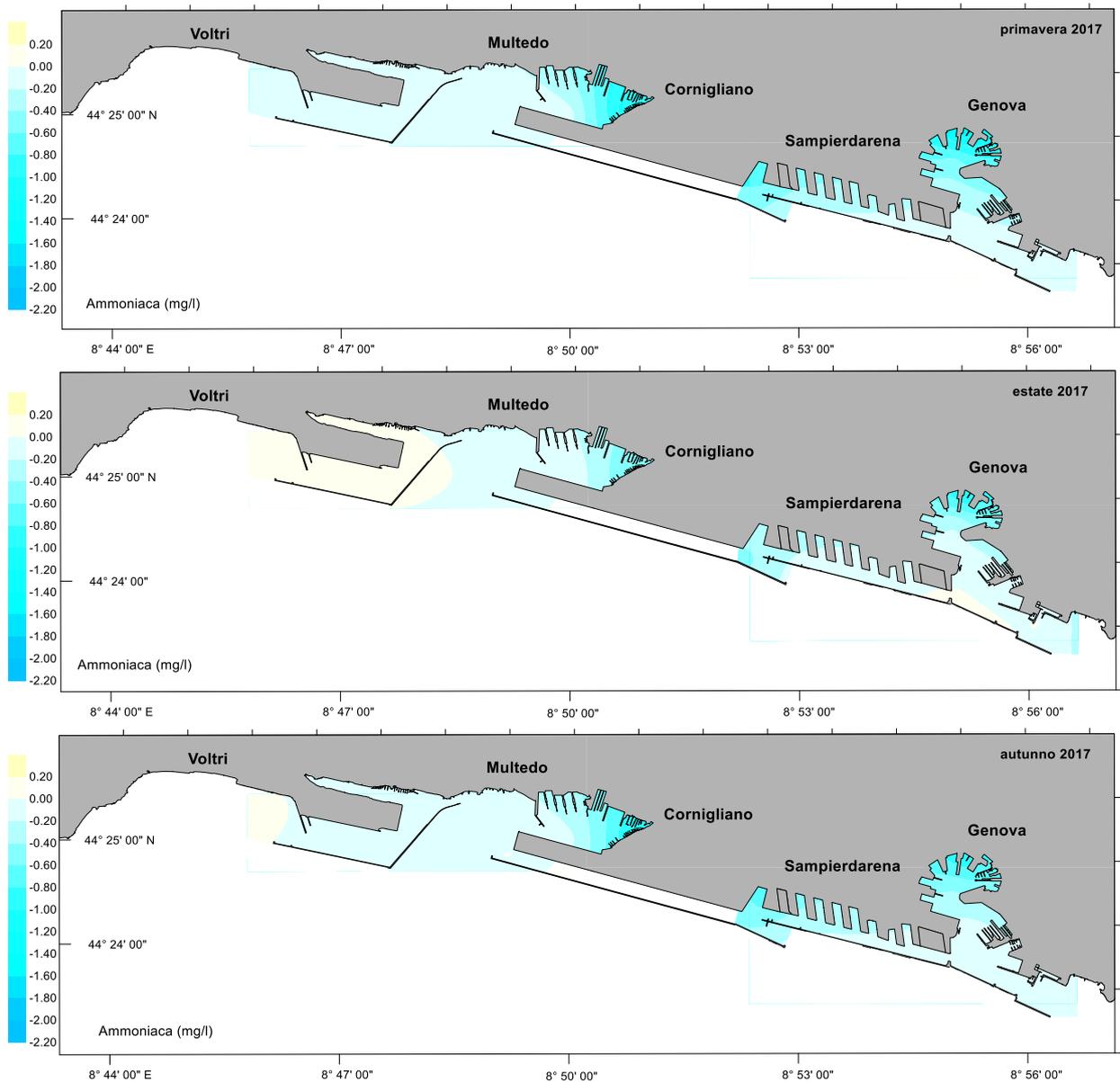


Fig. 3.9 Distribuzione spaziale delle anomalie dell'ammoniaca nel 2017

Analizzando le anomalie dell'ammoniaca possiamo notare:

- In inverno le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area portuale. In particolare le anomalie sono più marcatamente negative alle foci del Chiaravagna e del Polcevera e nella zona del Porto Antico.
- In primavera le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area portuale. In particolare le anomalie sono marcatamente negative alle foci del Chiaravagna e del Polcevera e nella zona del Porto Antico.
- In estate le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area portuale. Nel bacino di Voltri e all'imboccatura del Porto Antico si trovano anomalie leggermente positive.
- In autunno in tutta l'area le anomalie sono negative.

In Fig. 3.10 sono riportate le anomalie della concentrazione dei coliformi fecali nelle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).

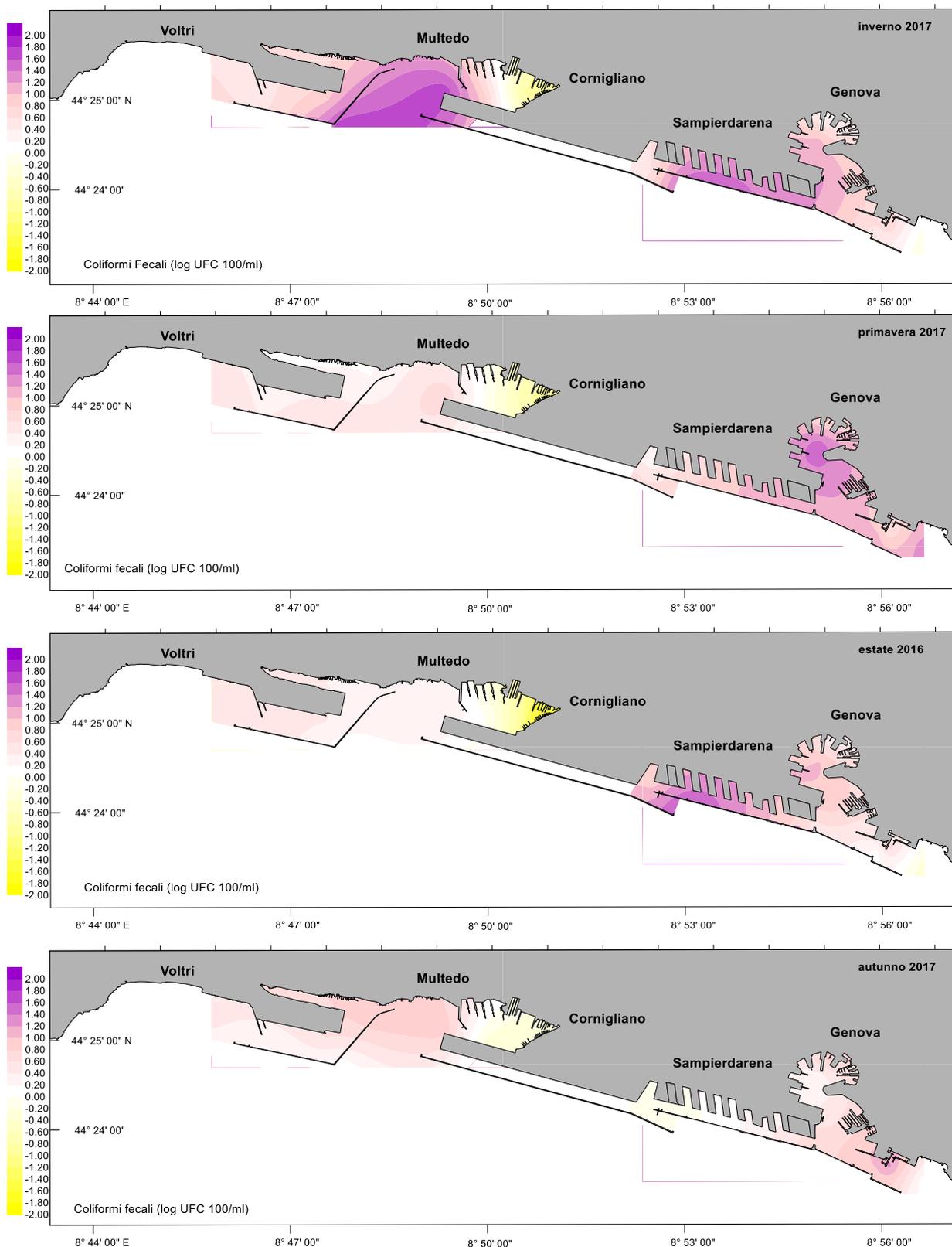
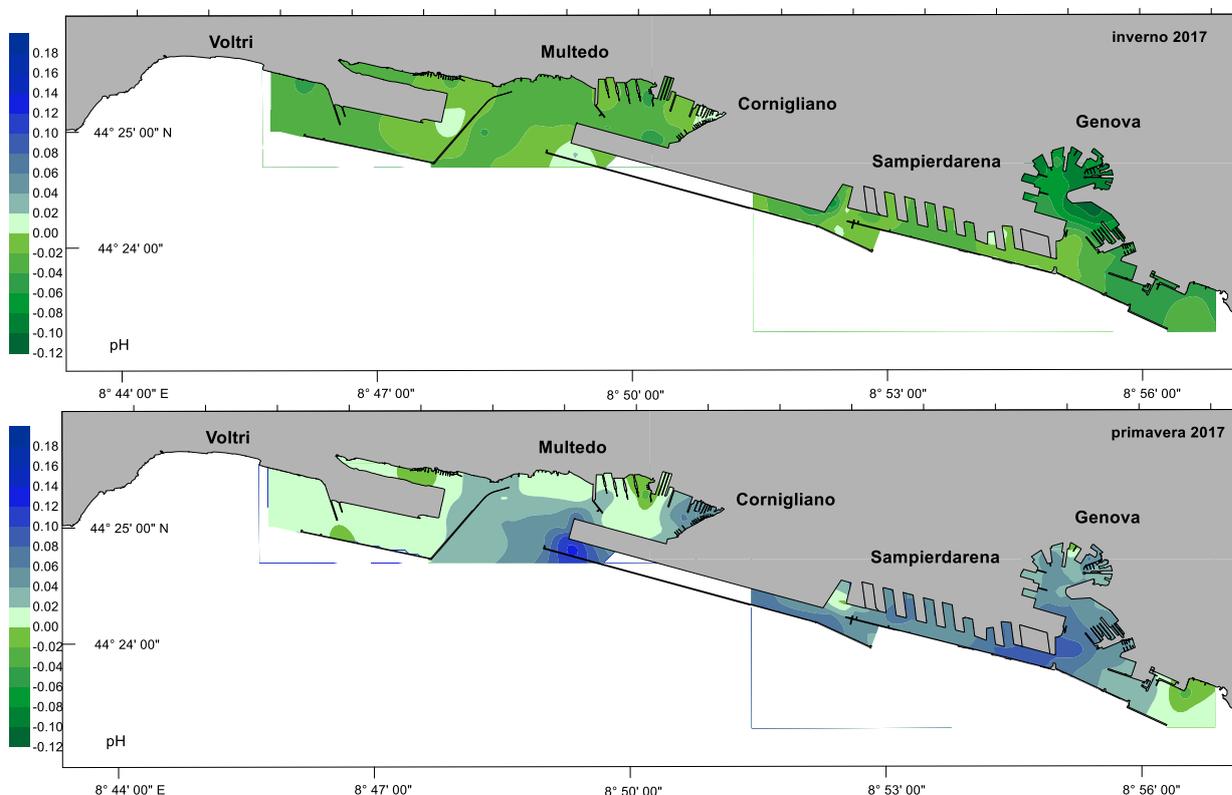


Fig. 3.10 Distribuzione spaziale delle anomalie dei coliformi fecali nel 2017

Analizzando la concentrazione di coliformi fecali possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono positive in quasi tutta l'area. la foce del Chiaravagna si notano anomalie negative.
- In primavera le anomalie sono leggermente positive o prossime allo zero in quasi tutta l'area del bacini di Multedo e Voltri-Prà, fatta eccezione per la zona della foce del Chiaravagna dove si notano anomalie negative. In tutto il bacino di Genova si trovano anomalie positive.
- In estate le anomalie sono leggermente positive o prossime allo zero in quasi tutta l'area del bacini di Multedo e Voltri-Prà, fatta eccezione per la zona della foce del Chiaravagna dove si notano anomalie negative. In tutto il bacino di Genova si trovano anomalie positive.
- In autunno in quasi tutta l'area portuale si riscontrano anomalie positive o prossime allo zero, tranne che alla foce del Chiaravagna dove si notano anomalie leggermente negative.

