



Servizi Ecologici Porto di Genova s.r.l.

committente



AUTORITA' PORTUALE DI GENOVA

DIREZIONE GESTIONE DEL TERRITORIO

Ufficio Ambiente

***ANALISI DEI DATI FISICO-CHIMICO-BIOLOGICI
DERIVANTI DAL MONITORAGGIO
AMBIENTALE MARINO
NELL'AREA DEL PORTO DI GENOVA
ANNO 2015***

Giugno 2016

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	6
2.4 Coliformi fecali	6
2.5 Azoto ammoniacale	6
3 RISULTATI E DISCUSSIONE	7
3.1 Caratteristiche generali del sistema portuale	7
3.2 L'anno 2015	12
3.3 Le aree "critiche": confronto con gli anni precedenti	26
3.3.1 Mann-Kendall Test	43
4 CONSIDERAZIONI FINALI	45
BIBLIOGRAFIA	49
APPENDICE	50

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 sei 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 e clorofilla-a.

Fino ad aprile 2005, il monitoraggio è stato condotto effettuando 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 2015 rappresentano il monitoraggio condotto effettuando 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 2015, 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; poiché non esiste una serie storica si rimanda l'analisi delle anomalie di tali parametri ai prossimi anni, mentre quest'anno viene analizzato solo l'andamento della variabilità spaziale. Si è comunque provveduto a inserire in appendice le mappe mensili di tali dati.

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.

Si segnala come, nell'anno 2015, a febbraio, a causa di problemi tecnici alla sonda, i dati raccolti sono risultati poco attendibili. Interpolando con i dati storici abbiamo potuto però fornire un'ipotesi plausibile di come avrebbero potuto essere i parametri.

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

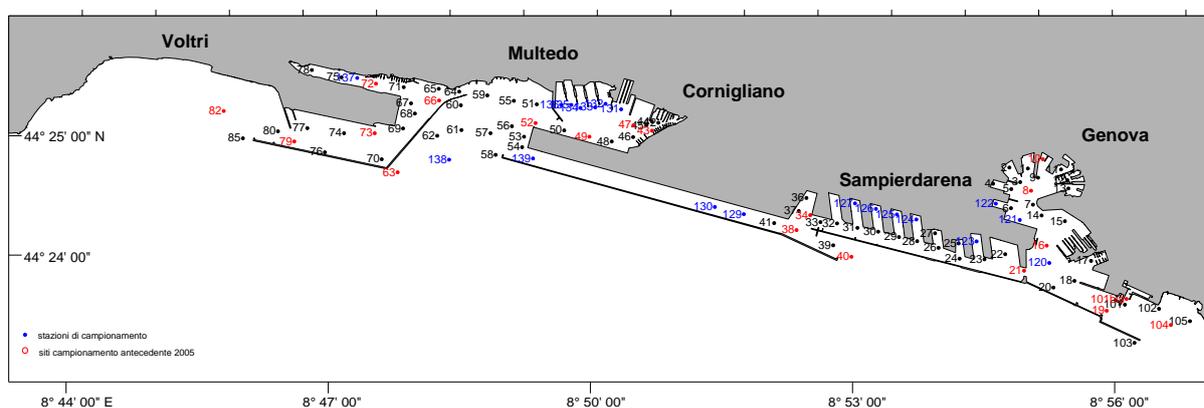


Fig. 2.1 Punti di campionamento dell'anno 2015 in rosso sono evidenziati i punti in cui vengono prelevati campioni d'acqua sub-superficiale e in blu i punti introdotti da ottobre 2010.

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) 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

Tipo sensore	Range	Accuracy	Resolution
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) e dal sito di meteorologia Eurometeo (www.eurometeo.com).

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.

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Tutti i risultati provenienti dal monitoraggio effettuato nell'anno 2015 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.

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.

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. 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 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 vengano 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, in quanto 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 (4,9-10, colore arancione) si caratterizzano per basse concentrazioni di ossigeno disciolto, basso pH e alta torbidità. Invece le zone maggiormente influenzate dalle foci dei torrenti (37,38,41,129,130, colore blu) si caratterizzano da salinità e temperature meno elevate, le altre stazioni si distribuiscono seguendo il gradiente interno-esterno del

bacino, con aumento dell'ossigeno disciolto e della salinità. Le stazioni 24 e 25 (colore rosso), poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel, si distinguono per la temperatura più elevata.

Anche nel bacino di Multedo le stazioni più interne e poste in corrispondenza dei principali apporti da terra (42-45, 47 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 più vicine alla pista dell'aeroporto e quindi più influenzate dall'acqua dolce proveniente dal Polcevera e incanalata nel canale di calma (54,139, colore blu) sono caratterizzate da una diminuzione della salinità e della temperatura.

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-Voltri (b). Ogni gruppo è evidenziato con colore diverso nel grafico.

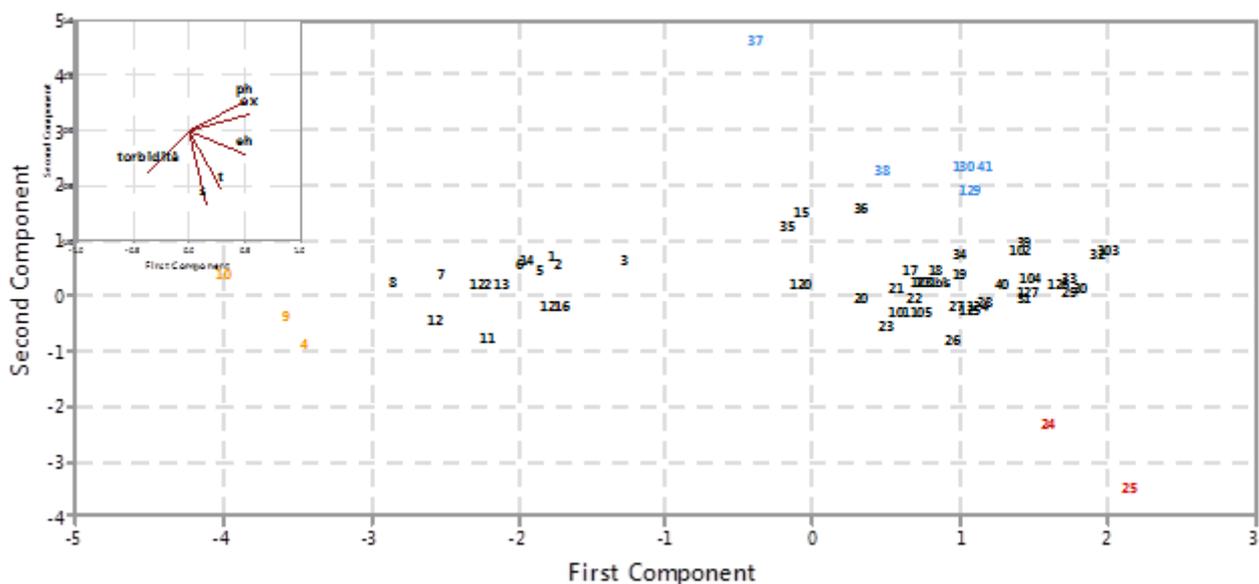


Fig 3.1 a

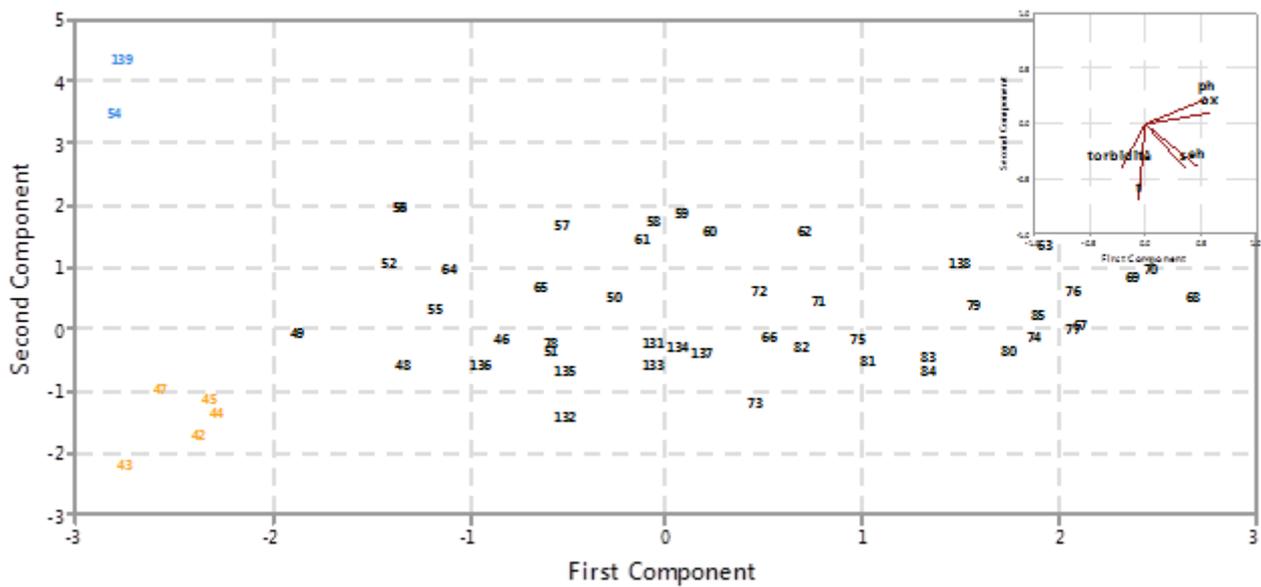


Fig 3.1 b

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

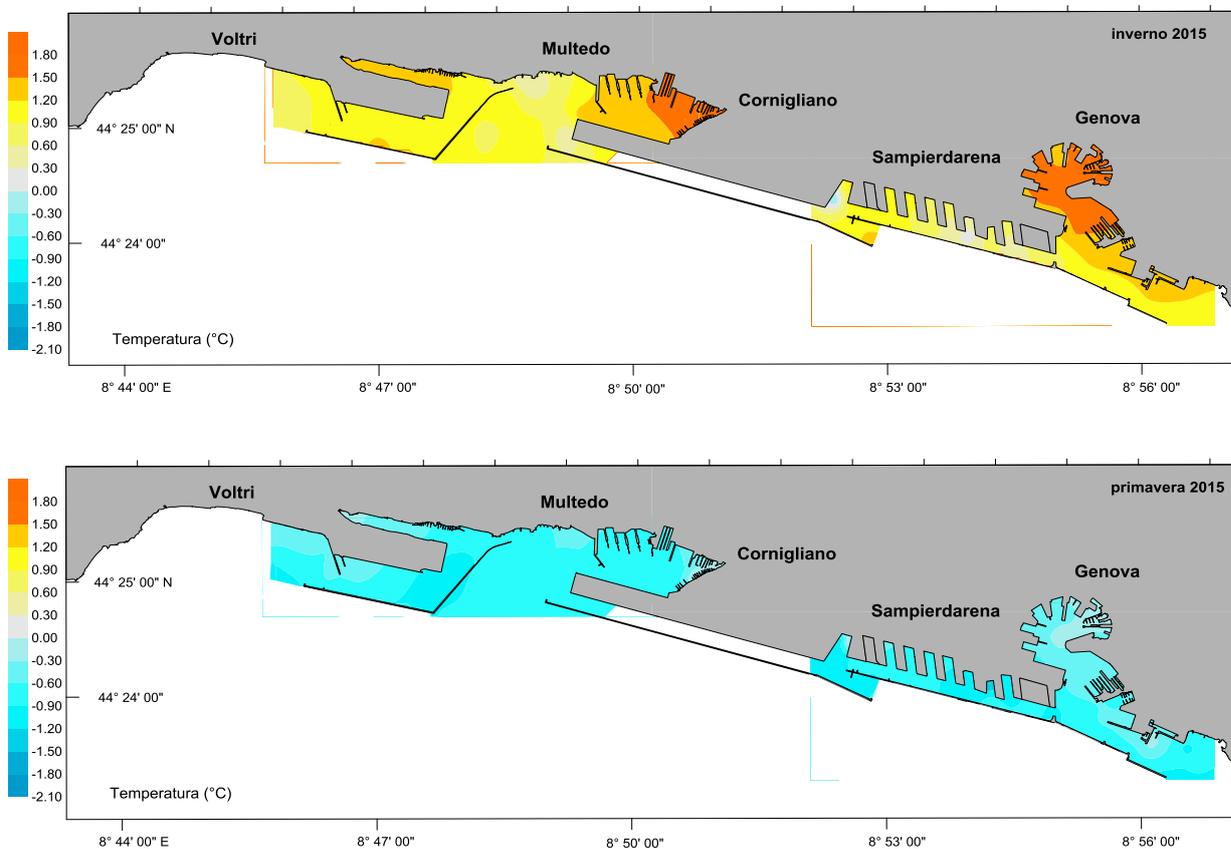
3.2 L'anno 2015

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 2015, seppure con alcune variazioni. Maggiori dettagli sui dati raccolti nel 2015 sono riportati in appendice.

Si segnala inoltre che, a maggio 2015, la nave Concordia è stata spostata dal bacino di Voltri al bacino di Genova (all'area del superbacino) per ultimare i lavori di smantellamento. Analizzando i dati si nota come per i parametri analizzati, non ci sono sostanziali differenze rispetto agli anni precedenti nelle due zone interessate.

Per meglio evidenziare la presenza di alcune differenze nei risultati del monitoraggio relativo all'anno 2015 rispetto agli anni precedenti, si riportano le distribuzioni spaziali delle anomalie stagionali dei parametri (calcolate rispetto ai dati 1998-2014). 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 e alla temperatura atmosferica.

