

*committente*



AUTORITA' PORTUALE DI GENOVA

DIREZIONE GESTIONE DEL TERRITORIO

Servizio Ambiente, Igiene, Sicurezza del Lavoro Portuale e Logistica Interna  
Ufficio Ambiente

***ANALISI DEI DATI FISICO-CHIMICO-BIOLOGICI  
DERIVANTI DAL MONITORAGGIO  
AMBIENTALE MARINO  
NELL'AREA DEL PORTO DI GENOVA  
ANNO 2006***

*realizzato in collaborazione con*

*Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse (DIP.TE.RIS.)*

*Università degli Studi di Genova*



*febbraio 2007*

# INDICE

## 1 INTRODUZIONE

## 2 IL PORTO DI GENOVA

2.1 Principali attività portuali	6
2.2 Il territorio	7
2.3 Il clima	8
2.3.1 Temperatura	9
2.3.2 Regime delle precipitazioni	10
2.3.3 Regime anemologico	11
2.4 Il mare	12
2.4.1 Circolazione costiera	13
2.5 Fattori di impatto ambientale	14
2.5.1 Corsi d'acqua	16
2.5.2 Impianti di depurazione	20
2.6 Evoluzione dell'area portuale	24

## 3 MATERIALI E METODI

3.1 Piano di campionamento	26
3.2 Parametri chimico-fisici	27
3.3 Parametri meteorologici	28
3.4 Coliformi fecali	28
3.5 Azoto ammoniacale	28

## 4 RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Analisi statistica multivariata	30
4.2 La variabilità spaziale	40
4.3 La variabilità interannuale	43
4.4 La variabilità stagionale	47

## 5 CONSIDERAZIONI FINALI

## BIBLIOGRAFIA

## APPENDICE

## **1 INTRODUZIONE**

Le attività di monitoraggio dei corpi idrici rappresentano un efficace strumento per la conoscenza dello stato dell'ambiente acquatico e un valido supporto alla pianificazione territoriale ai fini del suo risanamento.

Con l'emanazione della normativa nazionale e comunitaria sulle acque (D.lgs. 152/99 e s.m.i. direttiva 2000/60/CE.), vengono richieste attività di monitoraggio nei corpi idrici significativi al fine di stabilire lo stato di qualità ambientale di ciascuno di essi. La conoscenza dello stato dei corpi idrici permette la loro classificazione e conseguentemente, se necessario, di pianificare il loro risanamento al fine del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale. Oltre ai corpi idrici significativi sono da monitorare tutti i corpi idrici che, per valori naturalistici o per particolari utilizzazioni in atto, hanno rilevante interesse ambientale e quelli che essendo molto inquinati possono avere influenza negativa sui corpi idrici significativi.

Le acque di transizione costituiscono corpi idrici di assoluta priorità per le politiche nazionali e comunitarie di tutela, risanamento, monitoraggio e controllo. E' tuttavia opinione largamente condivisa che, nonostante i numerosissimi studi e approfondimenti dedicati a questi corpi idrici, i rilevanti piani di sviluppo, tutela e risanamento ad essi dedicati con una priorità nazionale, anche in termini di norme specifiche e di investimenti finanziari, sia necessario approfondire con un impegno nazionale e coordinato la conoscenza di queste acque e sviluppare nuovi e più avanzati metodi di analisi e di monitoraggio del loro stato ambientale.

Secondo l'approccio puramente utilitaristico che impronta la gestione dell'ambiente abitato, i porti sono "aree di servizio" prive di qualsiasi interesse che non sia legato al loro ruolo mercantile. I porti sono, in sostanza, infrastrutture artificiali dove tutto ciò che non riguarda la destinazione d'uso non viene considerato. In una visione meno grossolana e non esclusivamente strumentale, i porti sono sistemi ambientali semplici, riconducibili alla situazione di specchi d'acqua lagunari fortemente condizionati dall'intervento umano e dall'azione del traffico marittimo, ma restano sempre sistemi abitati da piante, animali e batteri, che trovano una ragione di esistenza proprio nelle attività umane, che ne sono a loro volta condizionate.