In Fig. 3.11 sono riportate le anomalie di pH nelle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



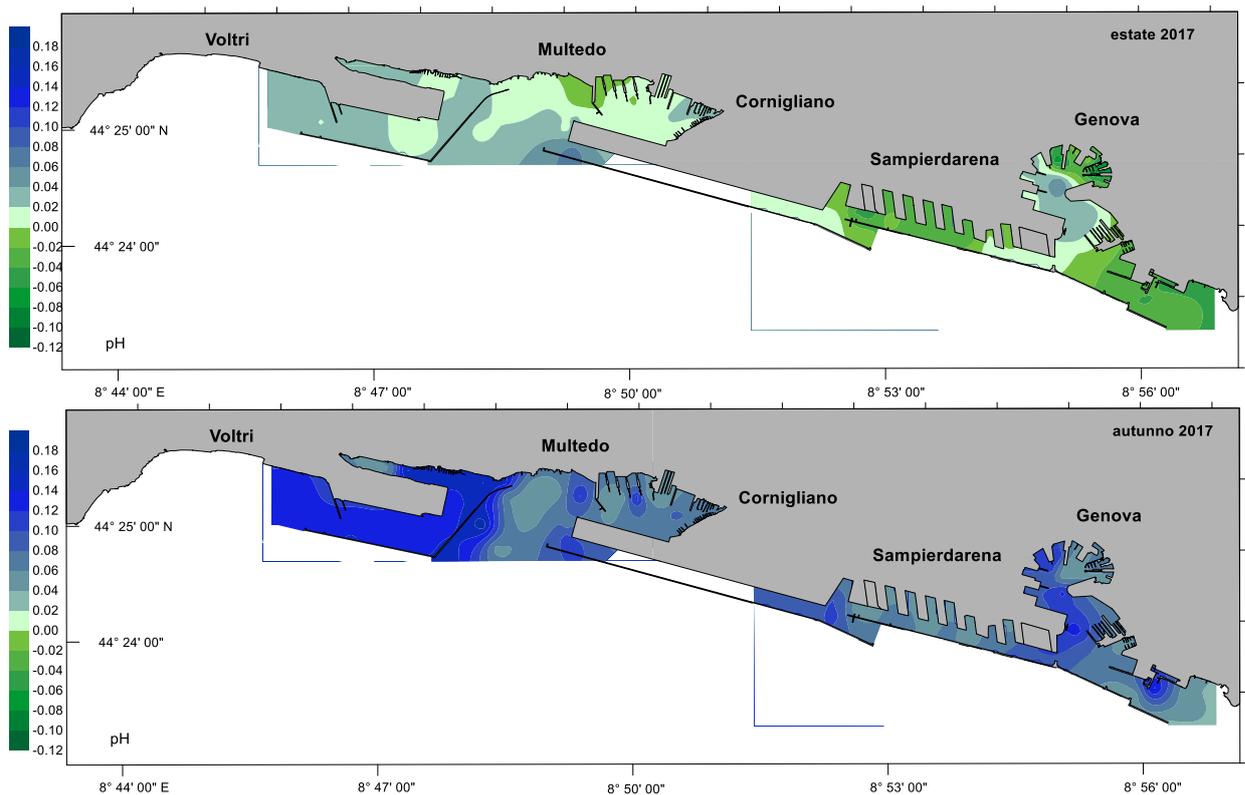


Fig. 3.11 Distribuzione spaziale delle anomalie di pH nel 2017

Analizzando i valori di pH possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono negative in tutta l'area portuale.
- In primavera le anomalie sono leggermente positive e prossime allo zero in quasi tutta l'area. Nella zona di Punta Vagno e nel canale di Prà si trovano anomalie negative.
- In estate le anomalie sono positive in quasi tutta la zona dei bacini di Multedo e Voltri-Prà, fatta eccezione per la zona antistante Pegli dove si notano anomalie negative. In quasi tutto il bacino di Genova si riscontrano anomalie negative.
- In autunno in quasi tutta l'area portuale si riscontrano anomalie positive.

In Fig. 3.12 sono riportate le anomalie di potenziale Red-Ox nelle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).

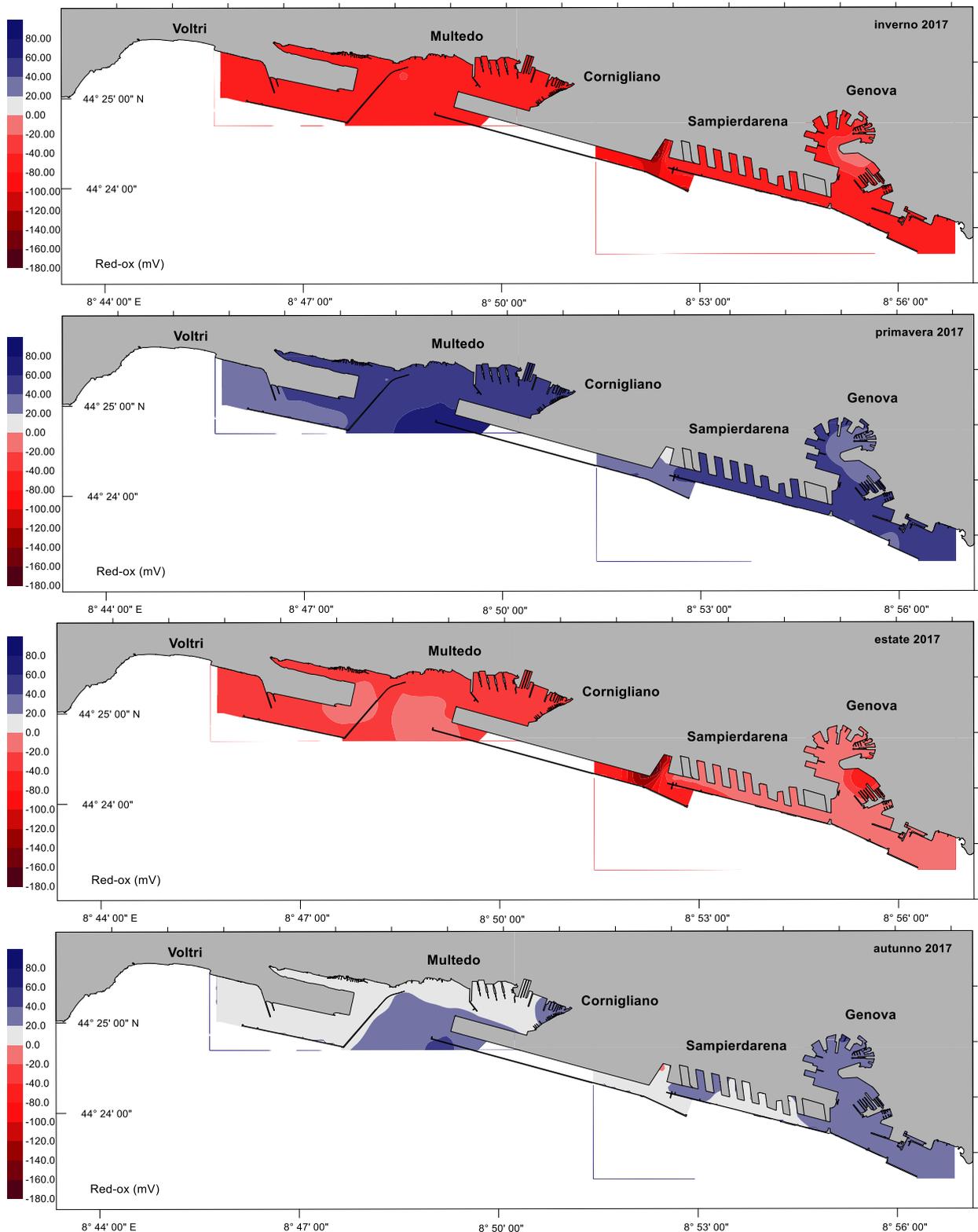
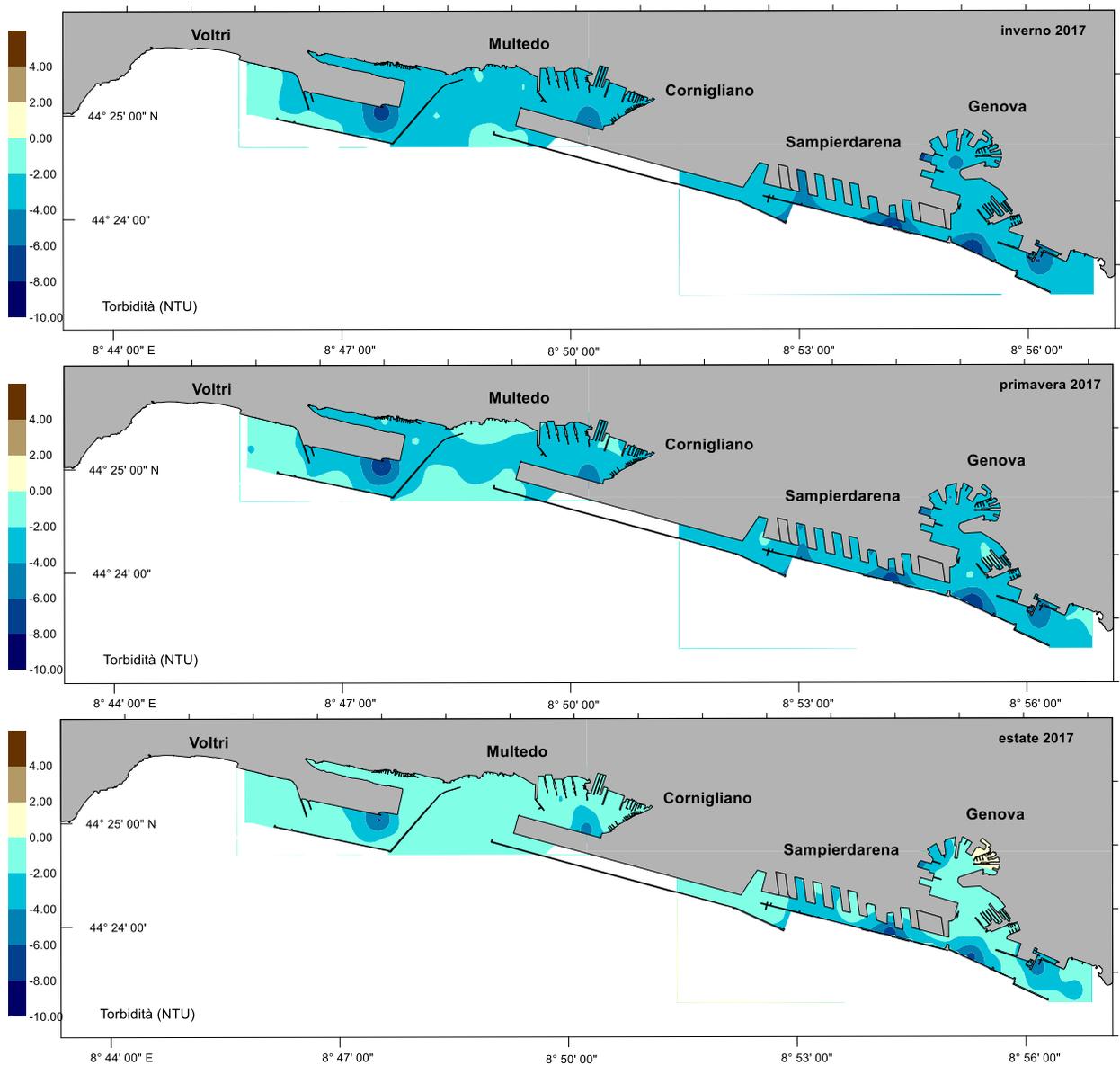


Fig. 3.12 Distribuzione spaziale delle anomalie di potenziale Red-Ox nel 2017

Analizzando i valori di Red-Ox possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In primavera le anomalie sono positive in tutta la zona portuale.
- In estate le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In autunno in tutta l'area portuale si riscontrano anomalie positive o prossime allo zero.