In Fig. 3.2 sono riportate le anomalie della temperatura delle acque portuali nel 2015, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre), e le anomalie della temperatura atmosferica, sempre per il 2015.



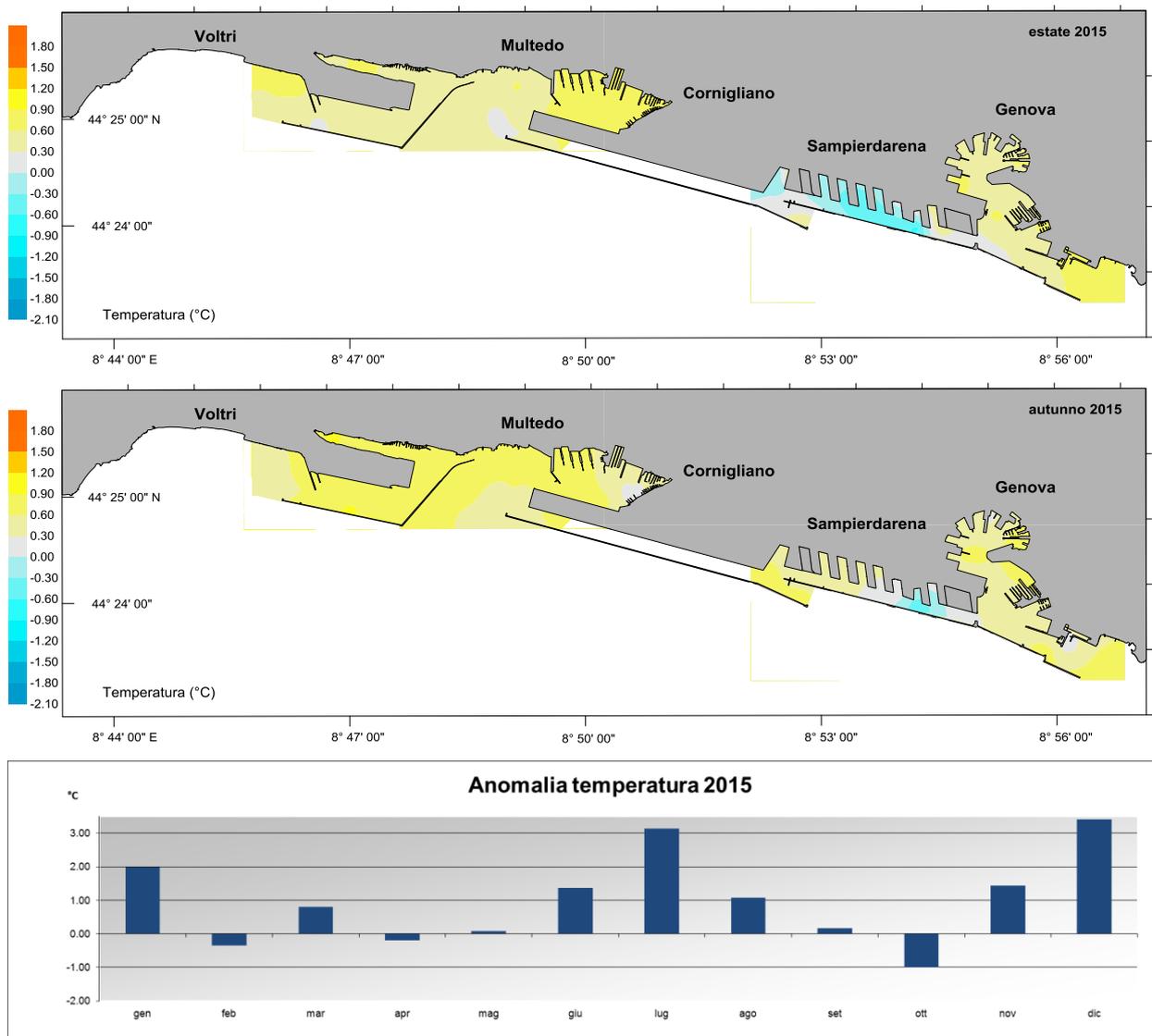


Fig. 3.2 Distribuzione spaziale delle anomalie della temperatura dell'acqua e della temperatura atmosferica nel 2015

Per quanto riguarda la temperatura atmosferica, l'anno 2015 è stato in generale 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 febbraio e ottobre che presentano temperature inferiori alla media.

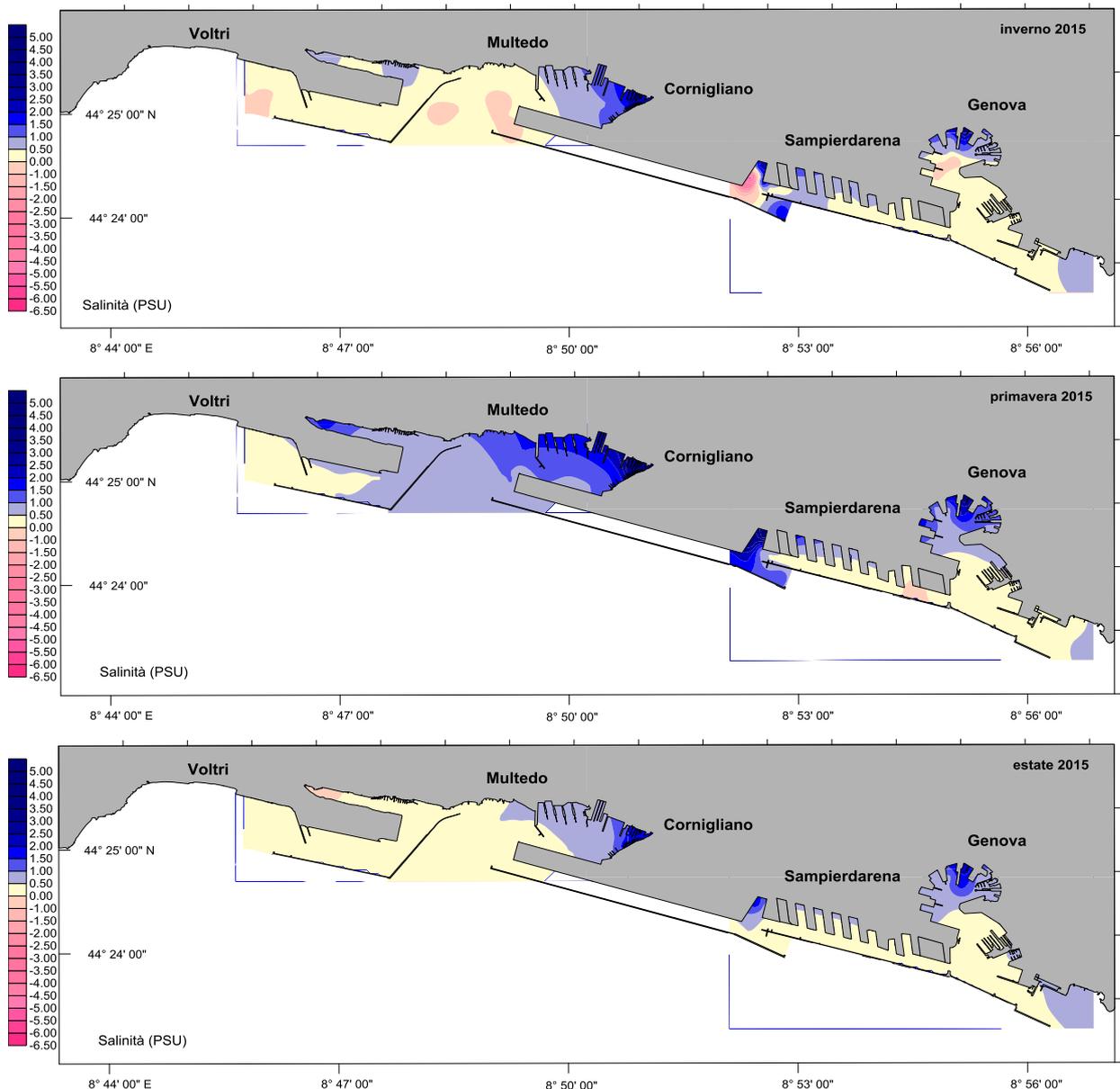
Analizzando le anomalie della temperatura dell'acqua possiamo notare che:

- In inverno si trovano anomalie positive in tutta l'area portuale. In particolare si notano anomalie più marcate a Multedo e nel Porto Antico.
- In primavera si notano anomalie negative in quasi tutta l'area portuale.

- In estate si riscontrano anomalie vicine allo zero o leggermente positive in quasi tutta la zona portuale, fatta eccezione per le zone di Sampierdarena e la foce del Polcevera che presentano valori negativi.
- In autunno si riscontrano anomalie positive in tutta l'area, fatta eccezione per la zona nei pressi della centrale dell'Enel dove si riscontrano anomalie negative.

Per tutte le stagioni l'andamento delle anomalie della temperatura dell'acqua è abbastanza in accordo con quello delle anomalie della temperatura atmosferica, in particolare per la stagione invernale e autunnale.

In Fig. 3.3 sono riportate le anomalie della salinità delle acque portuali nel 2015, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre), e le anomalie delle precipitazioni, sempre per il 2015.



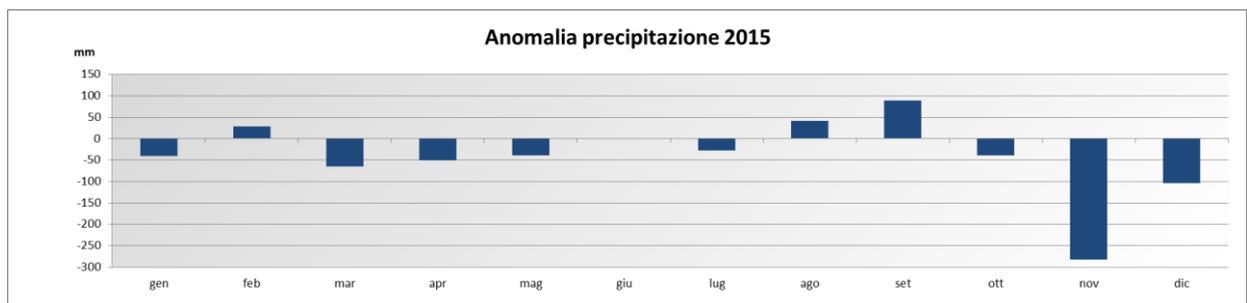
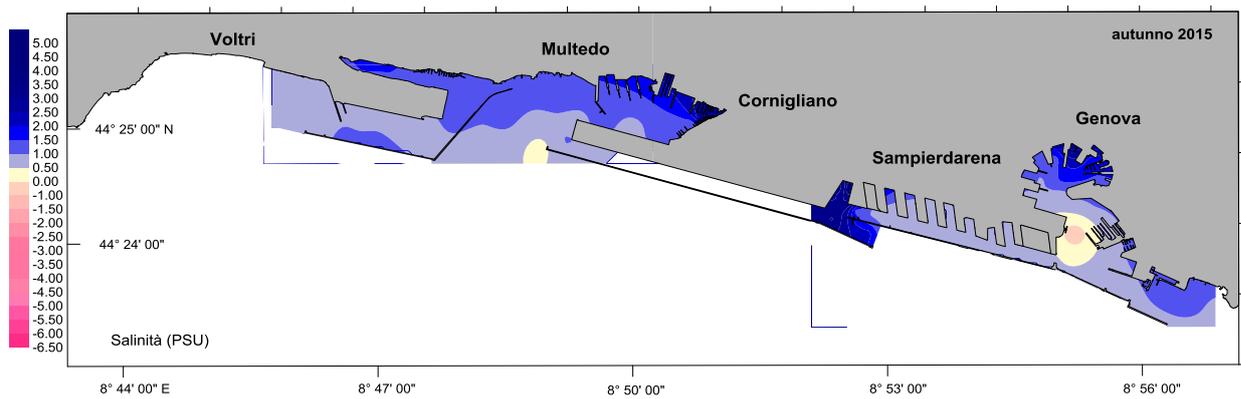


Fig. 3.3 Distribuzione spaziale delle anomalie della salinità e delle precipitazioni atmosferiche nel 2015

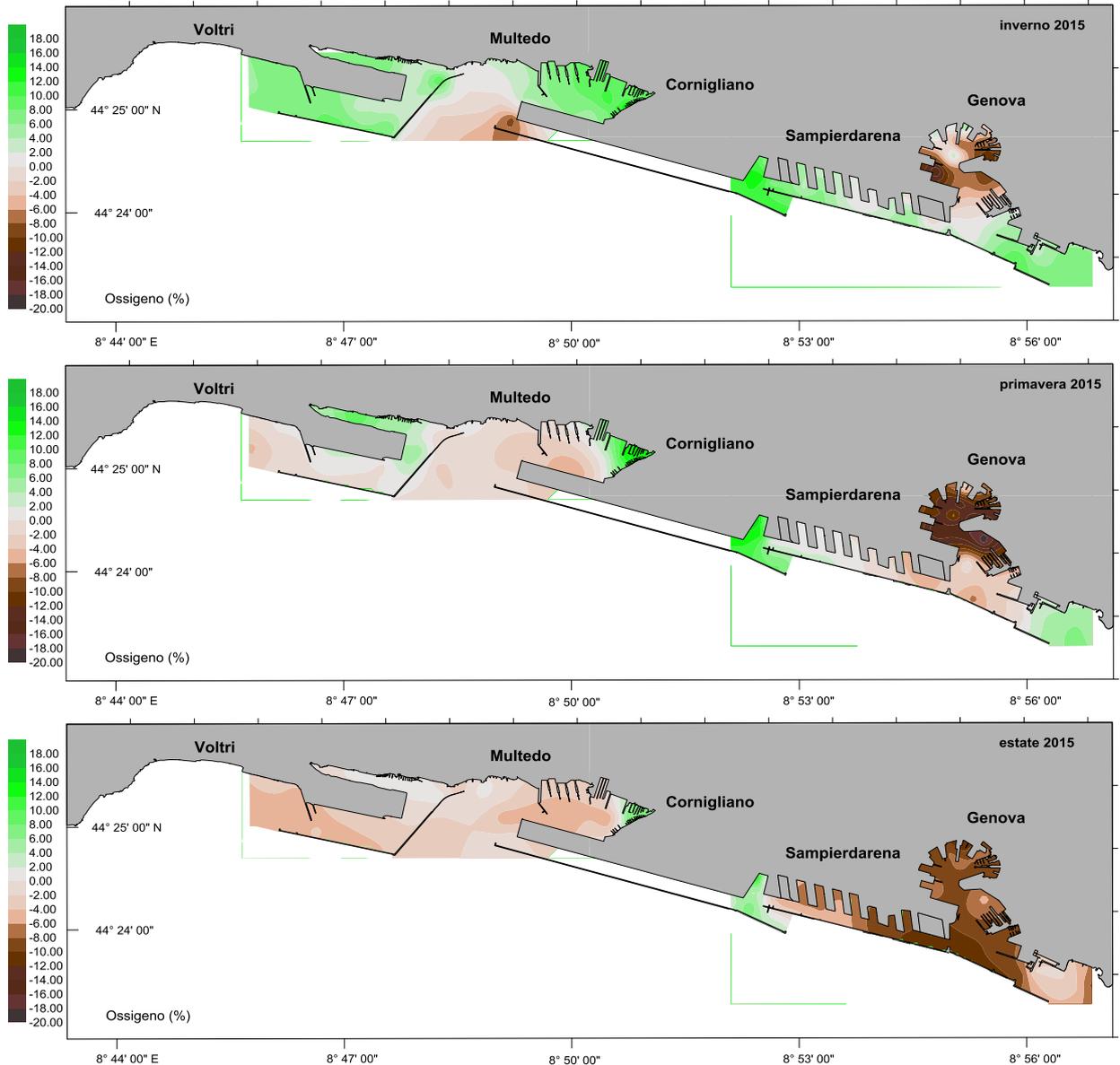
L'anno 2015 è stato in generale caratterizzato da precipitazioni inferiori alla media tranne che per i mesi di febbraio, agosto e settembre dove si sono riscontrate precipitazioni superiori alla media.

Analizzando le anomalie della salinità possiamo notare che:

- In inverno si sono riscontrate anomalie positive nella zona del Porto Antico, la zona della foce del Polcevera, Multedo e l'area di Punta Vagno. Nel resto dell'area portuale si trovano anomalie leggermente negative o intorno allo zero.
- 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 più marcatamente superiori alla media.
- In estate le anomalie sono positive o intorno allo zero in tutta l'area, in particolare alle foci del Chiaravagna e del Polcevera e in tutta la zona del Porto Antico si notano anomalie marcatamente positive.
- In autunno quasi tutta la zona è interessata da anomalie positive; in particolare alla foce del Polcevera, nella zona presso il depuratore in Darsena, nell'area di Punta Vagno 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 le anomalie sono superiori alla media.

In Fig. 3.4 sono riportate le anomalie della percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto nelle acque portuali nel 2015, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



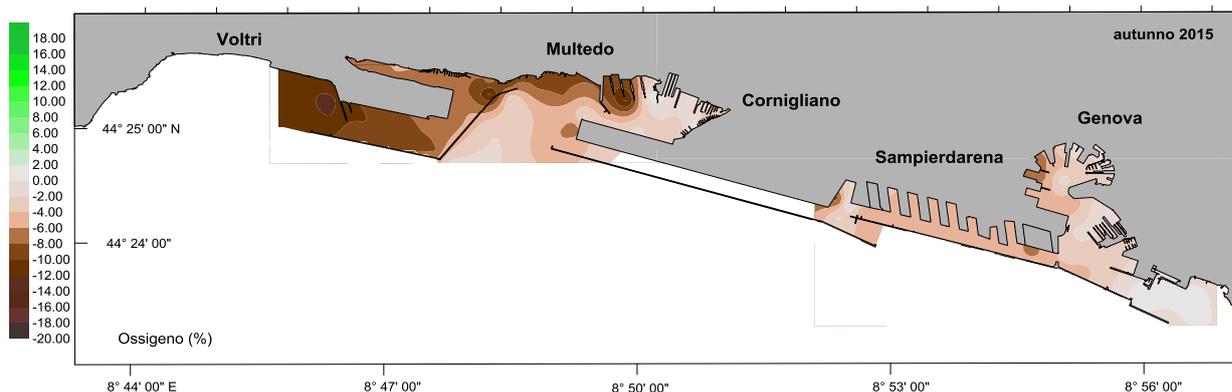


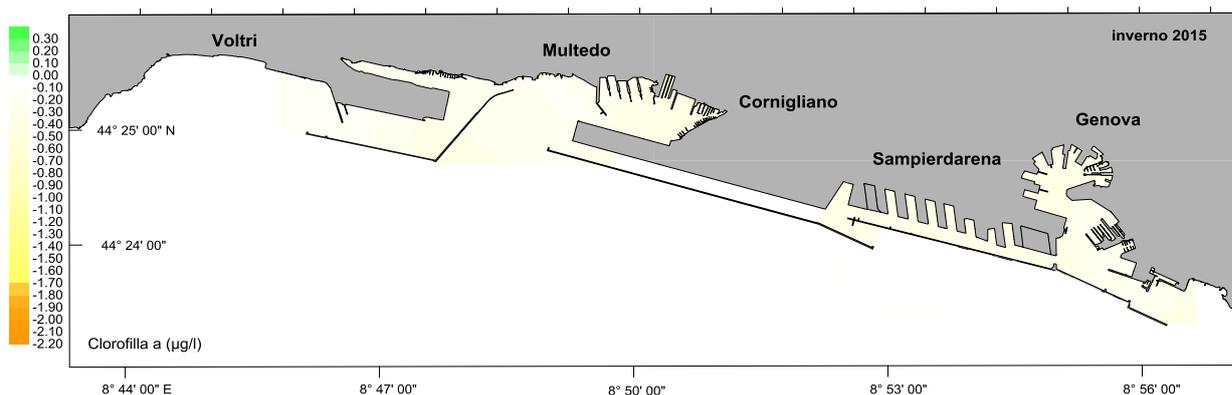
Fig. 3.4 Distribuzione spaziale delle anomalie della percentuale di saturazione dell'ossigeno nel 2015

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

- In inverno presenta un'anomalia positiva in tutta l'area portuale, tranne che nell'area del Porto Antico dove si riscontrano anomalie negative.
- In primavera si notano anomalie positive o prossime allo zero in tutta l'area portuale fatta eccezione per il Porto Antico dove si riscontrano anomalie positive.
- In estate si riscontrano anomalie negative o prossime allo zero in quasi tutta l'area. Presso la foce del Polcevera e la foce del Chiaravagna si notano anomalie negative.
- In autunno si notano anomalie negative in tutta l'area portuale.

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. 3.5 sono riportate le anomalie della concentrazione di clorofilla a nelle acque portuali nel 2015, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



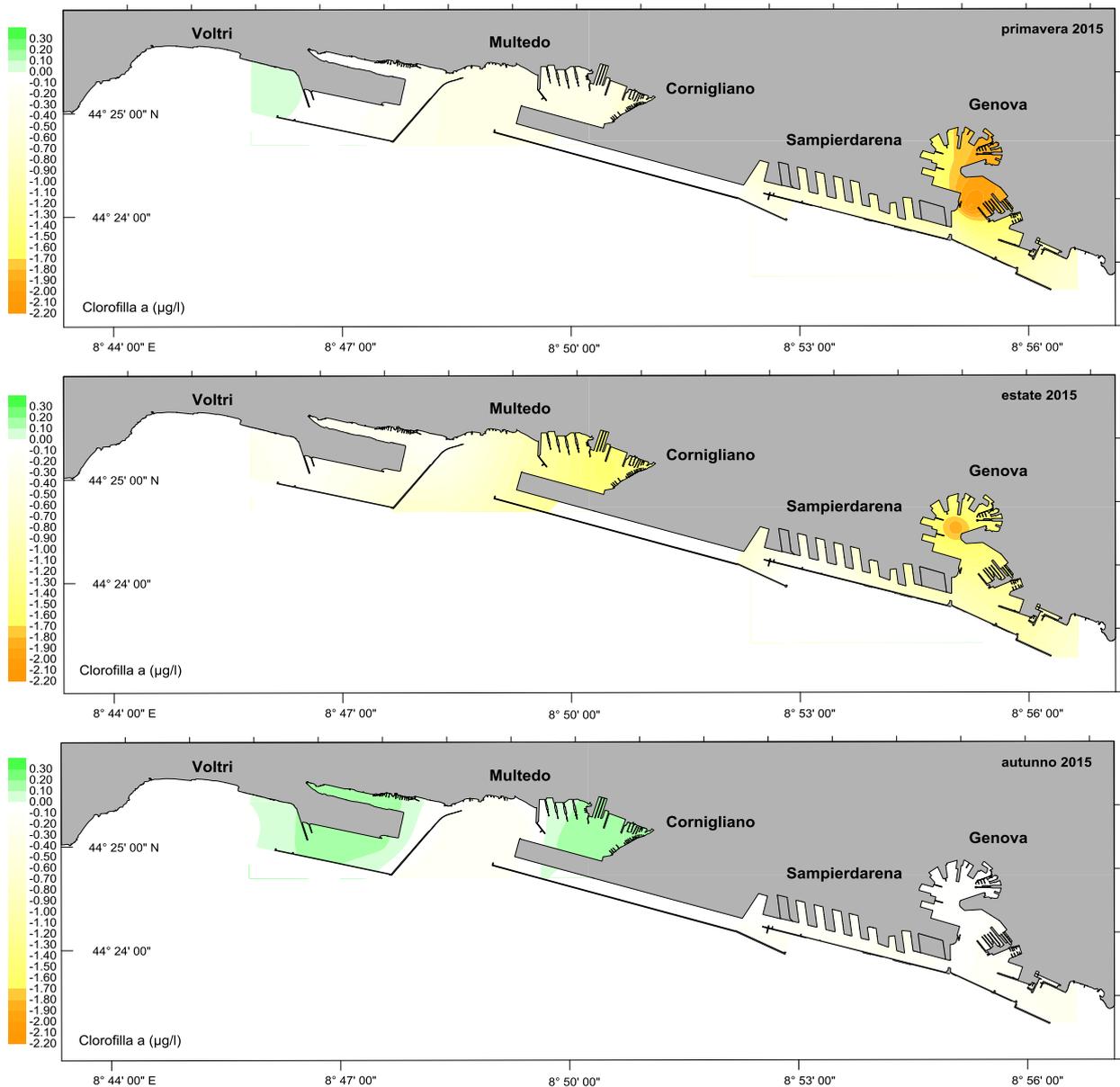


Fig. 3.5 Distribuzione spaziale delle anomalie della clorofilla a nel 2015

Considerando le anomalie della clorofilla-a possiamo osservare:

- In inverno le anomalie sono prossime allo zero in tutta l'area portuale.
- In primavera si riscontrano anomalie prossime allo zero o leggermente negative in tutta la zona del porto, in particolare si evidenziano anomalie più marcate nella zona del Porto Antico.
- In estate, in tutta l'area portuale, le anomalie sono leggermente negative o prossime allo zero. In particolare si evidenziano anomalie più marcate nella zona del Porto Antico e nel bacino di Multedo.
- In autunno le anomalie sono prossime allo zero in quasi tutta la zona portuale. Nel bacino di Multedo e in quello di Voltri si riscontrano anomalie positive.

In Fig. 3.6 sono riportate le anomalie della concentrazione di ammoniaca nelle acque portuali nel 2015, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).