In Fig. 3.13 sono riportate le anomalie di torbidità nelle acque portuali nel 2017, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



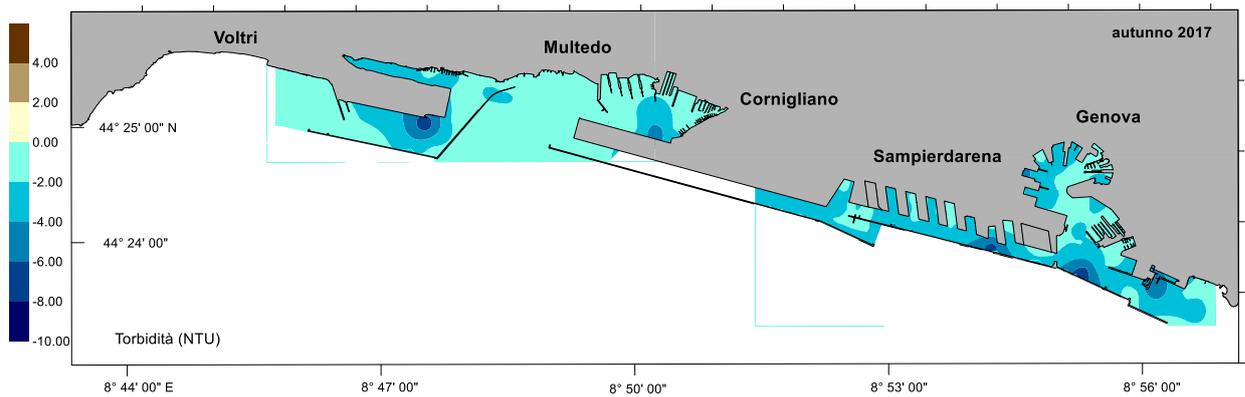


Fig. 3.13 Distribuzione spaziale delle anomalie di torbidità nel 2017

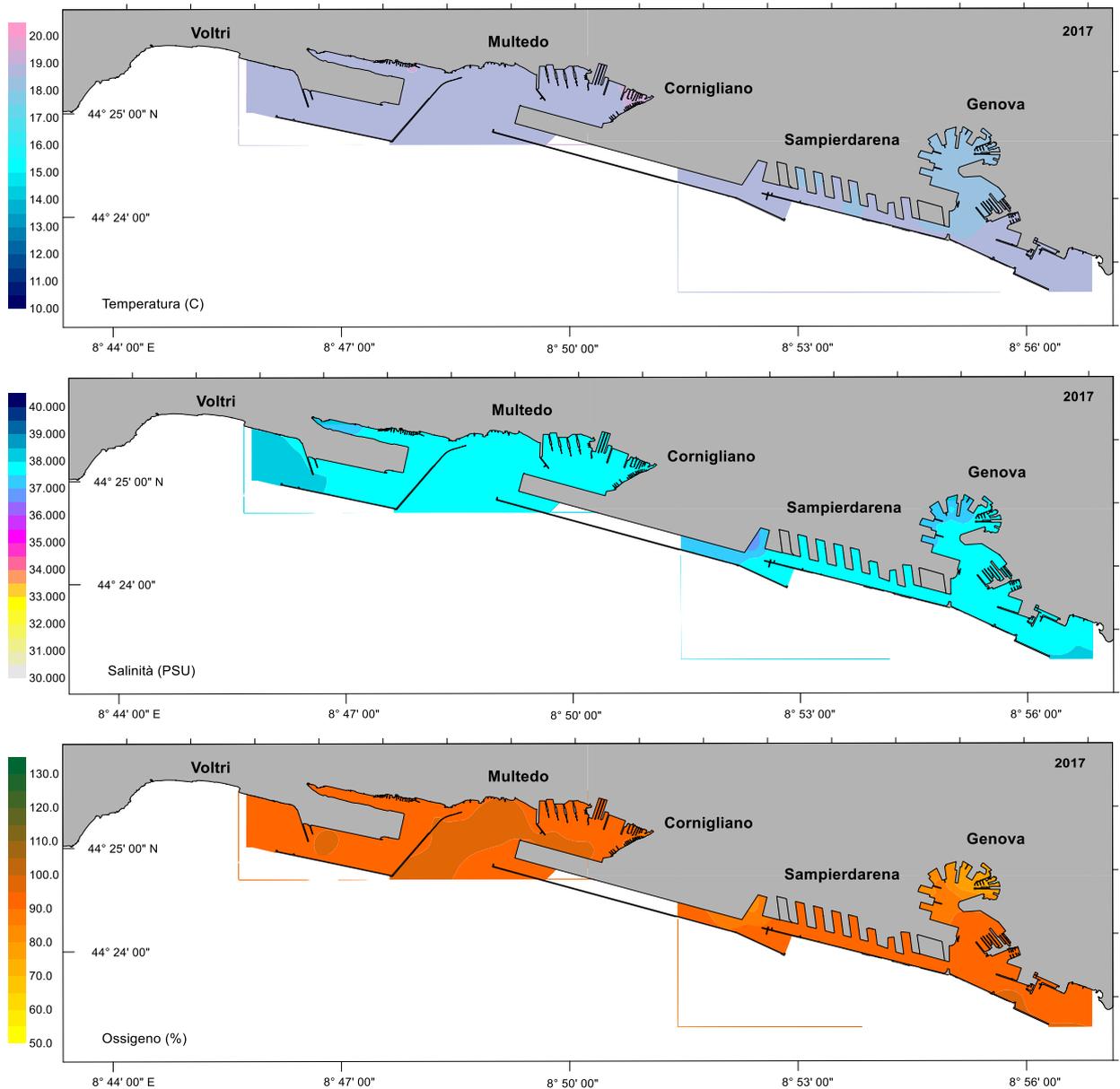
Analizzando i valori di torbidità possiamo evidenziare che:

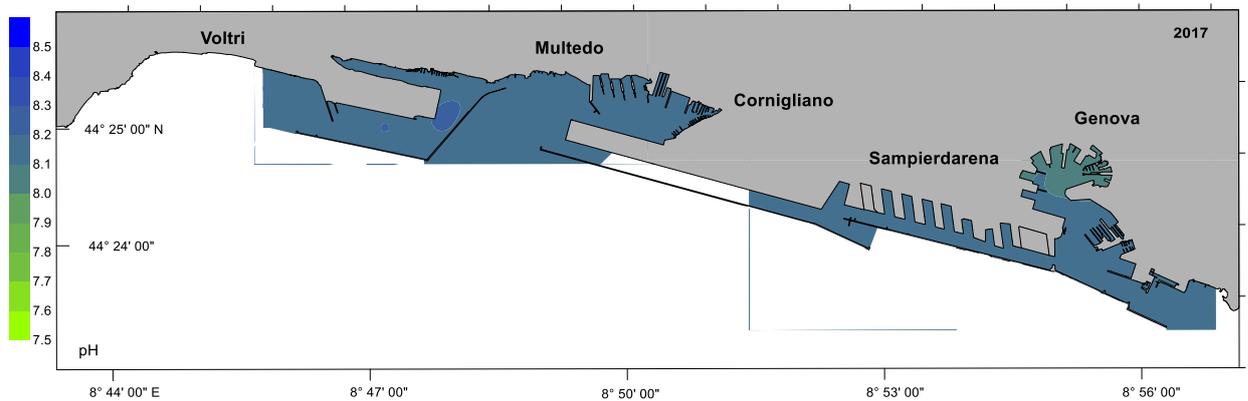
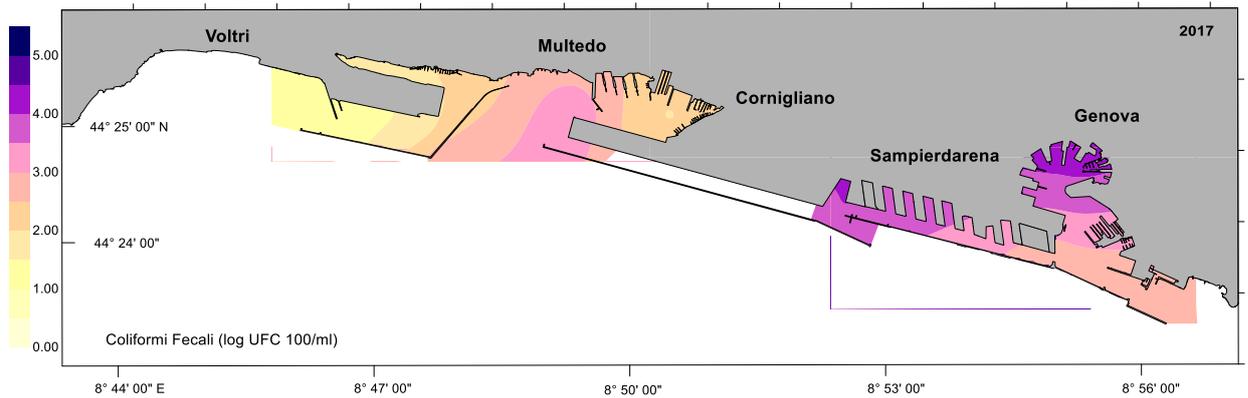
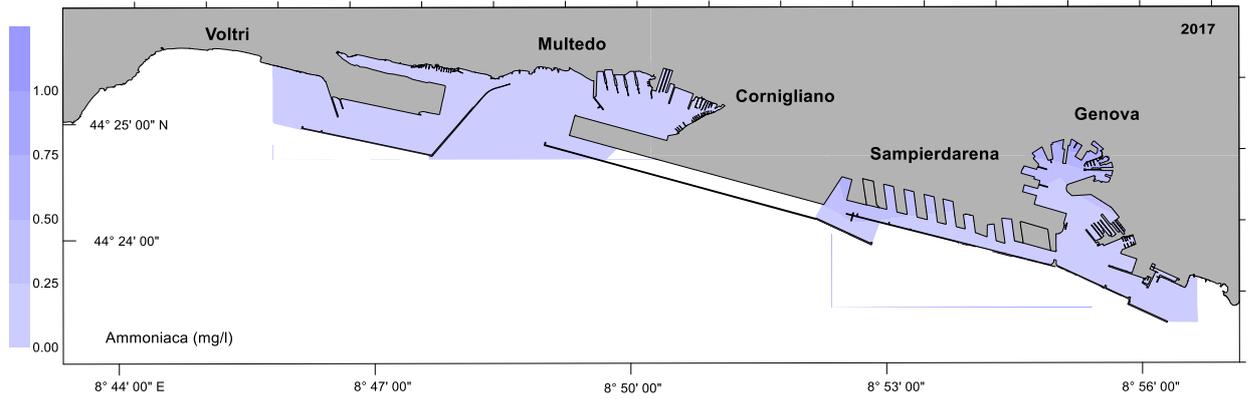
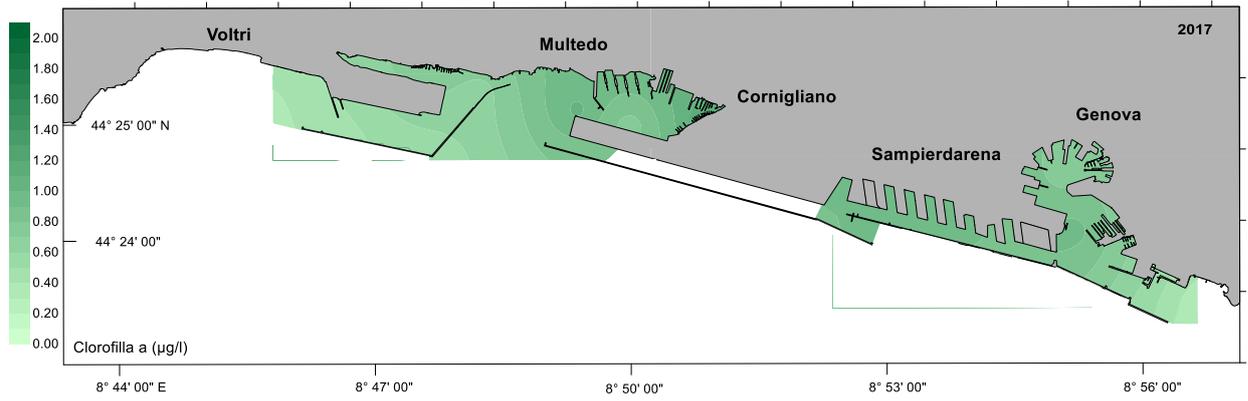
- In inverno le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In primavera le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In estate le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area.
- In autunno in tutta l'area portuale si riscontrano anomalie negative.

3.2.2.2 Variabilità spaziale

Lo studio della variabilità spaziale dei parametri monitorati nel porto di Genova durante l'anno 2017 (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. 3.14).





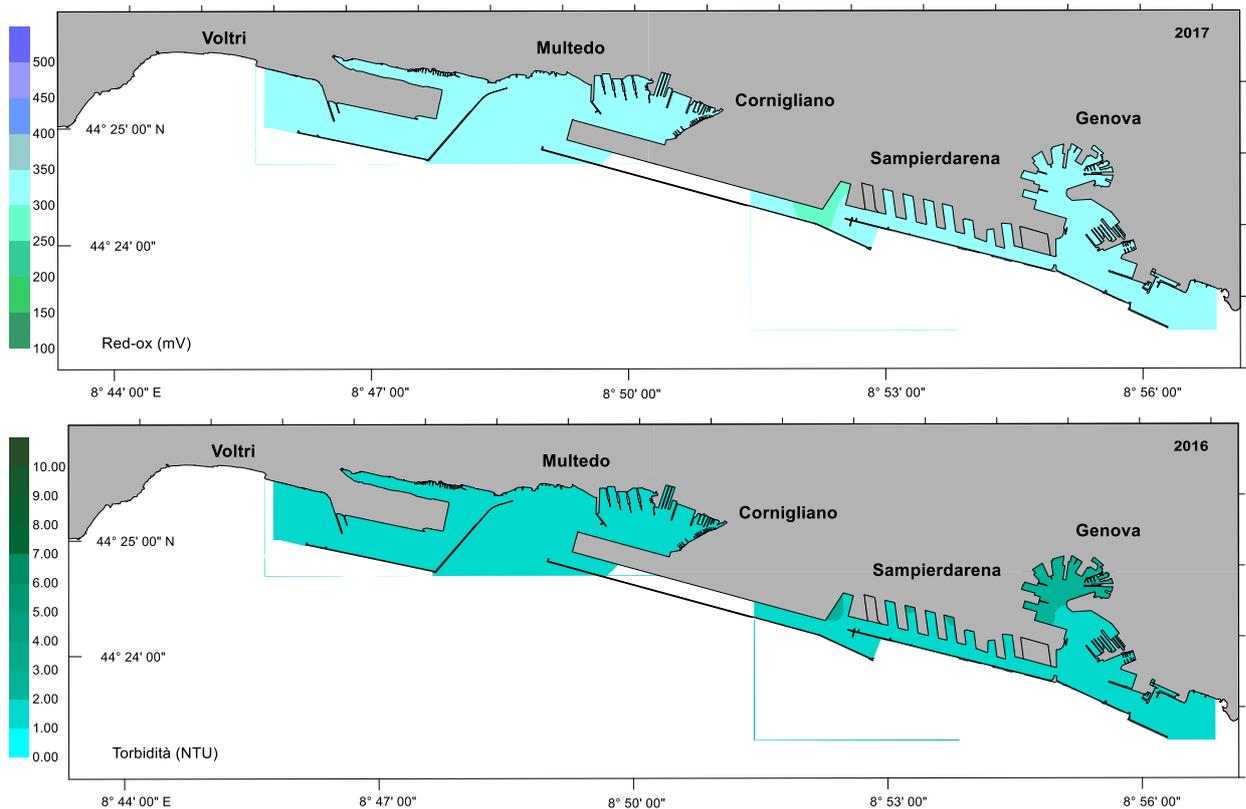


Fig. 3.14 Distribuzioni spaziali (media annuale) di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla-a, ammoniaca, coliformi fecali, pH, potenziale Red-Ox e torbidità.