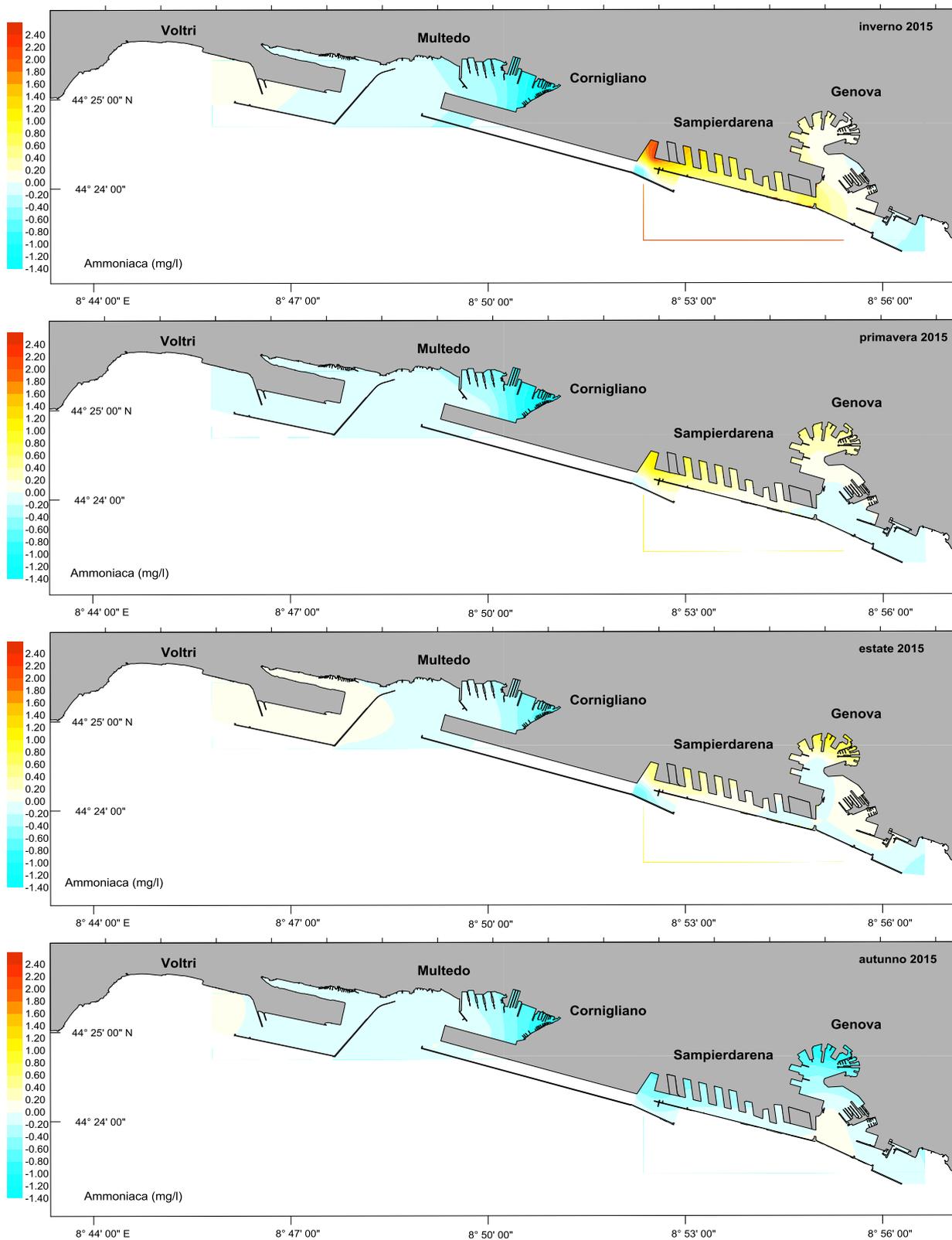
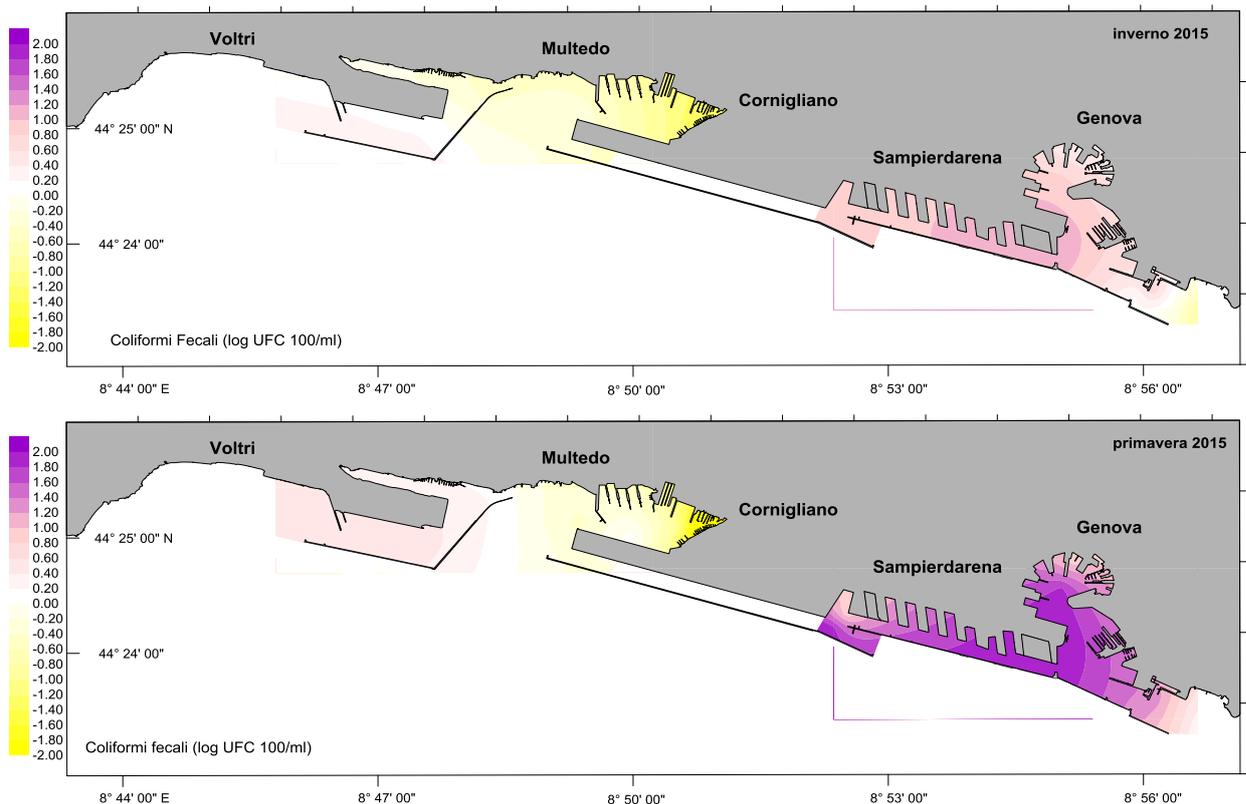


Fig. 3.6 Distribuzione spaziale delle anomalie dell'ammoniaca nel 2015

Analizzando le anomalie dell'ammoniaca possiamo notare:

- In inverno le anomalie sono negative nei bacini di Multedo e di Voltri, mentre nel bacino di Genova sono positive o prossime allo zero. In particolare alla foce del Polcevera si riscontrano anomalie fortemente positive.
- In primavera le anomalie sono negative o prossime allo zero nei bacini di Multedo e di Voltri. Nelle zone del Porto Antico del canale di Sampierdarena e della foce del Polcevera si trovano anomalie positive.
- In estate le anomalie sono negative o prossime allo zero nei bacini di Multedo e di Voltri. Nelle zone del Porto Antico, del canale di Sampierdarena e della foce del Polcevera si trovano anomalie positive.
- In autunno in tutta l'area le anomalie sono negative o prossime allo zero.

In Fig. 3.7 sono riportate le anomalie della concentrazione dei coliformi fecali nelle acque portuali nel 2015, in inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) e autunno (ottobre-dicembre).



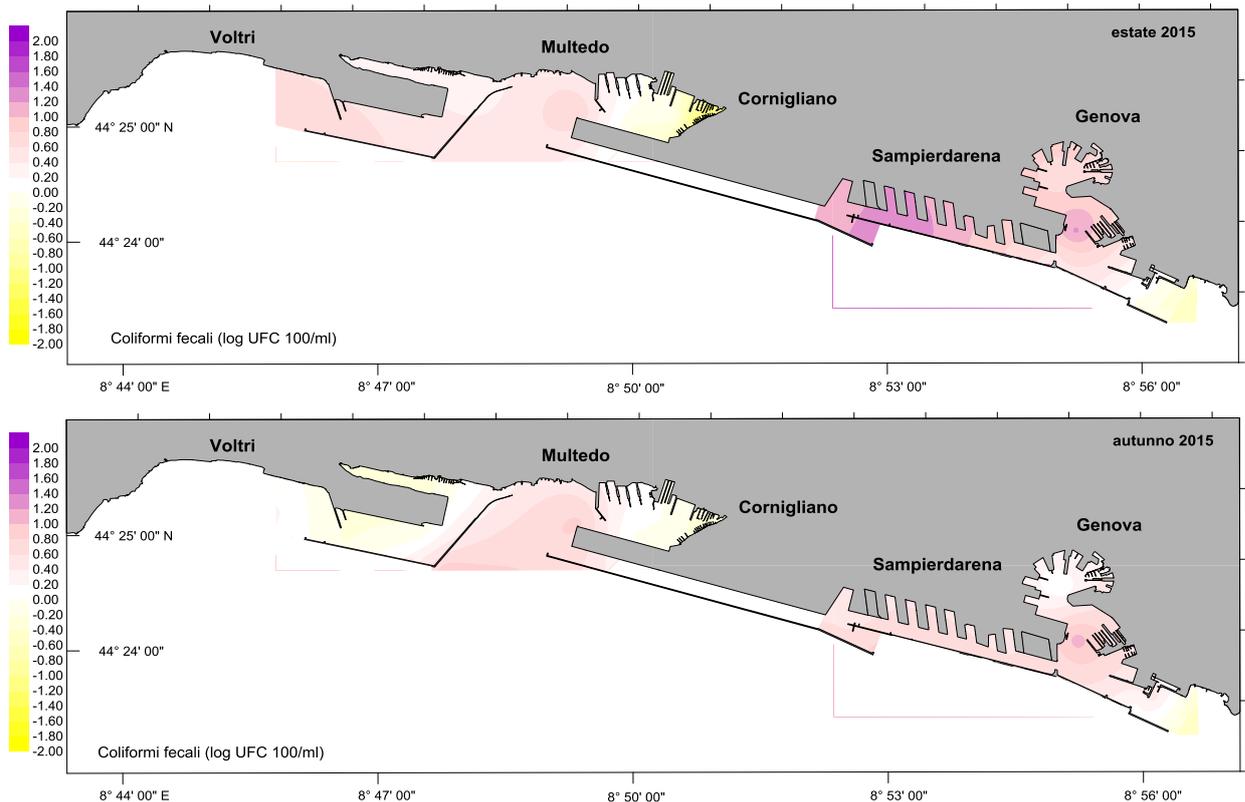


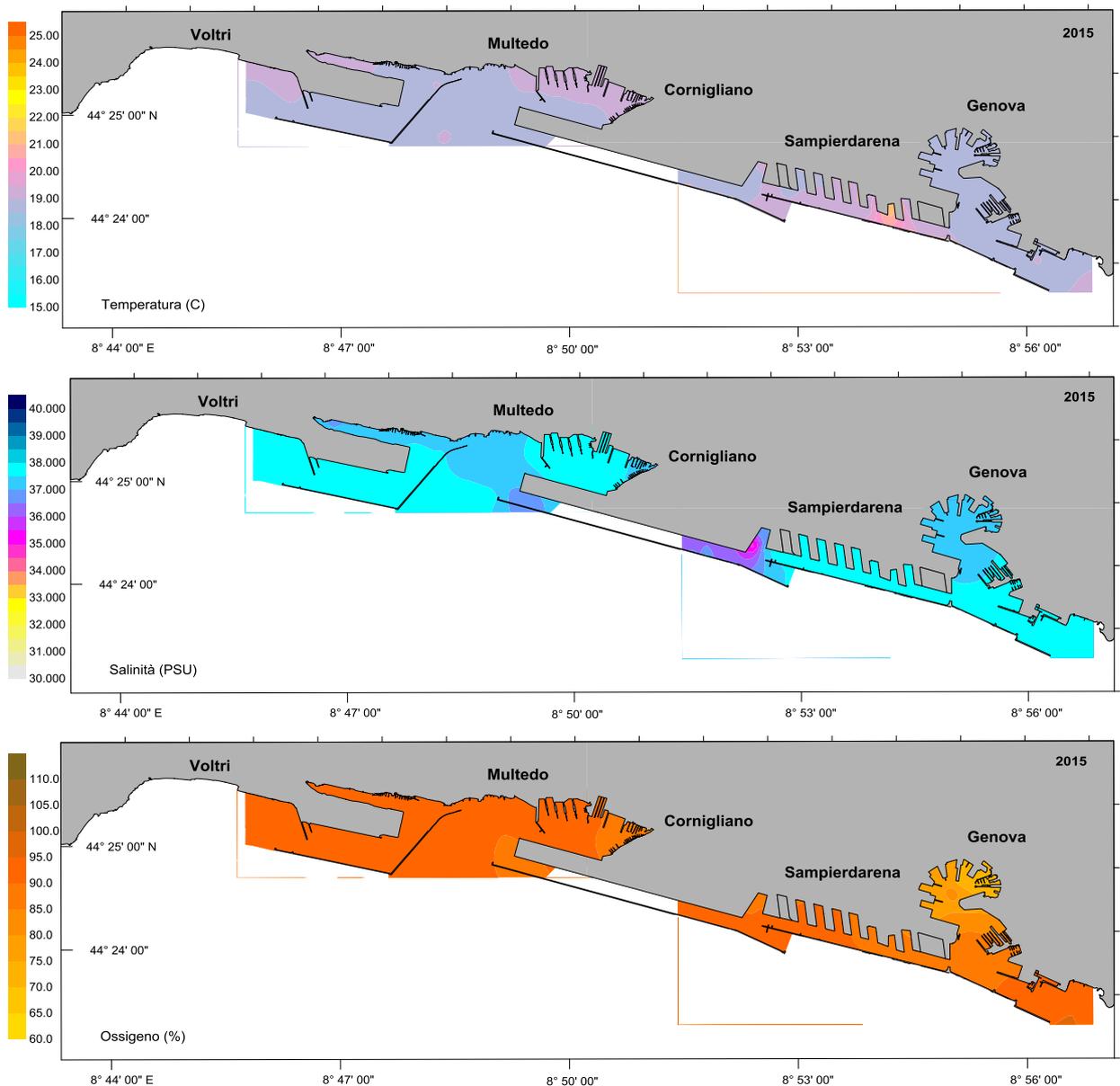
Fig. 3.7 Distribuzione spaziale delle anomalie dei coliformi fecali nel 2015