La distribuzione della temperatura evidenzia una distribuzione dei valori di temperatura abbastanza omogenea, con valori leggermente maggiori nelle zone più confinate, in particolare si nota come le temperature nella parte più interna del bacino di Multedo siano leggermente maggiori con gradiente in diminuzione verso l'esterno. Una situazione opposta si evidenzia invece presso il Porto Antico, dove sono presenti valori leggermente inferiori e un gradiente a salire verso l'esterno. Le stazioni poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica dell'Enel a Sampierdarena, durante il 2017 non si sono distinte per la temperatura più elevata rispetto al resto del bacino, come succedeva negli anni passati.

La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci e, infatti, i valori minimi si trovano alla foce del Polcevera, presso il depuratore in Darsena e presso Punta Vagno. 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, foce del Polcevera e foce del Chiaravagna) 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, all'interno del canale di Prà e nella zona della foce del Polcevera, 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 della foce del Polcevera. A levante 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. Nel bacino di Multedo si sono riscontrati aumenti della concentrazione di coliformi fecali in prossimità dell'imboccatura.

Per quanto riguarda il pH si nota come la distribuzione sia piuttosto omogenea, con valori leggermente inferiori nel bacino di Genova, soprattutto nelle zone più confinate.

Il potenziale Red-Ox presenta una distribuzione abbastanza uniforme, si nota però come valori un po' più bassi si riscontrano alla foce del Polcevera, zone maggiormente influenzate dagli scarichi antropici.

I massimi valori di torbidità si notano all'interno del Porto Antico e nelle zone interessate da scarichi terrestri, come per esempio la Foce del Polcevera. Probabilmente questi valori sono dovuti al rimescolamento dovuto al passaggio delle navi in queste zone e all'apporto di materiale da terra da parte dei torrenti. Nel resto del bacino i valori risultano essere piuttosto uniformi.

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.

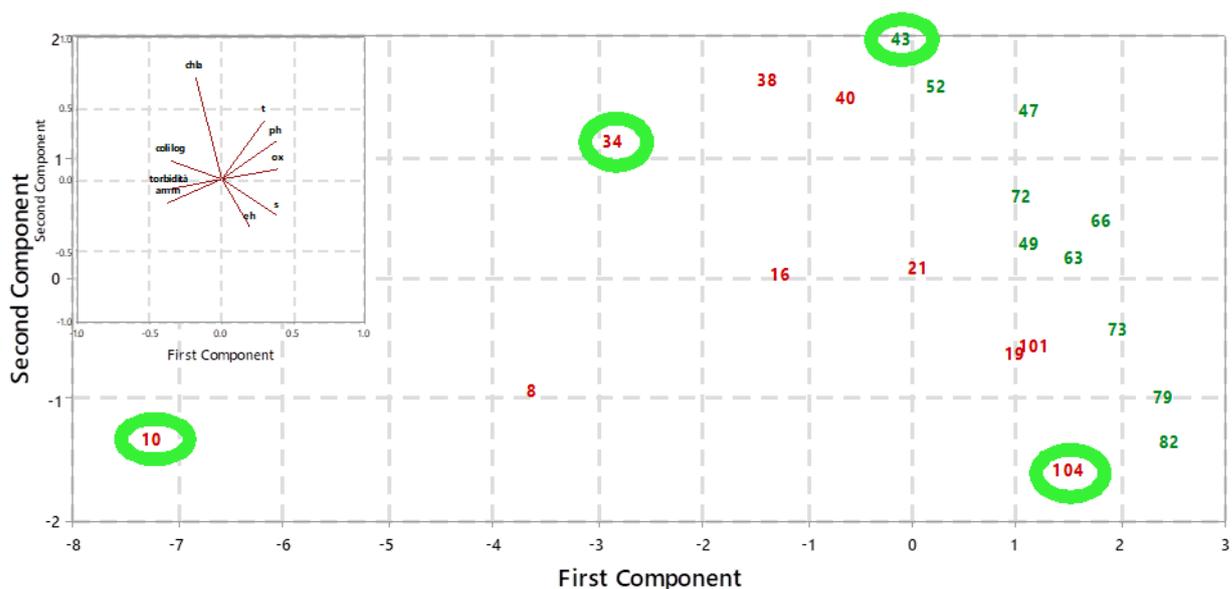


Fig. 3.15 Analisi delle componenti principali applicata ai bacini di Genova (rosso) e Moltedo-Voltri (verde) per le sole stazioni in cui si eseguono le analisi di ammoniaca, coliformi fecali e clorofilla-a; sono cerchiati i 4 siti critici.

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 2017, 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 1998-2016, 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 2013-2016.

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 NH ₄ ⁺ :	15
Coliformi fecali (MPN/100 ml):	12000

Tabella 3.1 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 3.16).

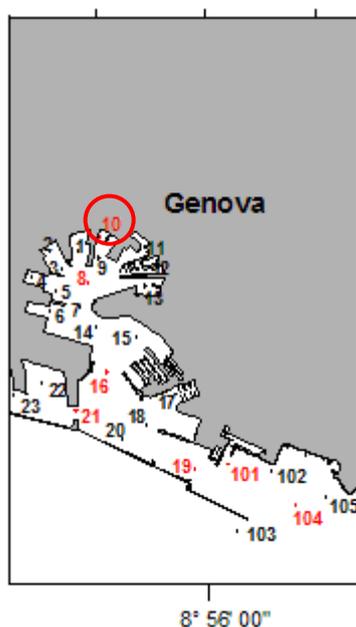


Fig. 3.16 Localizzazione della stazione numero 10, posta in corrispondenza dello scarico del depuratore in Darsena

In figura 3.17 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2016 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 2017 si evidenzia un andamento simile alla media per la maggior parte dell'anno. Nei mesi di gennaio, settembre, novembre e dicembre si notano temperature minori di quella media.

La salinità è compresa tra 36.500 e 37.800 PSU, valori in generale più alti rispetto a quelli medi.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta inferiore alla media nei mesi invernali, a maggio, giugno, luglio e agosto. Nei mesi autunnali e a aprile e settembre si riscontrano concentrazioni superiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a, invece è generalmente più bassa o paragonabile alla media, fatta eccezione per i mesi di settembre, ottobre e novembre dove si riscontrano concentrazioni superiori alla media. Il picco estivo si riscontra all'incirca nello stesso periodo evidenziato dalla media.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, le concentrazioni sono superiori alla media durante i mesi di aprile, maggio, giugno, agosto e ottobre. Nei mesi di gennaio, febbraio, marzo, settembre, novembre e dicembre si riscontrano concentrazioni minori della media. I valori limite riportati nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml) sono stati sempre superati tranne che nei mesi di luglio, settembre e novembre. Negli anni precedenti, in media, tale valore limite è stato sempre superato, tranne che nel mese di aprile con concentrazioni anche molto elevate (78000 MPN/100 ml).

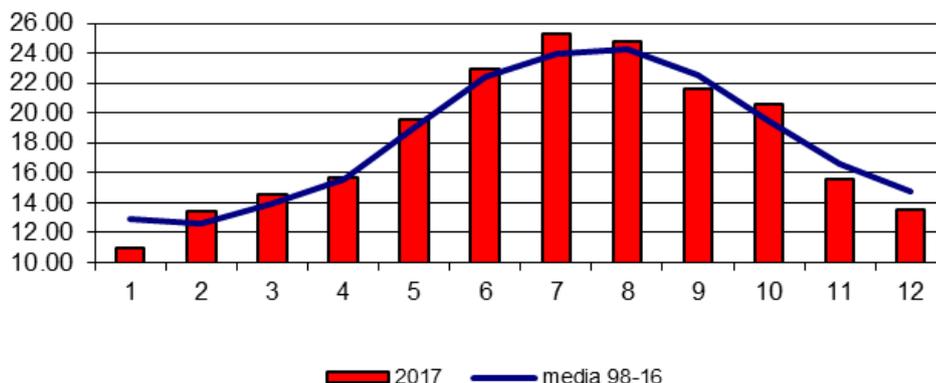
L'ammoniaca presenta concentrazioni minori alla media durante quasi tutto l'anno, fatta eccezione per i mesi di maggio e ottobre dove si riscontrano concentrazioni superiori alla media. Comunque le concentrazioni sono sempre notevolmente sotto il valore limite previsto dalla legge 10 maggio 1976 n. 319 (15 mg/l), come negli anni precedenti.

Il pH presenta valori in generale inferiori alla media nei mesi invernali e a maggio, giugno, luglio e agosto. Nei mesi autunnali e ad aprile e settembre i valori sono superiori alla media.

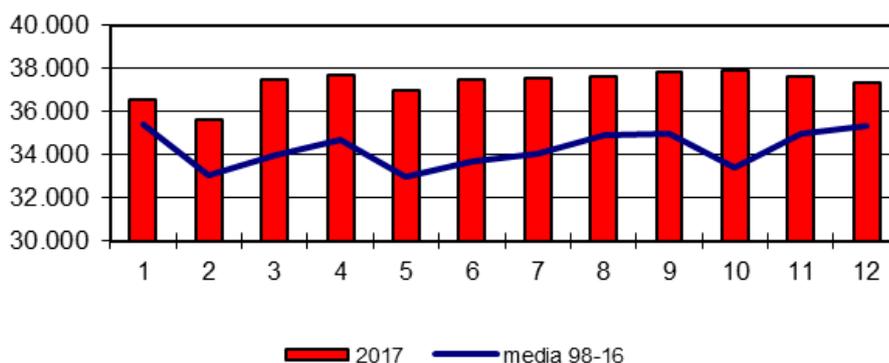
I valori di potenziale Red-Ox sono superiori o simili alla media per quasi tutto l'anno, tranne che nei mesi di gennaio, febbraio e luglio dove si notano valori inferiori alla media.

La torbidità, durante tutto l'anno, presenta valori inferiori alla media, tranne che per il mese di settembre che presenta valori superiori alla media.

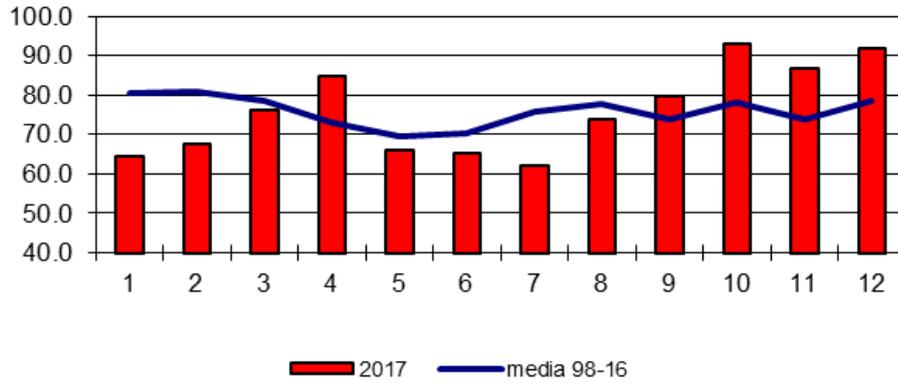
Temperatura (°C)



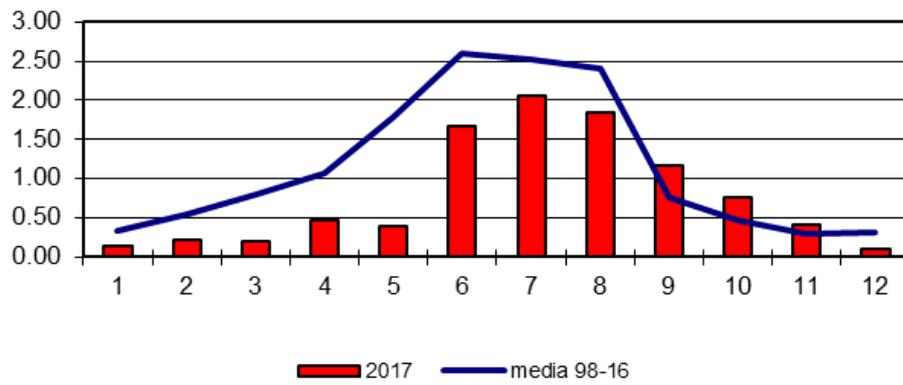
Salinità (PSU)