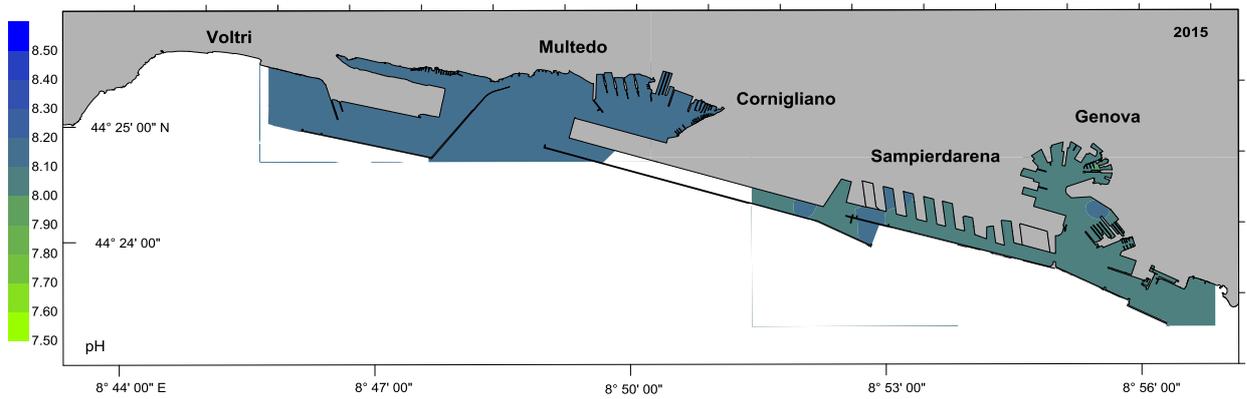
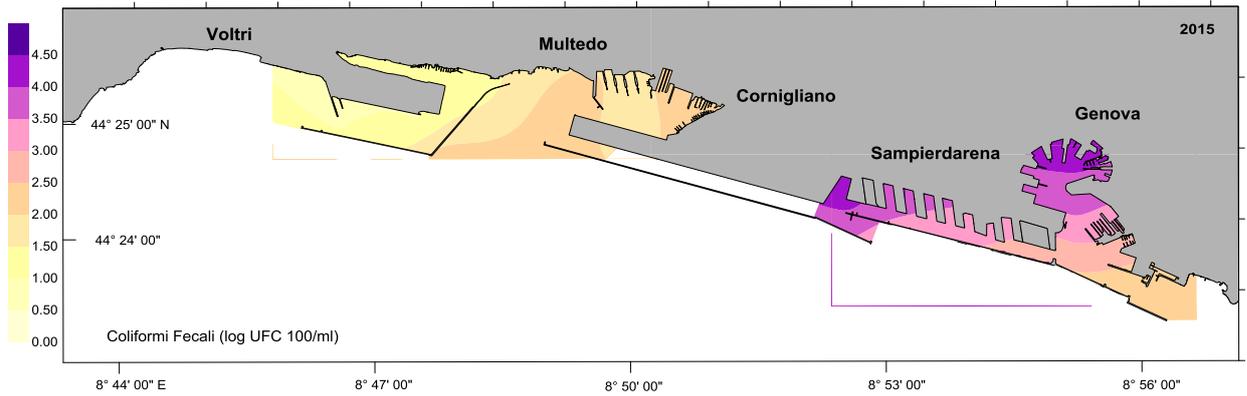
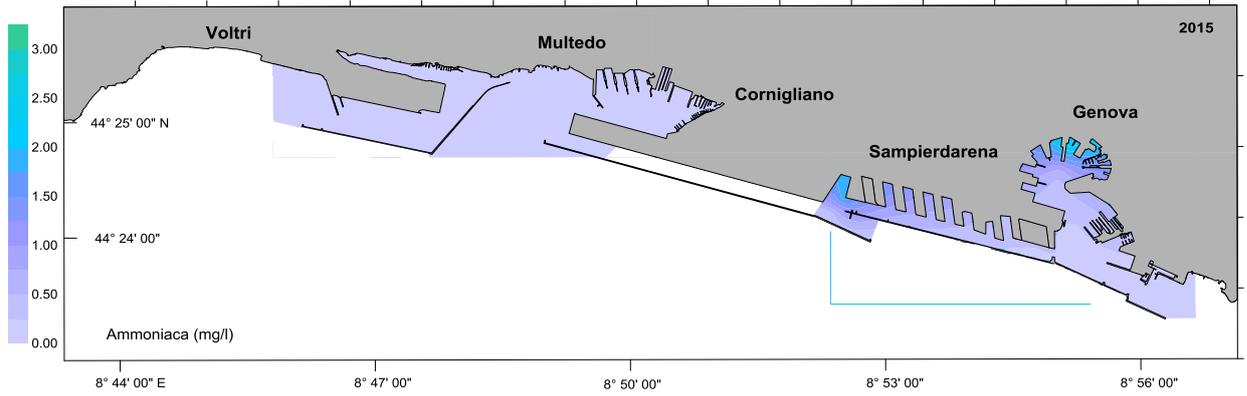
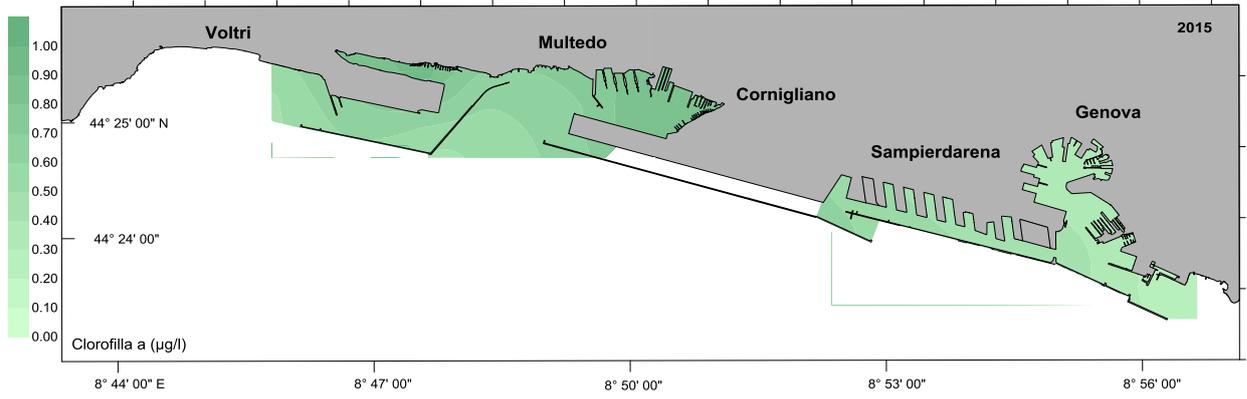
Analizzando la concentrazione di coliformi fecali possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono negative nel bacino di Multedo e a Punta Vagno, mentre nel bacino di Genova e in quello di Voltri si riscontrano anomalie positive o prossime allo zero. In primavera le anomalie sono negative nel bacino di Multedo, mentre in quello di Voltri sono prossime allo zero. Nel bacino di Genova le anomalie sono marcatamente positive.
- In estate le anomalie sono negative o prossime allo zero presso la foce del Chiaravagna e a Punta Vagno, mentre nel bacino di Voltri e in quello di Genova si riscontrano anomalie positive.
- In autunno in quasi tutta l'area portuale si riscontrano anomalie positive, tranne che nel bacino di Voltri e a Punta Vagno dove si riscontrano anomalie negative.

Lo studio della variabilità spaziale dei parametri monitorati nel porto di Genova durante l'anno 2015 (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. 3.8).





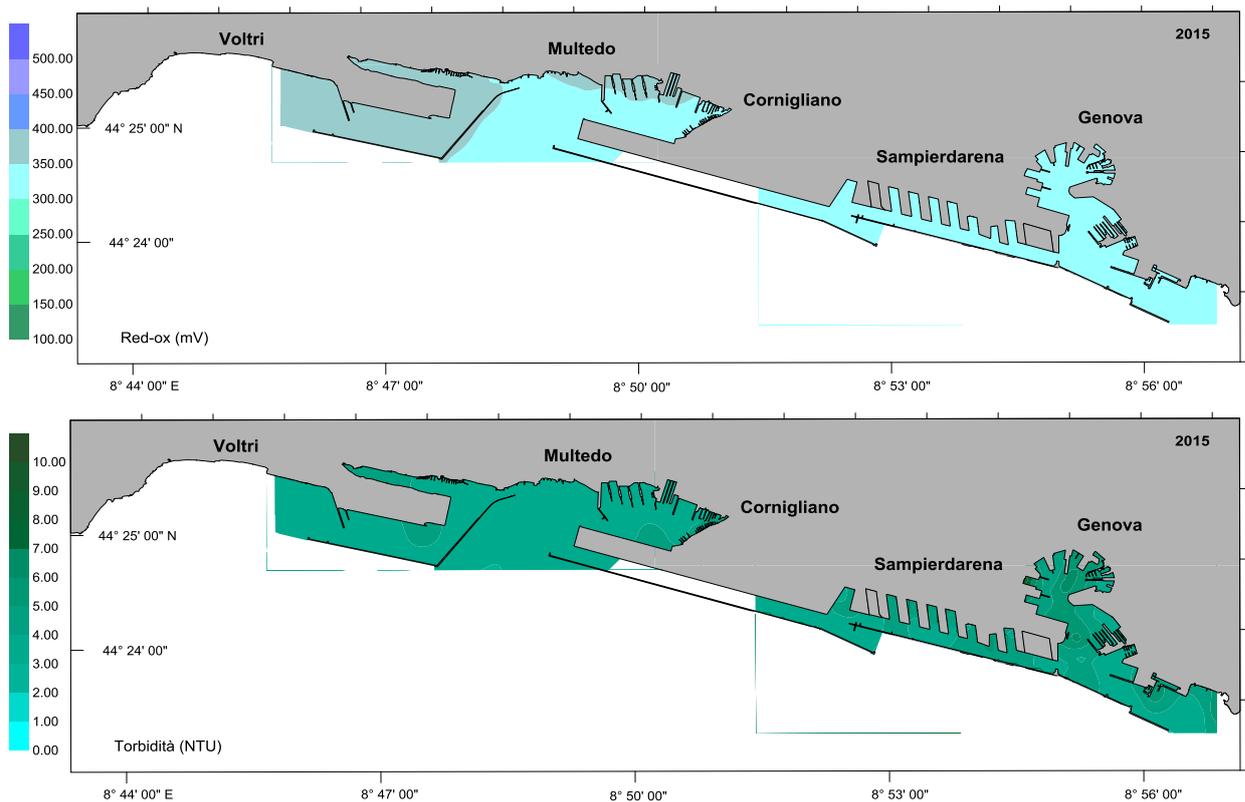


Fig. 3.8 Distribuzioni spaziali (media annuale) di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla-a, ammoniacale, coliformi fecali, pH, potenziale Red-Ox e torbidità.

La distribuzione della temperatura evidenzia una distribuzione dei valori di temperatura abbastanza omogenea, con valori leggermente maggiori nelle zone più confinate. Le stazioni poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica dell'Enel a Sampierdarena, si distinguono per la temperatura più elevata di circa 2.80°C rispetto al resto del bacino.

La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci e, infatti, i valori minimi si trovano alla foce del Polcevera e presso il depuratore in Darsena. Nella zona di Multedo-Voltri i valori più bassi di salinità si trovano all'imboccatura di ponente del canale di calma adiacente alla pista dell'aeroporto e nel canale di Prà. 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 ammoniacale 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. 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 leggeri aumenti della concentrazione di coliformi fecali e di ammoniaca in prossimità della foce del Chiaravagna.

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

Il potenziale Red-Ox presenta una distribuzione abbastanza uniforme, si nota però come valori un po' più alti si riscontrano nel Bacino di Voltri.

I massimi valori di torbidità si notano nell'area del Terminal Traghetto 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 relazionate 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.

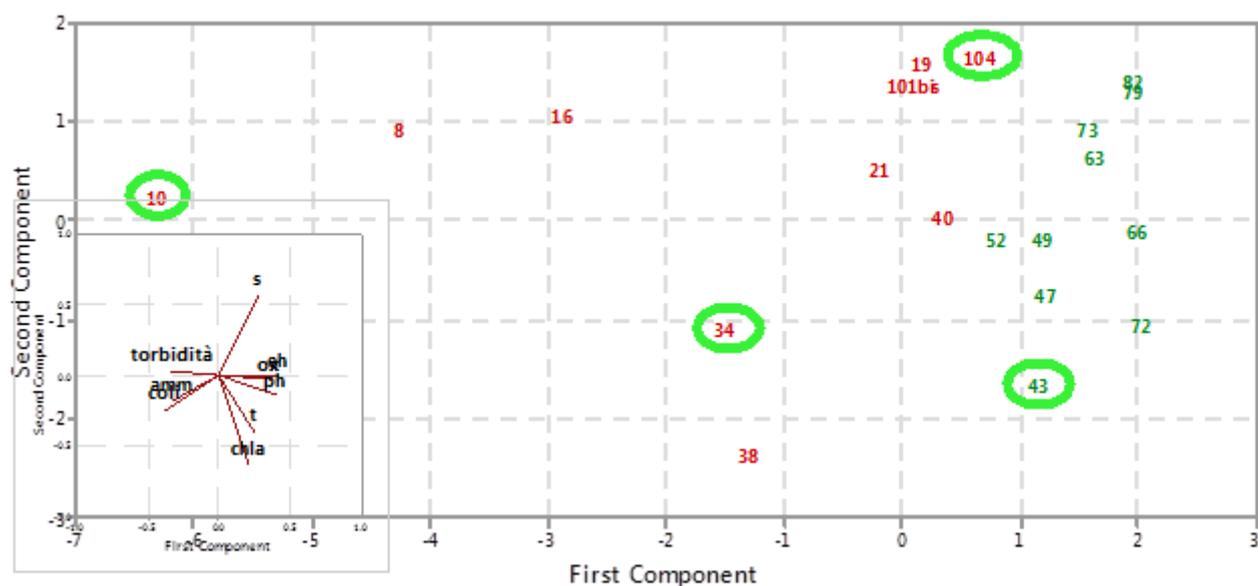


Fig 3.9 Analisi delle componenti principali applicata ai bacini di Genova (rosso) e Miltedo-Voltri (verde) per le sole stazioni in cui si eseguono le analisi di ammoniaca, coliformi fecali e clorofilla-a; sono cerchiati i 4 siti critici.