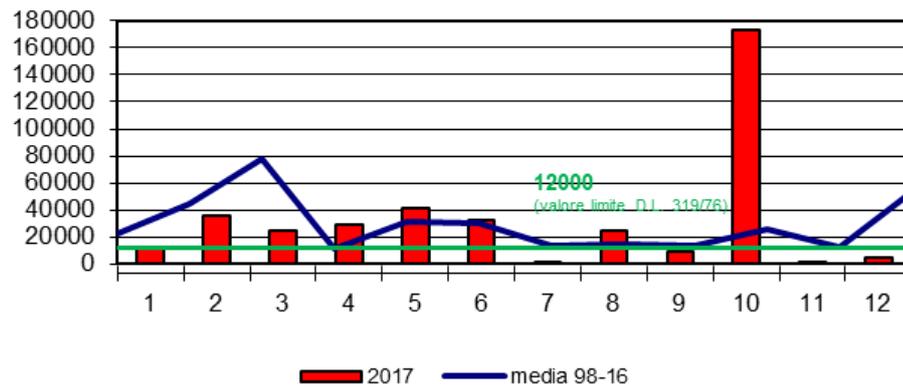
Ossigeno disciolto (% sat)



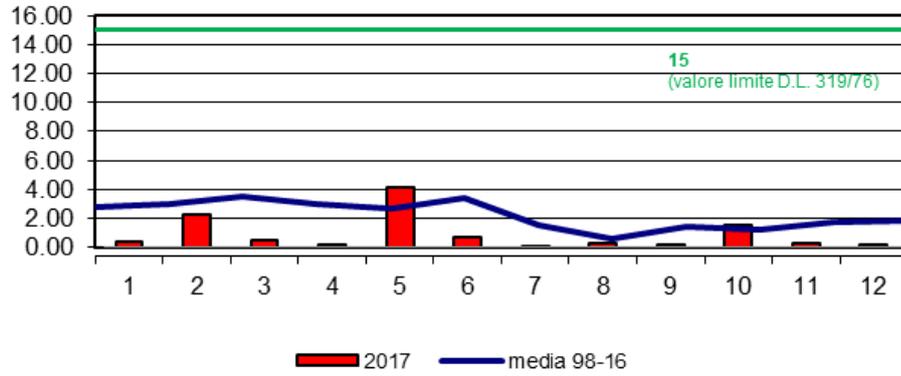
Clorofilla a ($\mu\text{g/l}$)



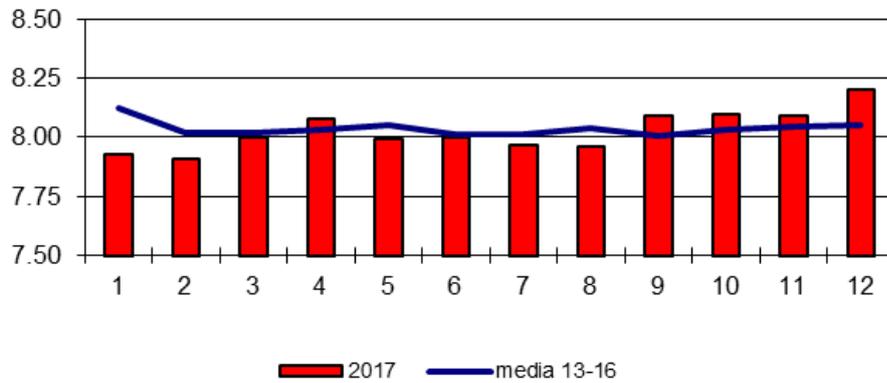
Coliformi fecali (MPN/100 ml)



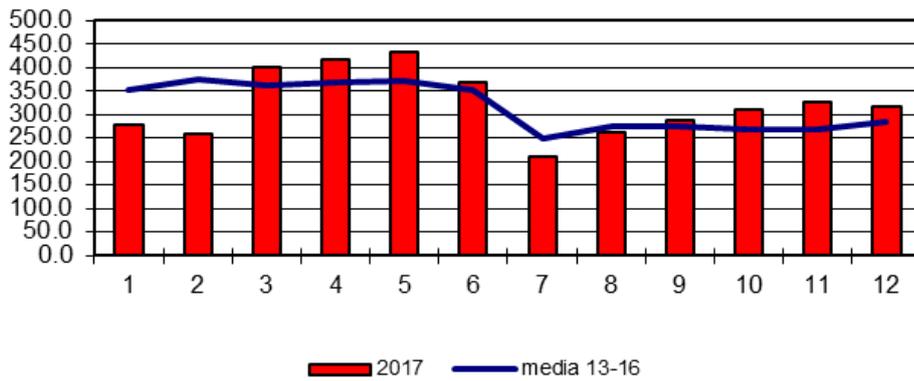
Ammoniaca (mg/l)



pH



Red-Ox (mV)



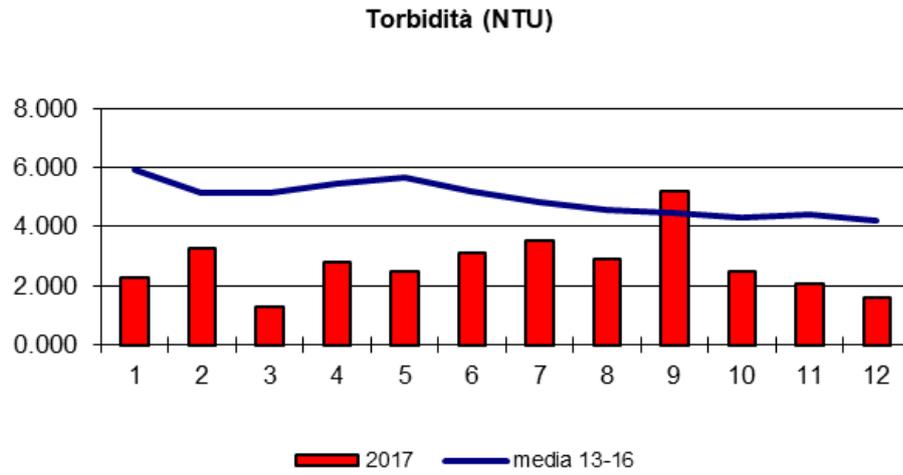


Fig. 3.17 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2016 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 10)

Foce del Bisagno e Punta Vagno

La stazione di campionamento posta in prossimità dello scarico del depuratore è la numero 104 (vedi figura 3.18)

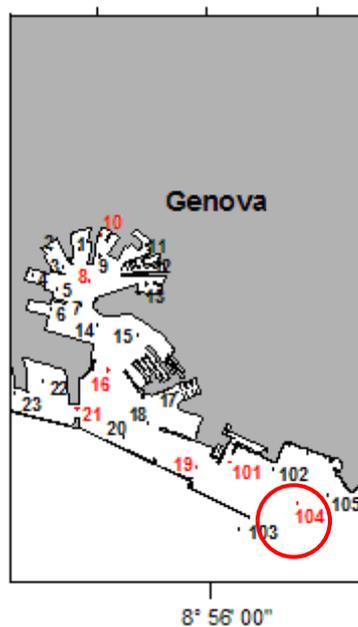


Fig. 3.18 Localizzazione della stazione numero 104, posta in prossimità dello scarico del depuratore a Punta Vagno

In figura 3.19 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2016 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 o simile alla media. Solo nei mesi di aprile, settembre e dicembre si riscontrano valori inferiori alla media.

La salinità è compresa tra 37.400 e 38.200 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 leggermente superiori o simili alla media, fatta eccezione per i mesi di marzo e giugno in cui si riscontrano concentrazioni inferiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a, invece è in generale sotto la media, anche con valori notevolmente inferiori alla media. Non si riscontra l'usuale picco nei mesi primaverili-estivi, ma si notano picchi mensili isolati.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, l'evoluzione stagionale ha valori molto inferiori a quelli medi. Solo nel campionamento del mese di maggio sono stati superati le concentrazioni medie. I valori limite riportati nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml) non sono mai stati superati. Negli anni precedenti, in media, tale valore limite è stato superato nei mesi invernali e nel mese di settembre.

L'ammoniaca durante quasi 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).

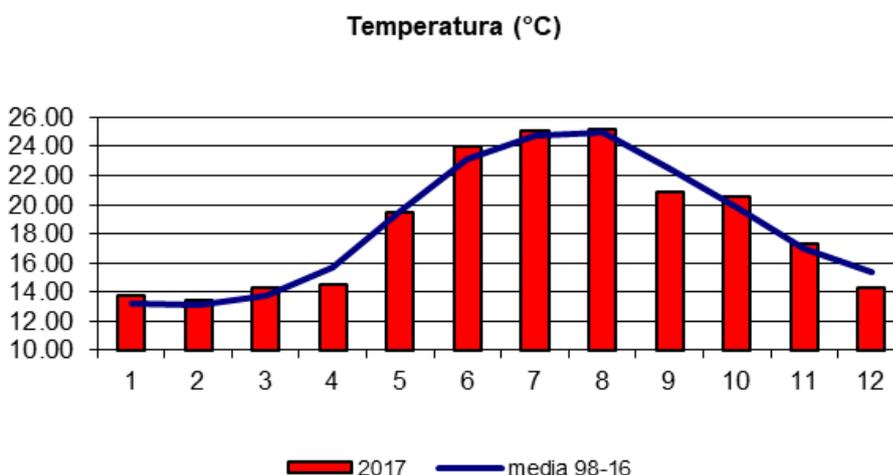
Il pH presenta valori in generale inferiori o paragonabili alla media. Nei mesi di novembre e dicembre si notano valori superiori alla media.

I valori di potenziale Red-Ox sono superiori o simili alla media per quasi tutto l'anno. Nei mesi di gennaio, febbraio, luglio e agosto si notano valori inferiori alla media.

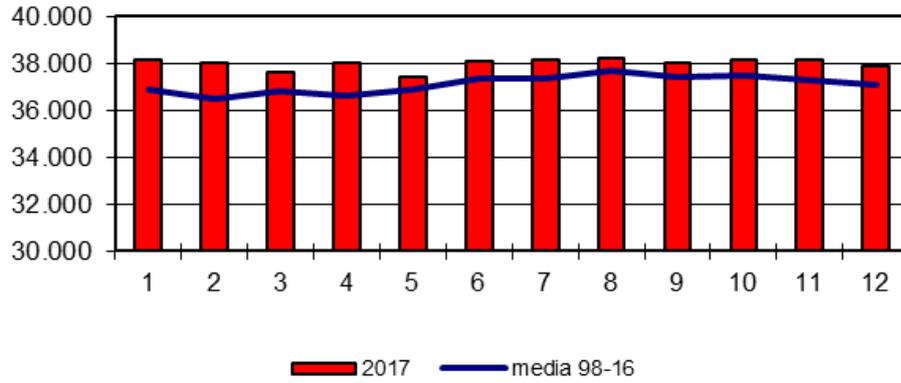
La torbidità, durante tutto l'anno, presenta valori inferiori alla media.

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).

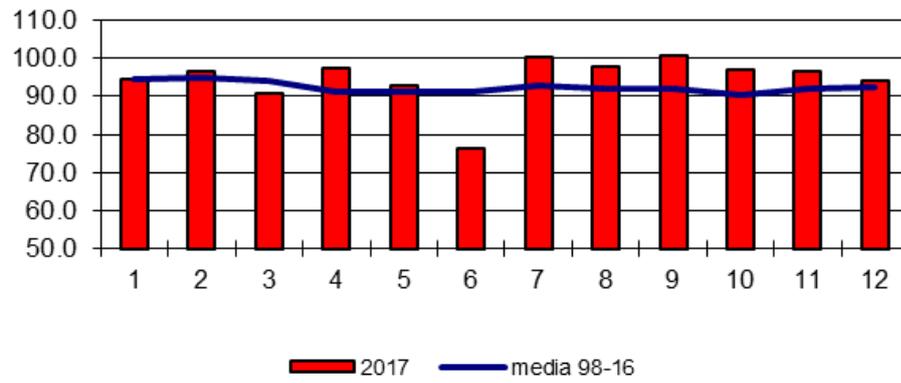
Si è potuto notare come la variabilità di alcuni parametri (salinità, temperatura, ossigeno disciolto e coliformi fecali) probabilmente risente della vicinanza alla foce del torrente Bisagno, visibile in maniera più marcata da quando la condotta del depuratore è stata spostata più al largo.



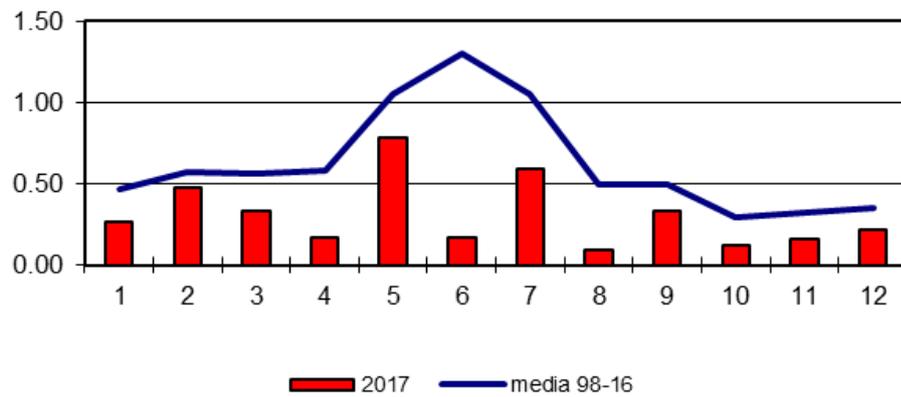
Salinità (PSU)



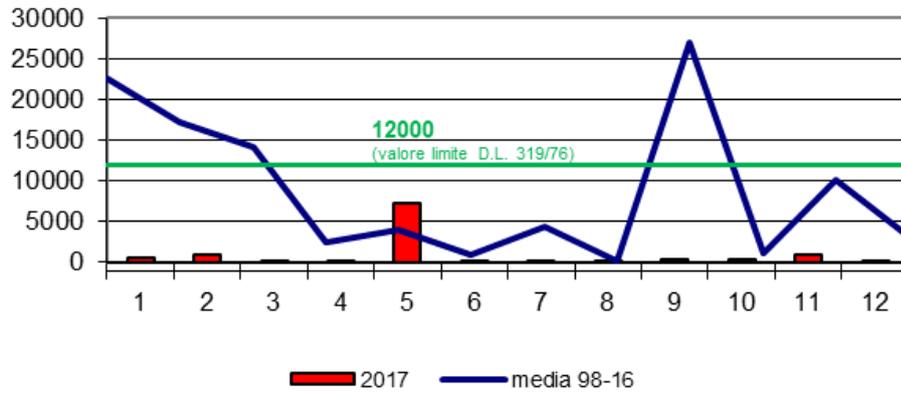
Ossigeno disciolto (% sat)



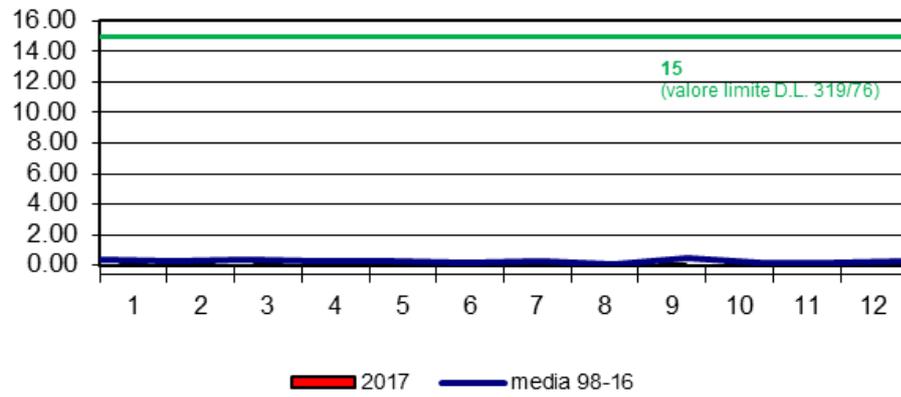
Clorofilla a ($\mu\text{g/l}$)



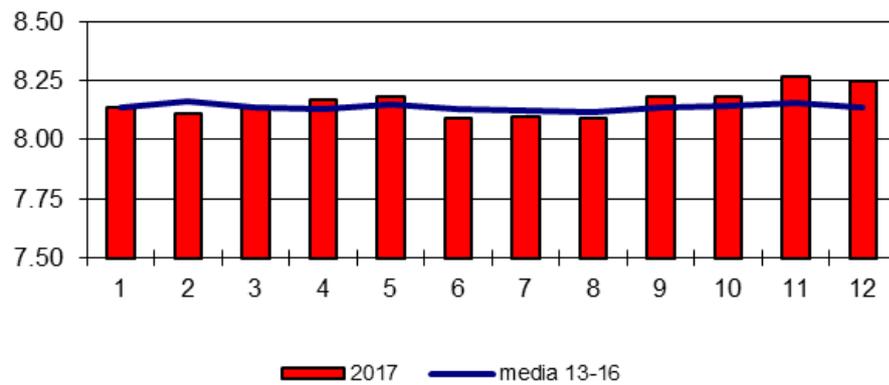
Coliformi fecali (MPN/100 ml)



Ammoniaca (mg/l)



pH



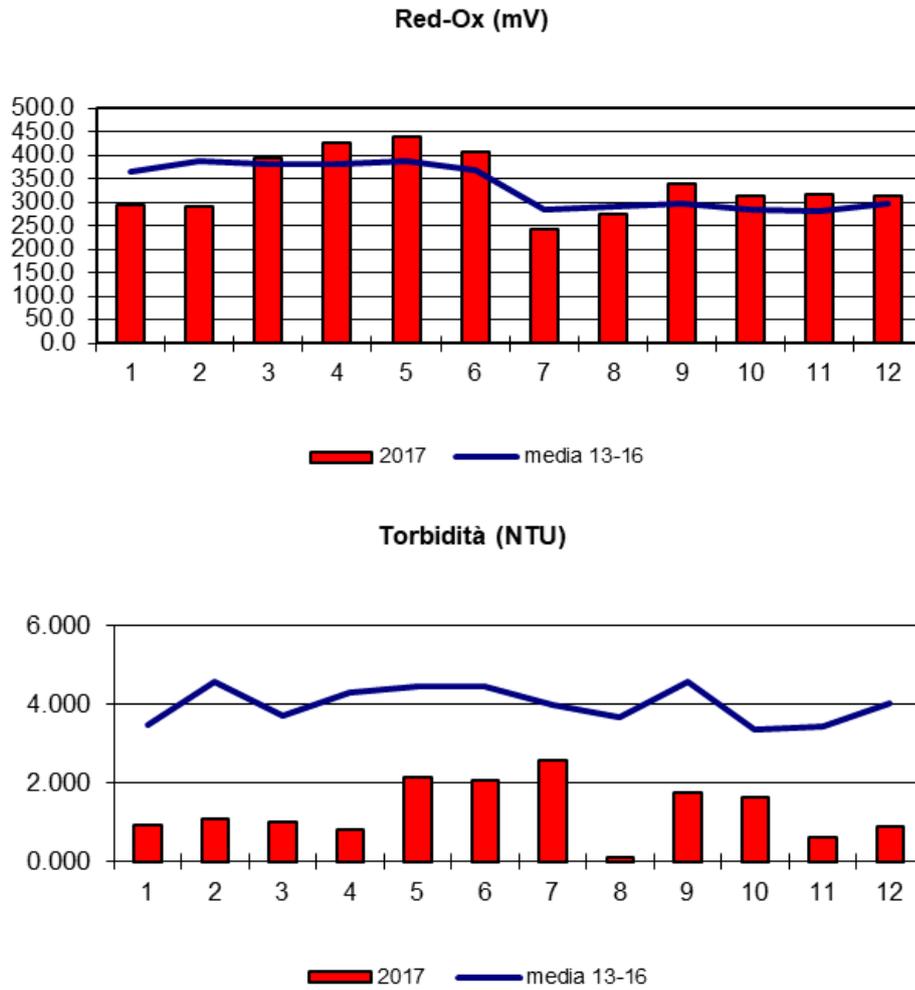


Fig. 3.19 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2016 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 104)

Foce del Polcevera

La stazione di campionamento posta in corrispondenza della foce del Polcevera è la numero 34 (vedi figura 3.20).

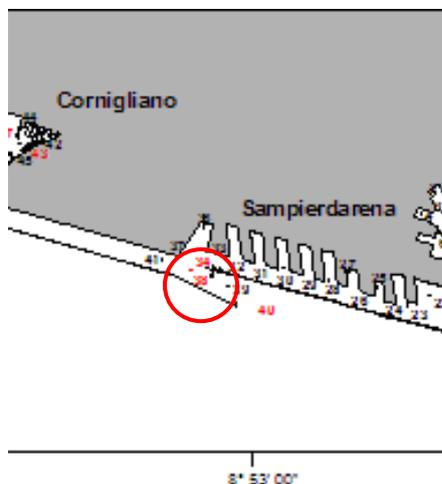


Fig. 3.20 Localizzazione della stazione numero 34, posta in corrispondenza della foce del Polcevera

In figura 3.21 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2016 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 2017, si evidenziano temperature inferiori nei mesi di aprile, settembre e dicembre. Nei restanti mesi si riscontrano temperature simili alla media.

La salinità è compresa tra 34.000 e 37.900 PSU, valori in generale superiori a quelli medi, tenendo conto della variabilità di questo parametro, legata essenzialmente al regime delle precipitazioni e agli scambi di acqua a maggiore salinità con il mare antistante all'imboccatura portuale. Si evidenzia il mese di maggio che presenta valori inferiori alla media.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta generalmente superiore o simile alla media; nei mesi di maggio, giugno e dicembre si riscontrano invece valori inferiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a è inferiore o alla media nei mesi invernali e a maggio, luglio, agosto e dicembre. Nei mesi di aprile, giugno, settembre, ottobre e novembre si notano anomalie superiori alla media. Non c'è un vero e proprio picco stagionale, ma si riscontrano concentrazioni più elevate nei mesi di aprile, giugno e settembre.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, le concentrazioni sono inferiori alla media per quasi tutto l'anno, fatta eccezione per i mesi di marzo, aprile, luglio e agosto. In questi 4 mesi è

stato superato 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 quasi sempre durante l'anno, tranne che nei mesi di settembre, ottobre e dicembre.

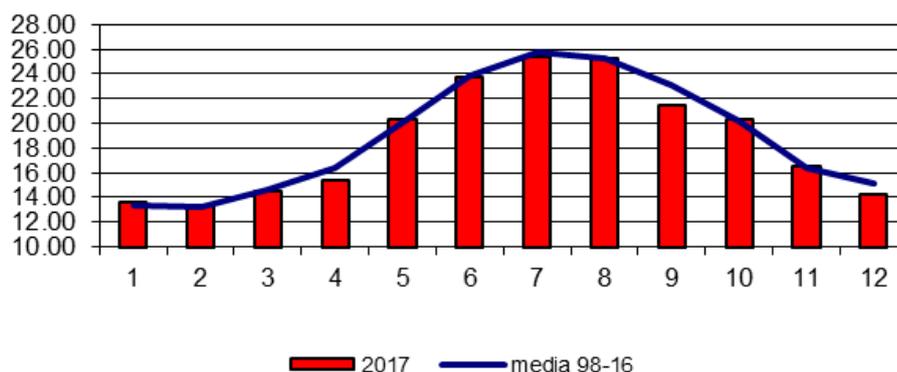
L'ammoniaca presenta durante tutto l'anno valori inferiori o paragonabili alla media. Comunque i valori sono sempre decisamente di sotto il valore limite previsto dalla legge 10 maggio 1976 n. 319 (15 mg/l).

Il pH presenta valori inferiori alla media nei mesi di febbraio e giugno. Nei mesi autunnali e ad aprile si notano valori superiori alla media. Nei restanti mesi si notano valori paragonabili alla media.

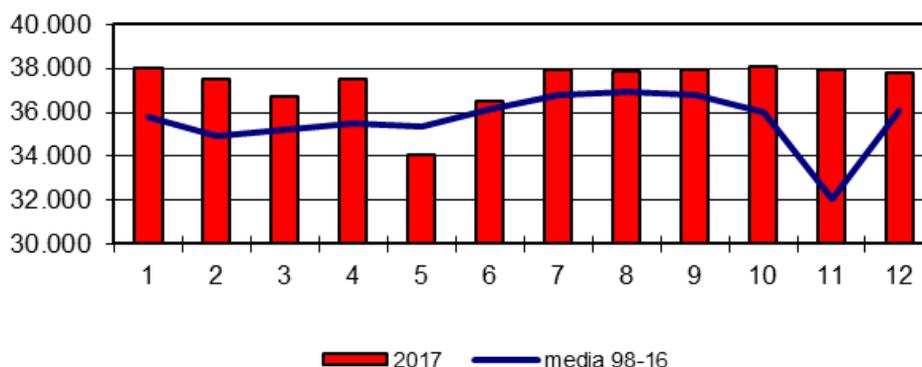
I valori di Red-Ox sono inferiori alla media nei mesi di gennaio, febbraio, luglio e agosto; nei restanti mesi i valori sono superiori o simili alla media.

La torbidità, durante tutto l'anno, presenta valori inferiori alla media.