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 2015, 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 1998-2014) dei parametri nelle stesse stazioni. Per i dati di pH, Red-Ox e torbidità, poiché non esiste una serie storica, si rimanda l'analisi delle differenze con il passato ai prossimi anni.

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 ed 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 ed 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 3.10).

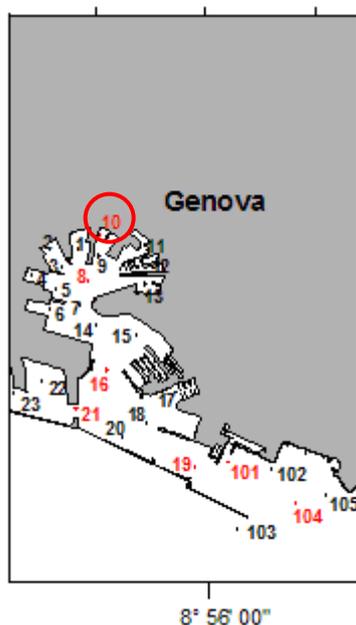


Fig. 3.10 Localizzazione della stazione numero 10, posta in corrispondenza dello scarico del depuratore in Darsena

In figura 3.11 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2015 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014.

La temperatura dell'acqua segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo; rispetto alla media, nel 2015 si evidenziano i mesi invernali, più caldi. Nei mesi di aprile, ottobre e dicembre si notano temperature minori di quella media.

La salinità è compresa tra 34.900 e 37.900 PSU, valori in generale più alti rispetto a quelli medi. Non si nota una stretta correlazione tra le salinità sopra la media e l'anomalia delle precipitazioni, in quanto in alcuni mesi si riscontrano anomalie positive per le precipitazioni.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta inferiore o simile alla media quasi per tutto l'anno. Solo nei mesi di marzo e aprile si riscontrano concentrazioni superiori alla media.

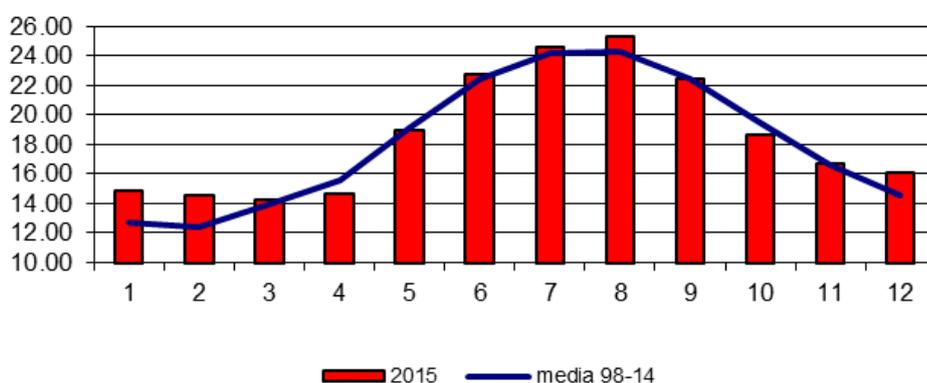
La concentrazione della clorofilla a, invece è generalmente più bassa o paragonabile alla media. Non si nota il picco primaverile-estivo che solitamente caratterizza l'area, e comunque in questo periodo si possono notare valori molto inferiori alla media.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, si può in generale affermare che le concentrazioni sono inferiori o paragonabili alla media, tranne che per i mesi di aprile, luglio e agosto. I

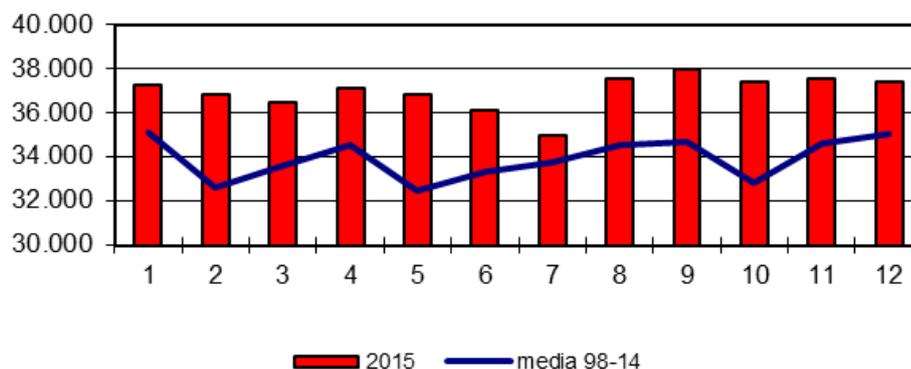
valori limite riportati nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml) sono stati sempre superati tranne che nei mesi di settembre e novembre. Negli anni precedenti, in media, tale valore limite è stato sempre superato, tranne che nei mesi di aprile e luglio con concentrazioni anche molto elevate (85000 MPN/100 ml).

L'ammoniaca presenta concentrazioni maggiori alla media nei mesi di gennaio, marzo, aprile, maggio, luglio e agosto mentre negli altri mesi i valori sono inferiori o paragonabili 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.

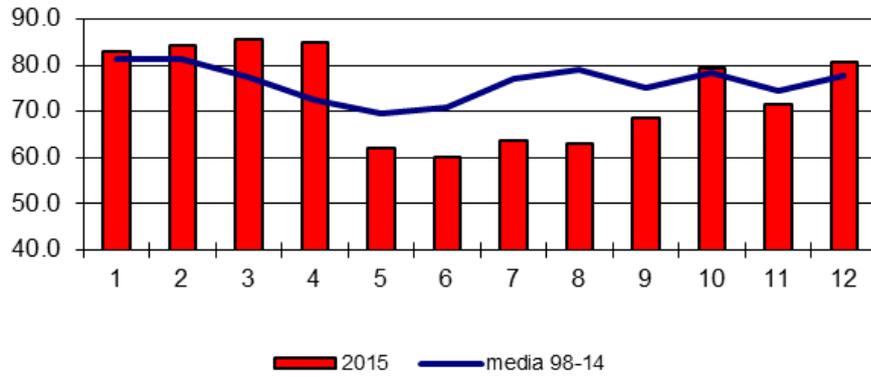
Temperatura (°C)



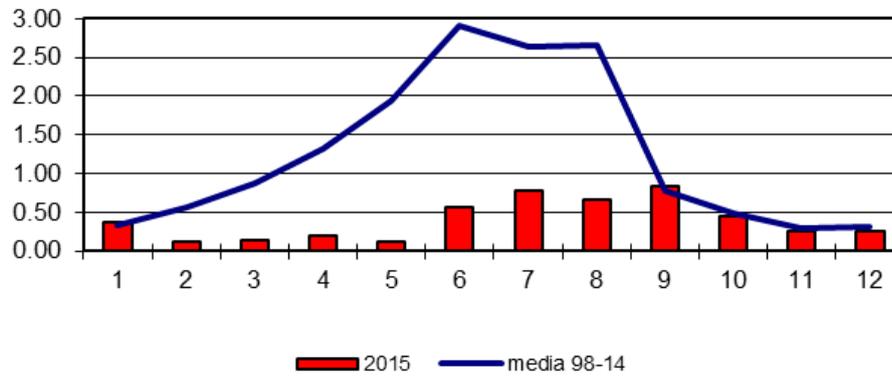
Salinità (PSU)



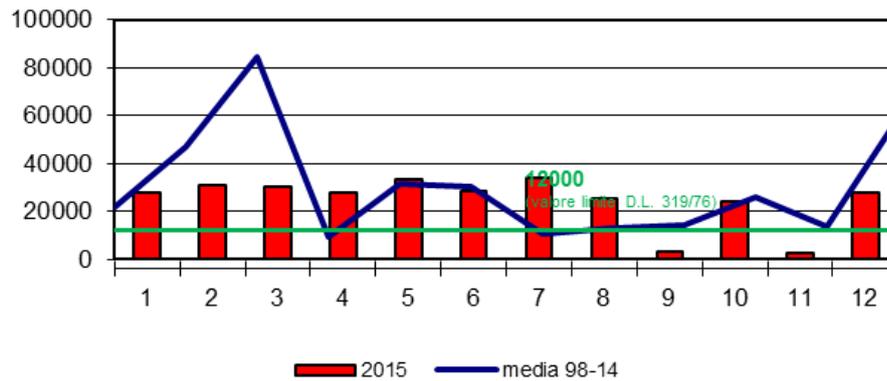
Ossigeno disciolto (% sat)



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



Coliformi fecali (MPN/100 ml)



Ammoniaca (mg/l)

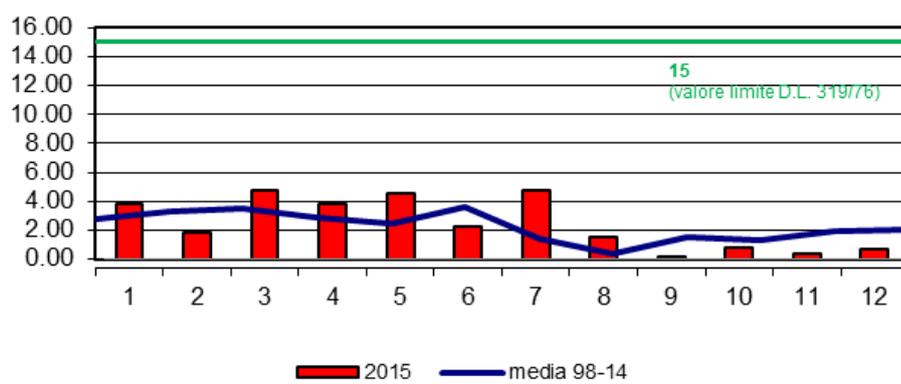


Fig. 3.11 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2015 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014 (stazione 10)

Foce del Bisagno e Punta Vagno

La stazione di campionamento posta in prossimità dello scarico del depuratore è la numero 104 (vedi figura 3.12)

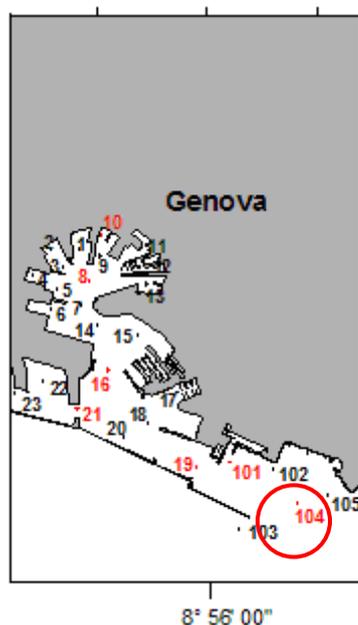


Fig. 3.12 Localizzazione della stazione numero 104, posta in prossimità dello scarico del depuratore a Punta Vagno

In figura 3.13 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2014 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014.

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 e maggio si riscontrano valori inferiori alla media.

La salinità è compresa tra 37.400 e 38.300 PSU, valori per tutto l'anno 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 superiori o simili alla media, fatta eccezione per il mese di luglio in cui si riscontrano concentrazioni superiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a, invece è in generale sotto la media, anche con valori notevolmente inferiori alla media.

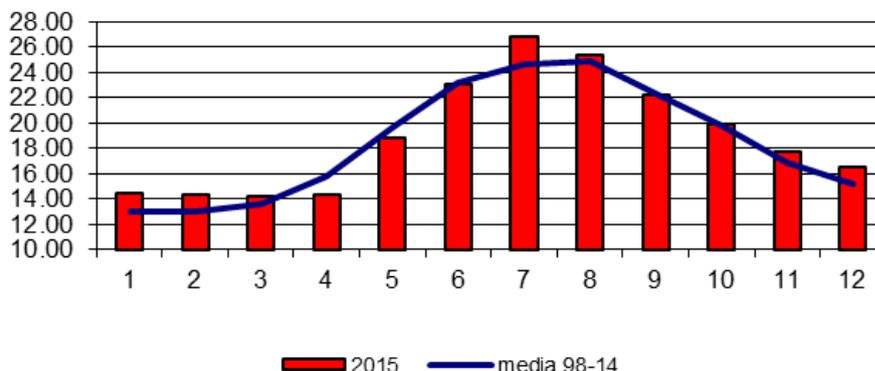
Per quanto riguarda i coliformi fecali, l'evoluzione stagionale ha valori molto inferiori a quelli medi. In nessun campionamento sono stati superati i valori limite riportati nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml).

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

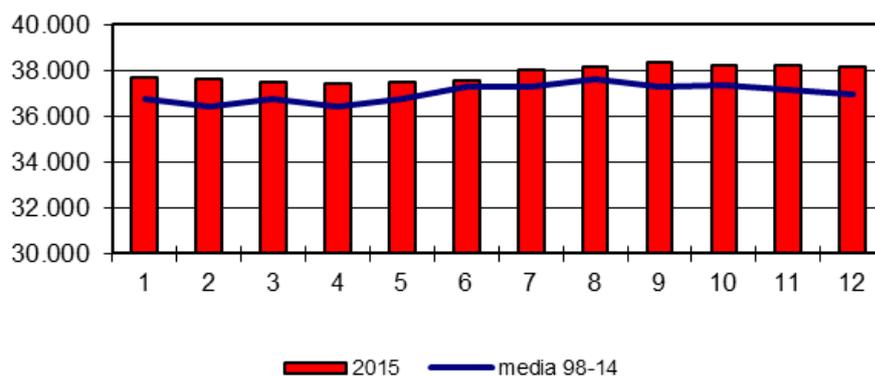
Nella stazione 104, tra le zone definite a "rischio", si continua a riscontrare un miglioramento rispetto al passato, basandosi sulle concentrazioni di ammoniaca e coliformi fecali, che conferma l'andamento osservato negli anni precedenti. Negli anni precedenti questa stazione era caratterizzata dalla 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) 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.

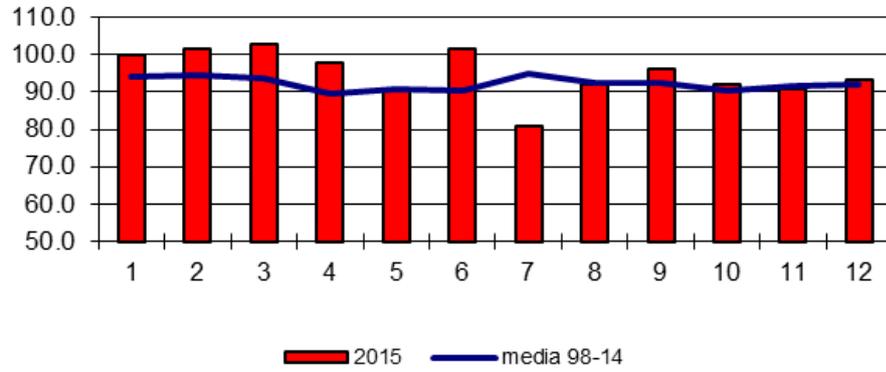
Temperatura (°C)



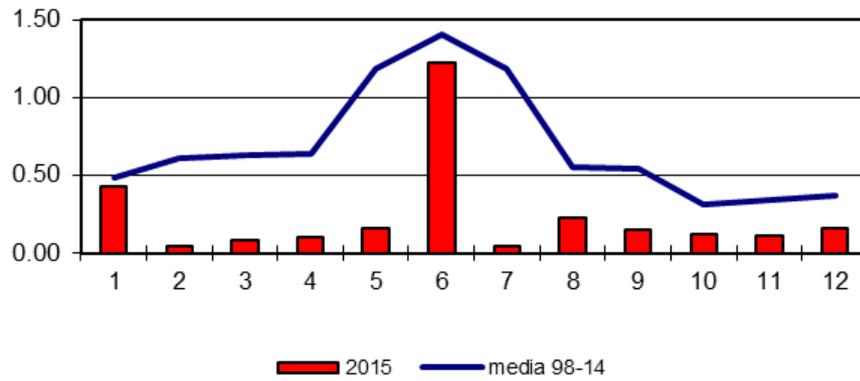
Salinità (PSU)



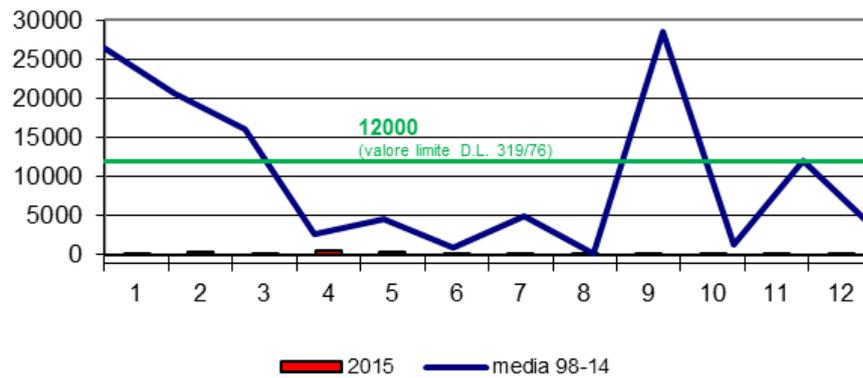
Ossigeno disciolto (% sat)



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



Coliformi fecali (MPN/100 ml)



Ammoniaca (mg/l)

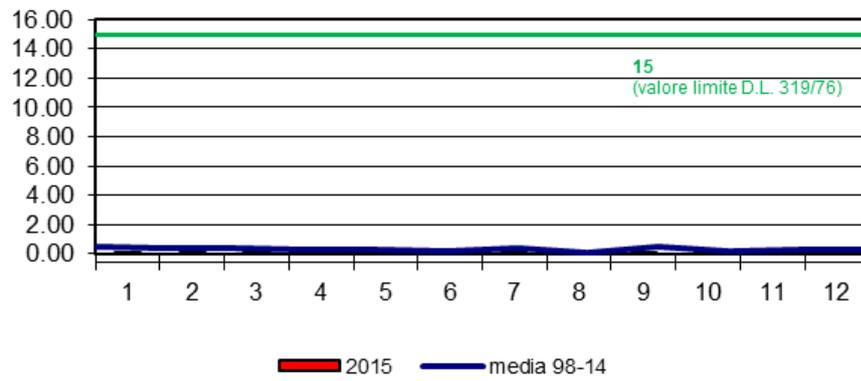


Fig. 3.13 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2015 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014 (stazione 104)

Foce del Polcevera

La stazione di campionamento posta in corrispondenza della foce del Polcevera è la numero 34 (vedi figura 3.14).

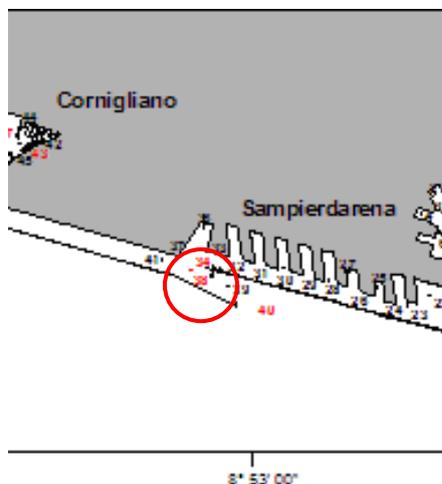


Fig. 3.14 Localizzazione della stazione numero 34, posta in corrispondenza della foce del Polcevera

In figura 3.15 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2014 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014.

La temperatura dell'acqua segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo; rispetto alla media, nel 2015 si evidenziano temperature inferiori nei mesi invernali. Nei restanti mesi si riscontrano temperature simili alla media.

La salinità è compresa tra 35.500 e 38.000 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 giugno che presenta valori inferiori alla media.

L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta superiore alla media a luglio, nei mesi invernali e in quelli primaverili, nei restanti mesi i valori sono simili o inferiori alla media.

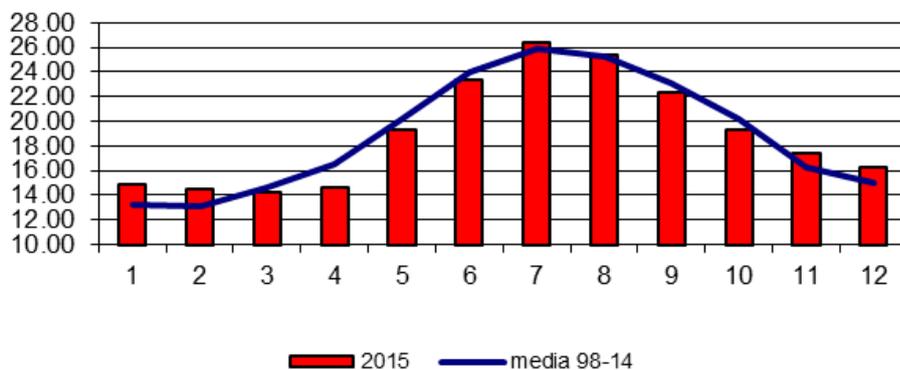
La concentrazione della clorofilla a è generalmente inferiore o paragonabile alla media fatta eccezione per i mesi di giugno e ottobre dove risulta essere superiore.

Per quanto riguarda i coliformi fecali, le concentrazioni sono inferiori alla media nei mesi di febbraio, giugno, maggio, agosto, ottobre e novembre mentre nei mesi di gennaio, marzo, aprile, luglio, settembre e dicembre si riscontrano valori superiori alla media. Il valore limite riportato nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml) è stato superato nei mesi di gennaio, marzo, aprile, maggio, luglio, agosto e settembre.

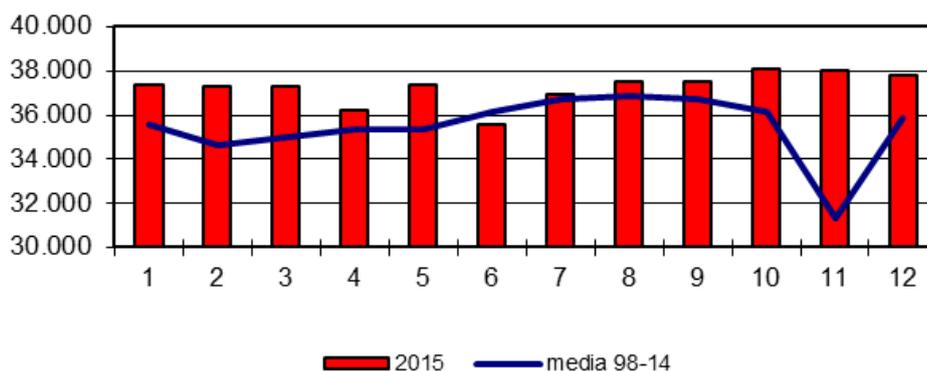
L'ammoniaca presenta nei mesi di gennaio, marzo, aprile, luglio e settembre concentrazioni superiori alla media, nei restanti mesi presenta invece valori inferiori o

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).

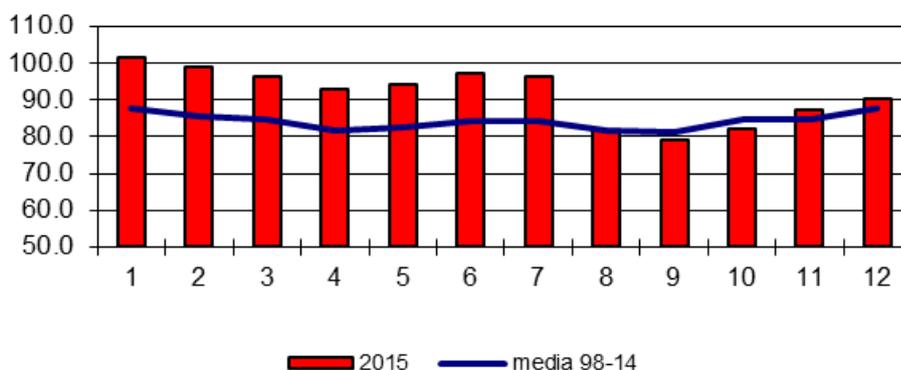
Temperatura (°C)



Salinità (PSU)



Ossigeno disciolto (% sat)



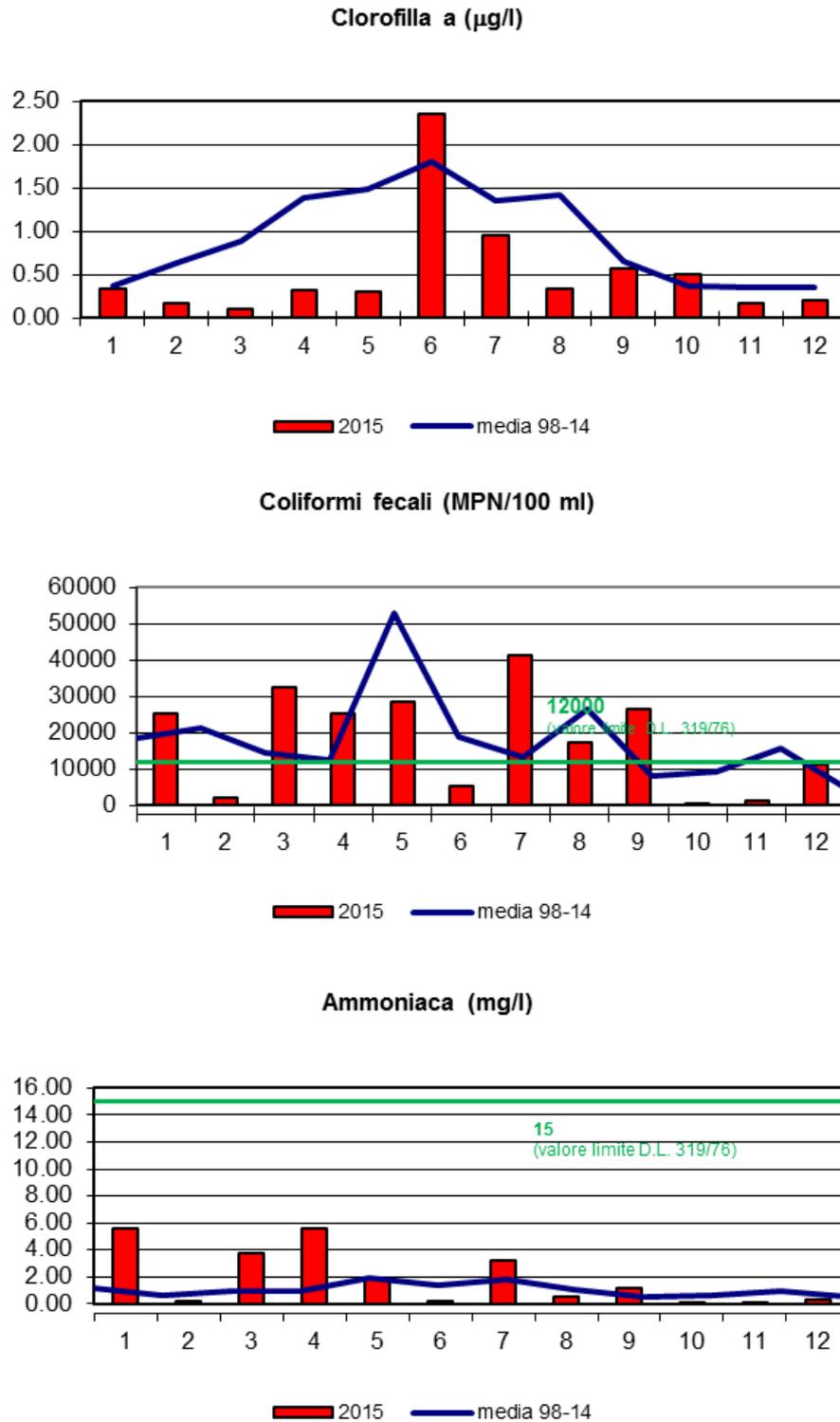


Fig. 3.15 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2015 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014 (stazione 34)

Foce del Chiaravagna

La stazione di campionamento posta in corrispondenza della foce del Chiaravagna è la numero 43 (vedi figura 3.16).