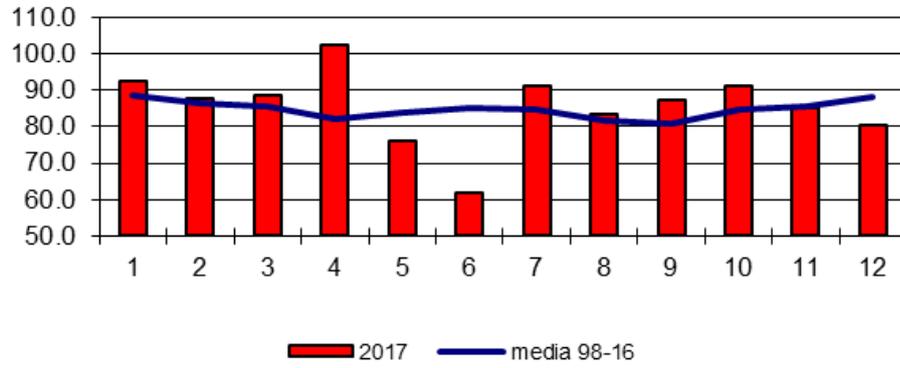
Temperatura (°C)



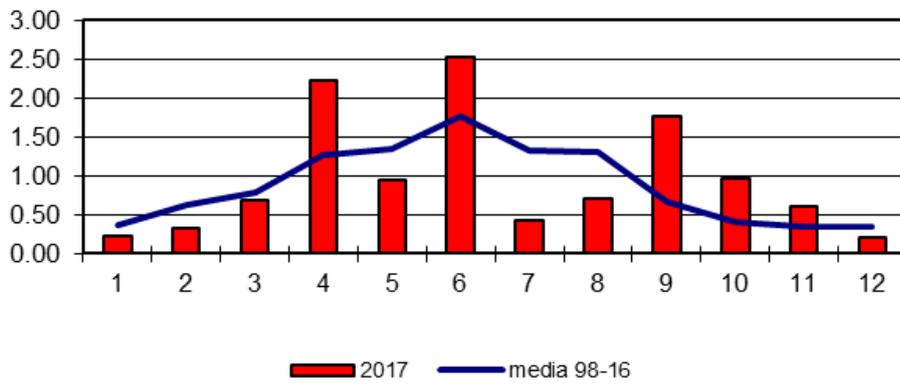
Salinità (PSU)



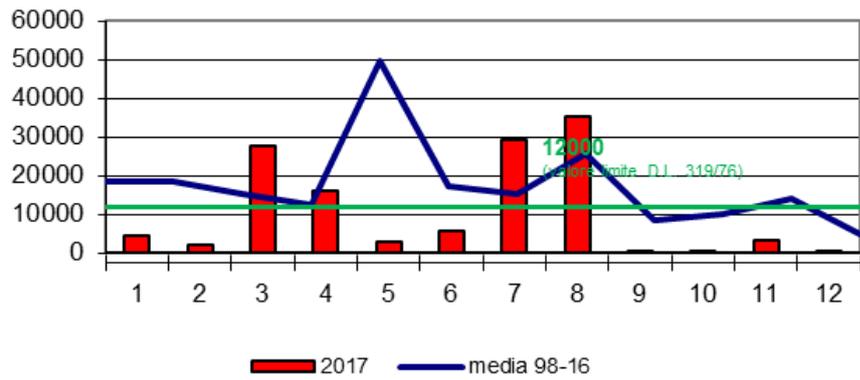
Ossigeno disciolto (% sat)



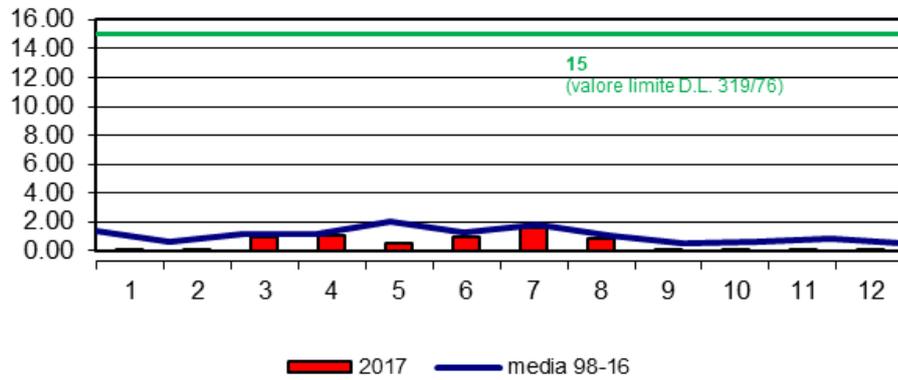
Clorofilla a (µg/l)



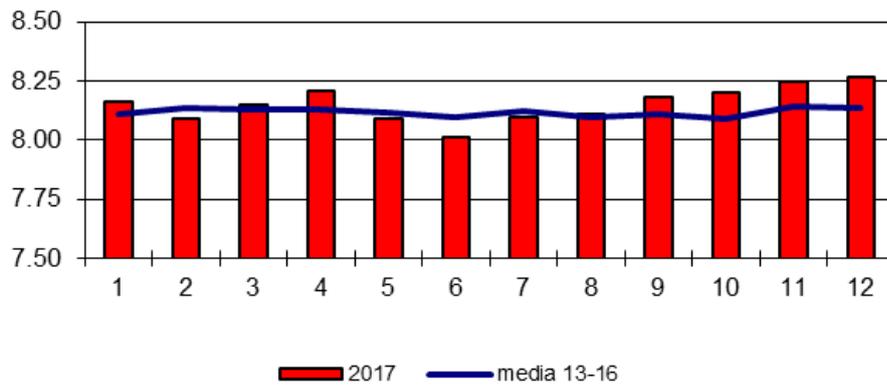
Coliformi fecali (MPN/100 ml)



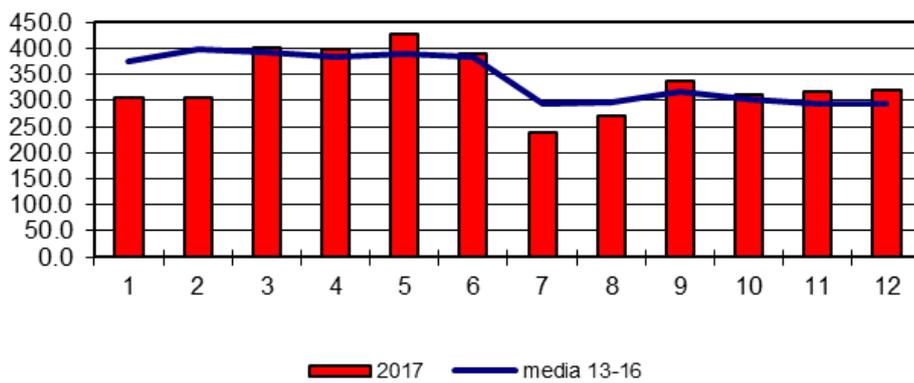
Ammoniacca (mg/l)



pH



Red-Ox (mV)



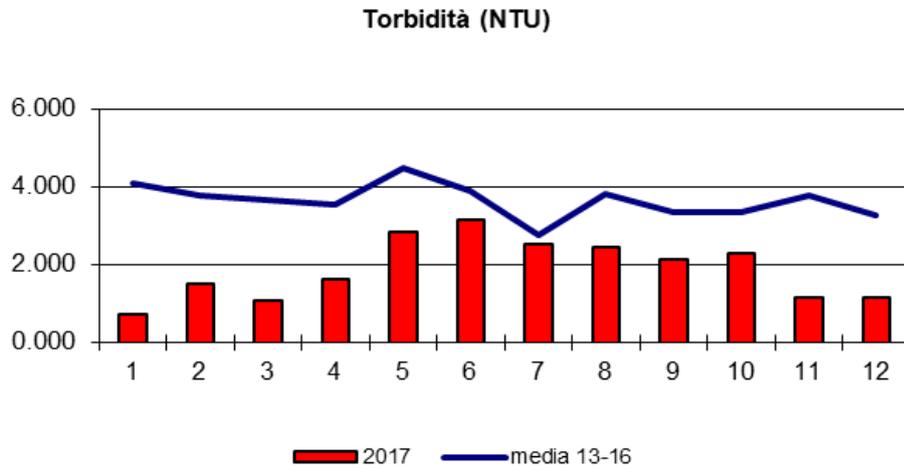


Fig. 3.21 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2015 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 34)

Foce del Chiaravagna

La stazione di campionamento posta in corrispondenza della foce del Chiaravagna è la numero 43 (vedi figura 3.22).

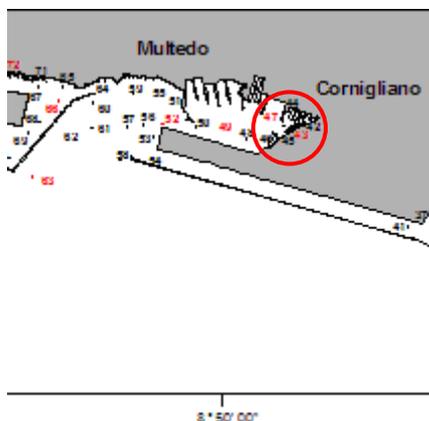


Fig. 3.22 Localizzazione della stazione numero 43, posta in corrispondenza della foce del Chiaravagna

In figura 3.23 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2016 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 2017 si evidenziano in generale valori di temperatura simili o alla media storica. Nei mesi di maggio, giugno e agosto si riscontrano valori superiori alla media.

La salinità è compresa tra 37.200 e 38.000 PSU, valori in generale superiori 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 rispetto alla media.

La concentrazione della clorofilla a presenta valori inferiori alla media nei mesi estivi e a marzo, maggio, giugno e dicembre. Nei mesi di gennaio, febbraio, aprile, ottobre e novembre i valori sono superiori alla media. Non si riscontra un picco stagionale primaverile-estivo, evidente invece negli anni passati.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, le concentrazioni sono sempre molto inferiori rispetto alla media. Il valore limite riportato nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml) non è mai stato superato durante il 2017, mentre in passato, in media, è stato superato nei mesi di gennaio, marzo, aprile, giugno, luglio, settembre e dicembre.

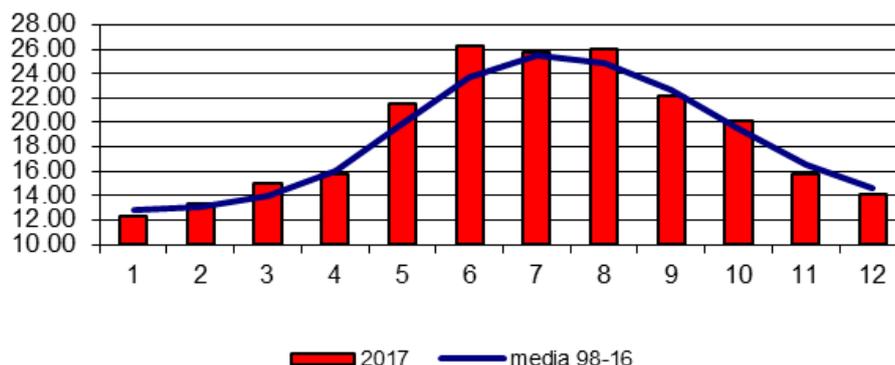
L'ammoniaca presenta generalmente concentrazioni inferiori alla media e sempre notevolmente sotto il valore limite previsto dalla legge 10 maggio 1976 n. 319 (15 mg/l).

Il pH presenta valori in generale superiori o paragonabili alla media.

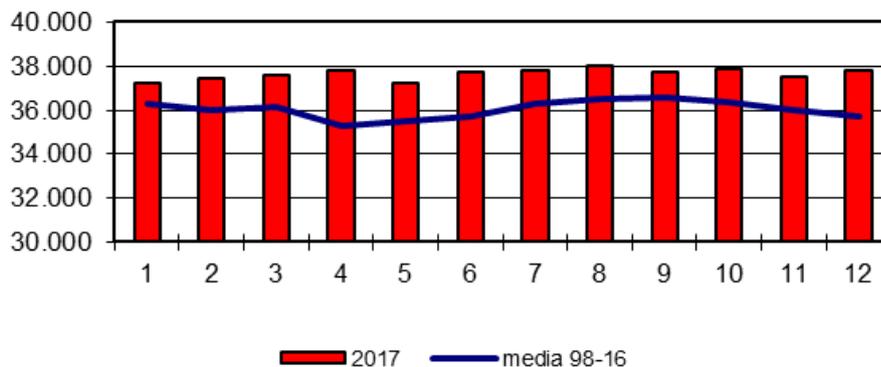
I valori di Red-Ox sono inferiori alla media a gennaio, febbraio e luglio, mentre nei restanti mesi sono superiori o paragonabili alla media.