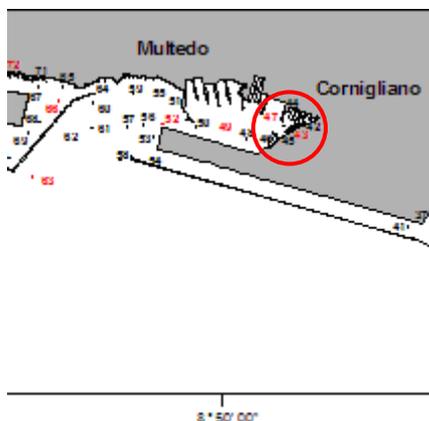


Fig. 3.16 Localizzazione della stazione numero 43, posta in corrispondenza della foce del Chiaravagna

In figura 3.17 viene riportata l'evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2015 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014.

La temperatura dell'acqua segue il normale andamento stagionale, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo; rispetto alla media, nel 2015 si evidenziano valori di temperatura simili o leggermente superiori alla media storica. Nei mesi di aprile e ottobre si riscontrano valori inferiori alla media e si nota una buona correlazione con i dati di anomalia della temperatura atmosferica.

La salinità è compresa tra 35.400 e 38.100 PSU, valori abbastanza paragonabili a quelli medi, tenendo conto della variabilità di questo parametro, legata essenzialmente alla portata del Chiaravagna, a sua volta dipendente dal regime delle precipitazioni. Durante tutto l'anno si hanno valori superiori alla media, ad eccezione del mese di dicembre che presenta valori leggermente inferiori alla media.

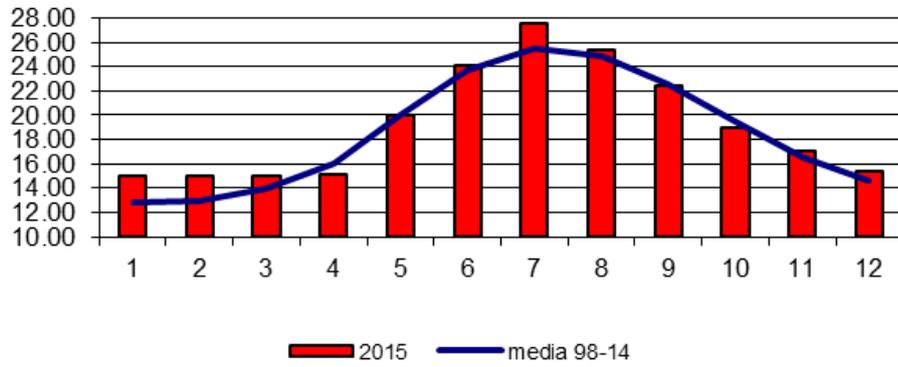
L'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, risulta sempre simile o più elevato rispetto alla media, ad eccezione del mese di ottobre dove si riscontrano valori inferiori alla media.

La concentrazione della clorofilla a presenta valori inferiori alla media per quasi tutto l'anno. Nei mesi autunnali i valori sono leggermente superiori alla media.

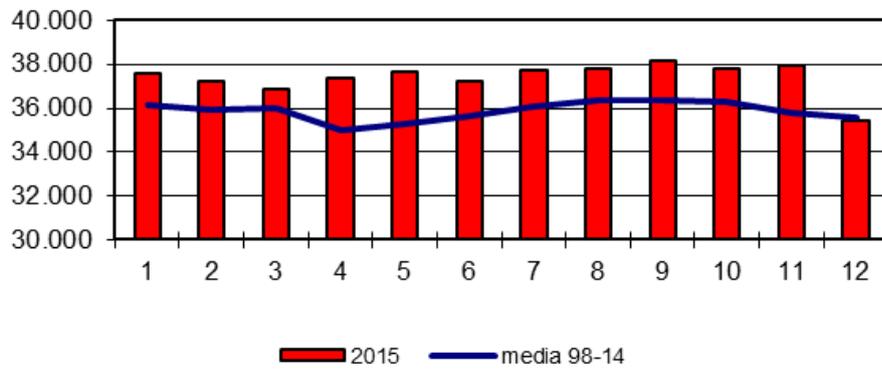
Per quanto riguarda i coliformi fecali, le concentrazioni sono sempre molto inferiori rispetto alla media. Il valore limite riportato nella tabella A allegata legge 10 maggio 1976 n. 319 (12000 MPN/100 ml) non è mai stato superato durante il 2015.

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

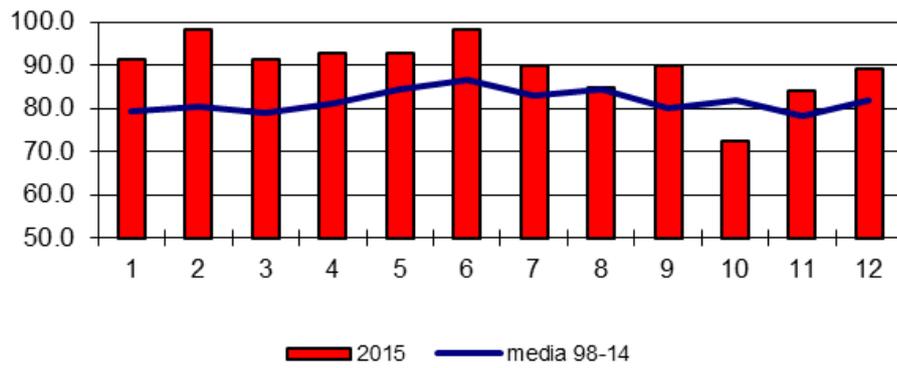
Temperatura (°C)



Salinità (PSU)



Ossigeno disciolto (% sat)



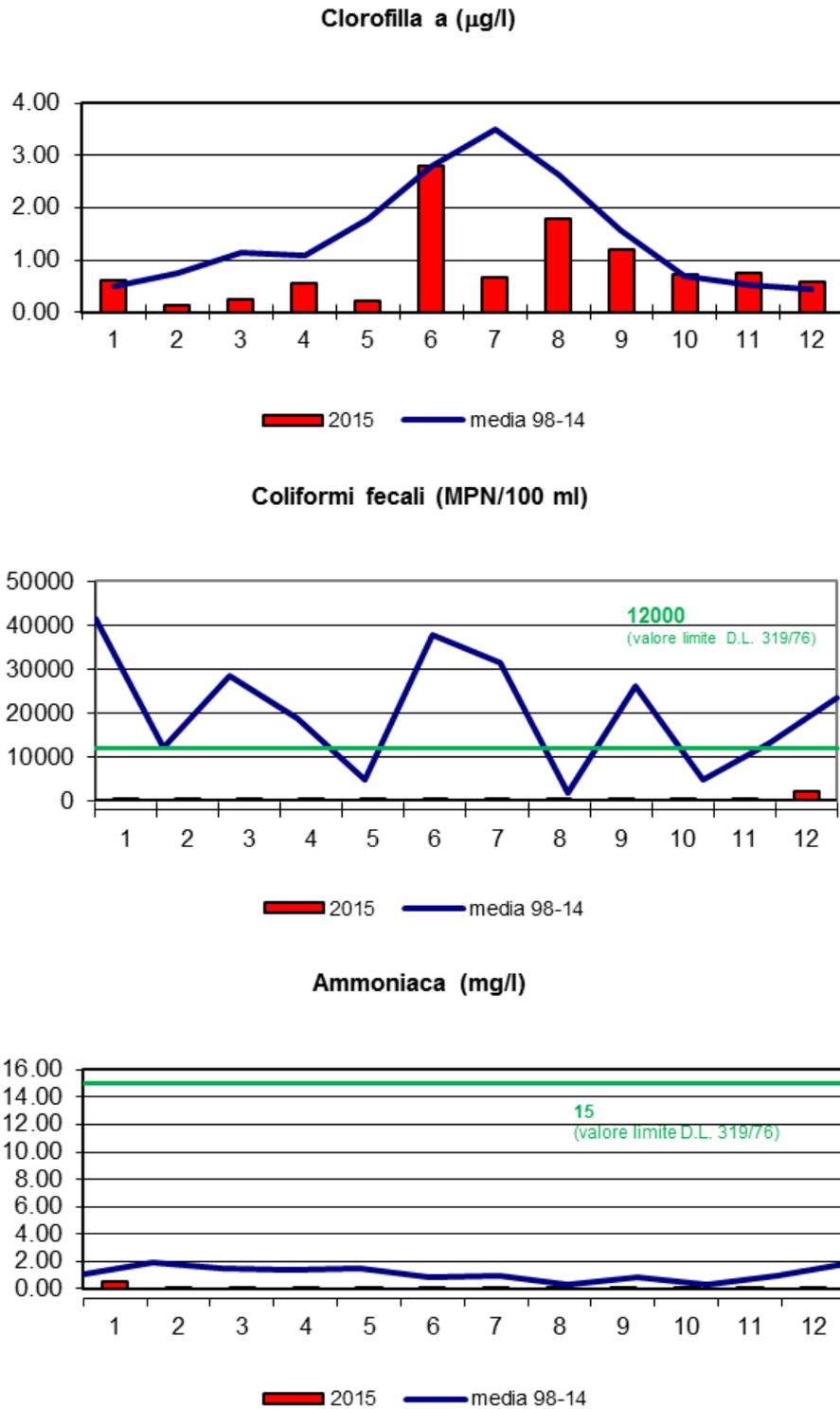


Fig. 3.17 Evoluzione annuale dei parametri provenienti dal monitoraggio 2015 rispetto alla media calcolata nel periodo 1998-2014 (stazione 43.)

3.3.1 Mann-Kendall Test

Sulle serie dei dati 1998-2015 (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.
- Stazione 104: si nota un aumento della concentrazione di clorofilla e della salinità, si nota inoltre una diminuzione della concentrazione dei coliformi fecali. 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 a indicare un miglioramento della salute dell'area. Si nota anche una diminuzione della temperatura.
- Stazione 43: si nota un aumento della percentuale dell'ossigeno disciolto, una diminuzione della concentrazione di azoto ammoniacale e di 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.

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 di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, ammoniaca, clorofilla-a e coliformi fecali annuali provenienti dal monitoraggio del 2015 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 primaverili è risultata simile alla media o inferiore. In quasi tutte le stagioni nelle stazioni 24 e 25, poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel a Sampierdarena, è stata riscontrata una temperatura più elevata di circa 3.00 °C rispetto al resto del bacino.
- 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 in quanto raccoglie l'apporto della maggior parte dei piccoli rivi tombinati inseriti nel tessuto urbano. L'anno 2015 è stato caratterizzato da precipitazioni inferiori alla media, fatta eccezione per i mesi di febbraio, agosto e settembre con precipitazioni superiori alla media. L'andamento della salinità nei bacini ha in parte seguito quello delle precipitazioni: in generale si sono riscontrate salinità inferiori in tutte le stagioni; nelle zone interessate da scarichi di acqua dolce in quasi tutto l'anno si notano anomalie positive tranne che in inverno nella zona della foce del Polcevera dove si riscontrano anomalie 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). 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 2015 le concentrazioni di ossigeno disciolto sono state in generale superiori alla media in inverno e primavera, fatta eccezione per la zona del Porto Antico dove si riscontrano anomalie negative. Nei mesi estivi e autunnali in generale si notano anomalie negative.

- 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 2015 le concentrazioni di clorofilla-a sono state vicine alla media o inferiori in tutta la zona portuale durante quasi tutto l'anno. In autunno l'anomalia è in generale leggermente positiva nel bacino di Multedo-Voltri.
- L'ammoniaca ha presentato in generale concentrazioni inferiori o simili agli anni precedenti. Alla foce del Polcevera in inverno, primavera ed estate si notano valori superiori alla media.
- 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 generalmente negative.
- 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.
- Il potenziale Red-Ox presenta valori abbastanza variabili sia nel tempo sia nello spazio.
- La torbidità non presenta un andamento stagionale ma è abbastanza variabile durante il corso dell'anno. Si notano però zone (bacino di Multedo, area del Terminal Traghetto, area di calata Bettolo) dove si trovano spesso valori alti di torbidità. Probabilmente questi valori sono dovuti sia al rimescolamento dovuto al passaggio delle navi in queste zone sia ad alcuni lavori di movimentazione del fondale. Nel resto del bacino i valori risultano essere piuttosto uniformi.

La classificazione dei siti determinata dall'analisi statistica multivariata compiuta sul set di dati 1998-2014 risulta valida anche per il 2015 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 2015 e l'andamento medio (calcolato sul set di dati 1998-2014). 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 generale, tutte le aree definite a rischio, rispetto agli anni passati, sono leggermente migliorate. 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 posizionati 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.

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.

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/>

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