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

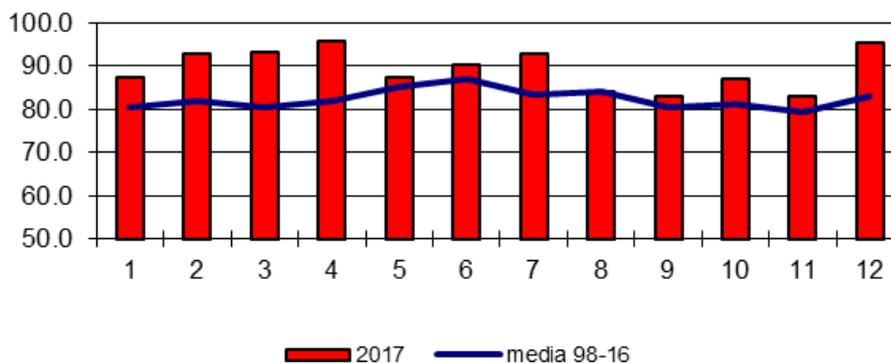
Temperatura (°C)



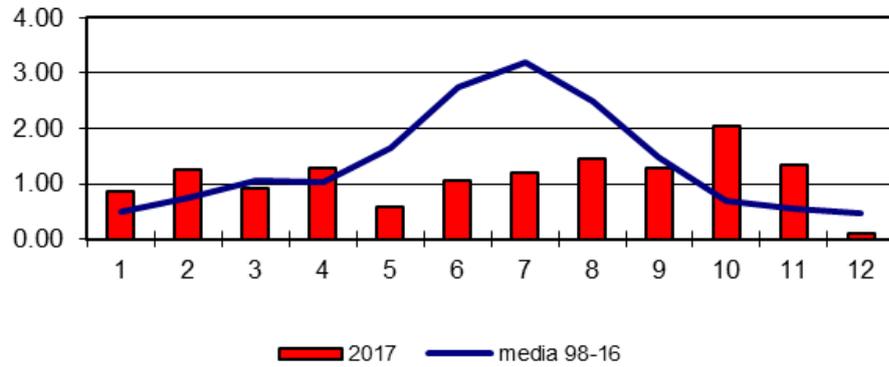
Salinità (PSU)



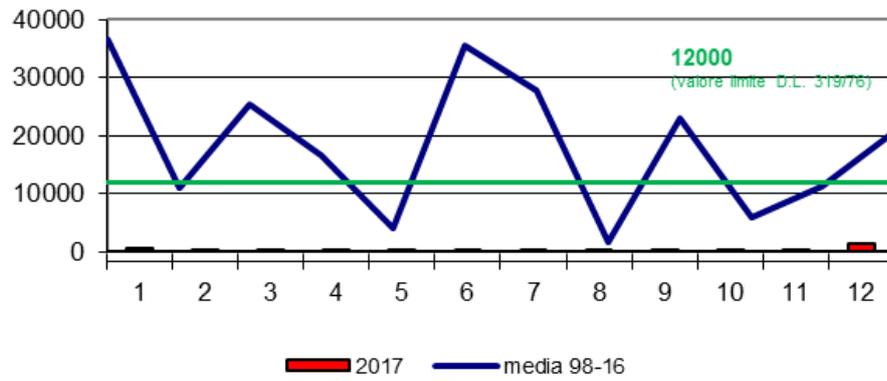
Ossigeno disciolto (% sat)



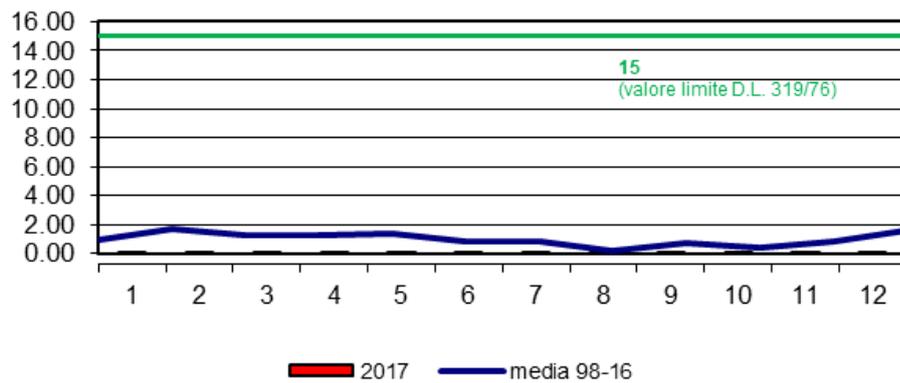
Clorofilla a ($\mu\text{g/l}$)



Coliformi fecali (MPN/100 ml)



Ammoniaca (mg/l)



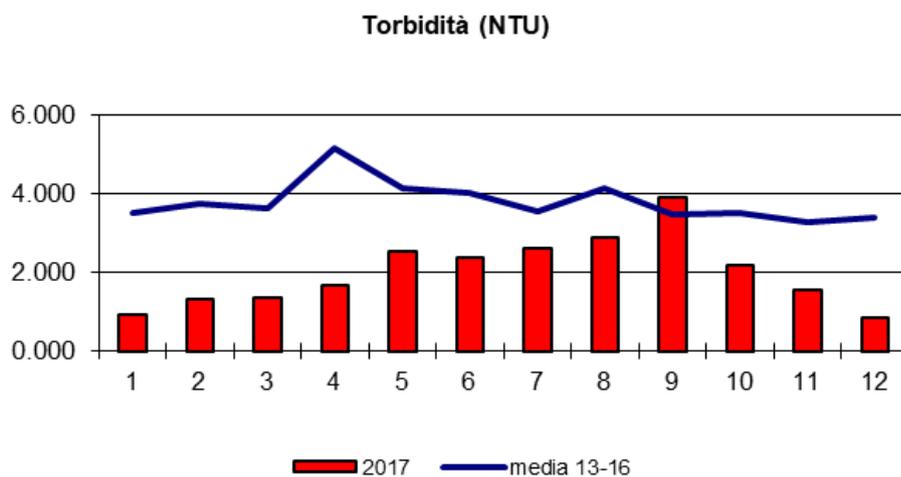
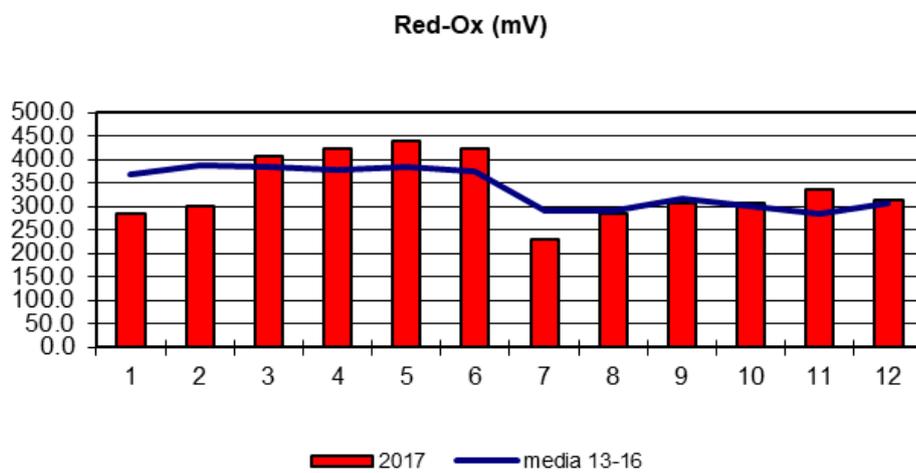
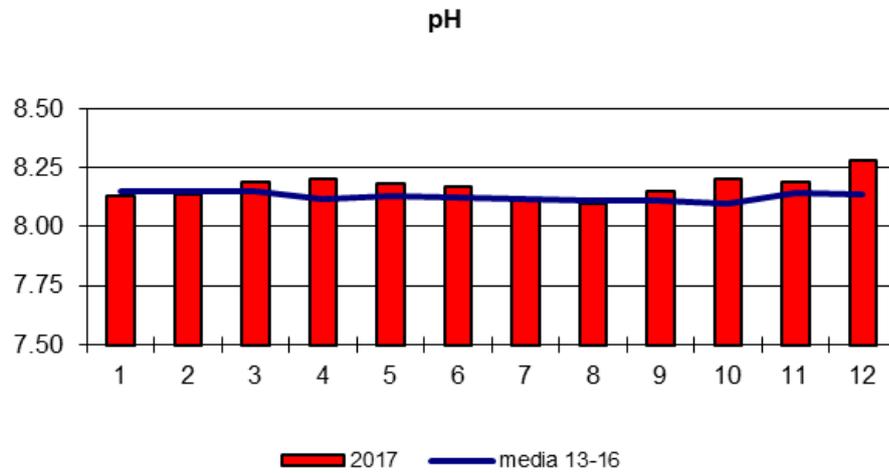


Fig. 3.23 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2017 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2016 (2013-2016 per pH, Red-Ox e torbidità). (stazione 43)

3.3.1 Mann-Kendall Test

Sulle serie dei dati 1998-2017 (medie annuali) 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. E' stato scelto il test t di Mann-Kendall (Kendall, 1962), che verifica l'ipotesi nulla (H_0) 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' H_0 , 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
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 clorofilla, 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 e della clorofilla. 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 salinità e della percentuale dell'ossigeno disciolto 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 nell'anno precedente.

Per i valori di pH, Red-Ox e torbidità non è stato possibile eseguire il test perché il numero di dati a disposizione non era sufficiente per l'elaborazione.

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 2017 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 nei mesi invernali e primaverili, mentre in quelli estivi e autunnali è risultata essere generalmente inferiore alla media. 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 anomalie è dovuta alla mancanza del consueto aumento della temperatura nella zona per tutto l'anno, conseguenza dismissione della centrale termoelettrica iniziata nel 2016.

- 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'anno 2017 è stato caratterizzato da precipitazioni inferiori alla media, fatta eccezione per i mesi di luglio e dicembre con precipitazioni leggermente superiori alla media. L'andamento della salinità nei bacini ha in parte seguito quello delle precipitazioni: in generale si sono riscontrate salinità superiori in tutte le stagioni; nelle zone interessate da scarichi di acqua dolce durante tutto l'anno si notano 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). 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 2017 le concentrazioni di ossigeno disciolto sono state in generale superiori alla media in autunno. Nelle restanti stagioni si notano comportamenti diversi tra i bacini di Genova e di Multedo-Prà-Voltri. In inverno si notano valori generalmente inferiori alla media a Genova e superiori alla media A Multedo-Prà-Voltri. In primavera invece viceversa si riscontrano valori superiori alla media nel bacino di Genova e inferiori alla media nel bacino di Multedo-Prà-Voltri. In estate invece si riscontra un comportamento variegato in entrambi i bacini.

- 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 2017 le concentrazioni di clorofilla-a sono state vicine alla media o inferiori nella stagione estiva, mentre sono state superiori alla media nella stagione autunnale. In Inverno e primavera si notano comportamenti diverse nelle varie zone portuali, con un aumento delle concentrazioni a Multedo in inverno e a Sampierdarena in primavera.
- 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 positive in quasi tutta l'area, fatta eccezione per il bacino di Multedo che presenta anomalie negative durante tutto l'anno. Le concentrazioni più elevate si riscontrano prevalentemente in prossimità degli scarichi antropici.
- Per quanto riguarda il pH si nota come la distribuzione sia piuttosto omogenea sia nel tempo sia nello spazio, con valori leggermente inferiori nella zona presso il depuratore in Darsena. In generale il bacino di Genova presenta valori inferiori al bacino di Multedo-Voltri. Nel 2017 in generale si sono riscontrati valori inferiori alla media in inverno ed estate, mentre in primavera e autunno i valori sono stati generalmente superiori alla media.
- Il potenziale Red-Ox presenta valori abbastanza variabili sia nel tempo sia nello spazio. Nei mesi primaverili e autunnali si trovano valori superiori alla media, mentre nei mesi invernali ed estivi si trovano valori inferiori alla media.

- La torbidità non presenta un andamento stagionale ma è abbastanza variabile. Durante il corso dell'anno i valori risultano essere piuttosto uniformi, durante l'anno si sono trovati talvolta singoli punti con valori alterati, probabilmente dovuti a passaggi di navi, lavori di movimentazioni o forti piogge. In generale nel 2017 si sono trovati valori di torbidità inferiori alla media.

La classificazione dei siti determinata dall'analisi statistica multivariata compiuta sul set di dati 1998-2016 risulta valida anche per il 2017 ed ha evidenziato alcune aree "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 2017 e l'andamento medio (calcolato sul set di dati 1998-2015). Per i dati di pH, Red-Ox e torbidità, l'analisi è stata fatta riportando l'andamento medio calcolato sul set di dati 2013-2016. 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. Queste considerazioni sono supportate dai risultati ottenuti applicando ai dati delle zone critiche il test di Mann-Kendall per verificare la presenza di trend.

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.

Anche l'analisi delle caratteristiche chimiche e fisiche dei sedimenti riveste una notevole importanza nella valutazione dell'ambiente portuale, soprattutto in relazione ai bassi fondali presenti nell'area. I sedimenti, infatti, possono svolgere un ruolo di trasporto diretto dei contaminanti e possono inoltre fungere da ricettacolo transitorio e definitivo degli stessi.

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.

Sarebbe inoltre interessante poter monitorare l'andamento delle correnti all'interno dell'area portuale, attraverso correntometri e/o profilatori, sia a scafo sia fissi, per esempio posti alle imboccature portuali. Questo permetterebbe di avere nozioni sulle correnti e sulla dinamica delle masse d'acqua, utile per progettare sistemi di segregazione del porto rispetto all'ambiente circostante, funzionali ed efficaci.

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.

BIBLIOGRAFIA

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

Autorità portuale di Genova. <http://www.porto.genova.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., Mistic 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.

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., Mistic 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