Le zone portuali potrebbero quindi essere considerate "particolari aree di transizione",

dove l'impatto delle numerose attività commerciali, cantieristiche e industriali concentrate in un arco costiero ristretto e l'impatto urbano legato ad una depurazione fognaria, spesso insufficiente, possono fortemente alterare l'equilibrio dell'ecosistema marino interno.

Dove l'ecosistema risulta in equilibrio delicato e precario è necessario ridurre al minimo gli impatti, salvaguardando gli aspetti ancora intatti; laddove, invece, risulta già compromesso è necessario migliorare lo stato attuale, recuperando le caratteristiche naturali iniziali.

L'ambizioso cammino verso l'ecosostenibilità ambientale delle attività portuali deve partire dal rispetto della normativa ambientale di tutti i settori e crescere in un processo di miglioramento continuo, permesso dall'adozione delle sempre migliori tecnologie. Perché ciò avvenga è necessario lo sviluppo di una nuova e più viva sensibilità ambientale da parte di tutti i concessionari demaniali e, soprattutto, dell'organismo che ne ha il ruolo d'indirizzo programmazione e controllo, l'Autorità Portuale.

Dal 1997 nel porto di Genova viene svolto un monitoraggio ambientale mensile, allo scopo di individuare le aree più a rischio degli specchi acquei demaniali 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.

La Servizi Ecologici Porto di Genova spa (SEPG), nata e specializzatasi in servizi ecologici e tutela ambientale in campo marittimo, dal maggio 2005 effettua 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 prevede l'utilizzo di sonde multiparametriche montate su mezzi di proprietà della società stessa, che forniscono dati relativi a temperatura, salinità e ossigeno disciolto. I mezzi della SEPG sono regolarmente impegnati in attività di disinquinamento e pulizia degli specchi acquei portuali e ogni giorno acquisiscono e trasmettono dati relativi alle zone in cui stanno operando. Con il sistema satellitare (GPS) è possibile individuare l'esatto punto di rilevazione dei dati che vengono poi trasmessi ad una banca dati, consentendo di avere in tempo reale i principali indicatori dello stato chimico-fisico delle acque e quindi studiare particolari fenomeni stagionali come le fioriture algali, anossie estive con conseguenti morie della fauna lagunare, e altri fenomeni connessi all'ambiente e alle sue specie biologiche.

Una volta al mese i battelli effettuano un percorso che copre tutta la zona portuale, durante il quale vengono inoltre prelevati campioni di acqua sub-superficiale per l'analisi dell'azoto ammoniacale, dei coliformi fecali e della clorofilla-a, in punti scelti in base alla loro collocazione rispetto ai principali apporti di acqua dolce proveniente da terra.

Dal 2006 la SEPG si avvale della collaborazione con l'Università degli Studi di Genova (Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse - DIP.TE.RIS.), per la validazione, analisi ed elaborazione dei dati relativi al monitoraggio ambientale marino nell'area del Porto di Genova.

In questo lavoro vengono elaborati i dati provenienti dal monitoraggio effettuato nell'anno 2006, in modo da 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, alla presenza di fluttuazioni sistematiche dei parametri rilevati, modulate in qualche misura dalle attività antropiche e riconducibili al succedersi delle stagioni ed al contributo delle condizioni meteorologiche. I risultati ottenuti possono inoltre costituire un punto di partenza per la definizione di nuove ricerche ambientali in ambito portuale in relazione ad eventuali punti di criticità.

## 2 IL PORTO DI GENOVA

Il porto di Genova è il naturale sbocco sul mare della zona più industrializzata del Nord Italia e si trova in posizione ideale per servire l'apparato industriale e i mercati di consumo europei. È situato a Lat 44°24'15"N Long 8°54'20"E nell'ansa più protetta del Mar Ligure e occupa circa 500 ettari di superficie a terra e altrettanti di specchio acqueo. Le opere marittime assommano a circa 47 km di cui 30 di banchine altamente operative ed in grado di ospitare oltre 200 navi di tipo diverso. I fondali variano da 9 a 15 metri con una punta di 50 metri per le super- petroliere. Tutti questi elementi messi insieme fanno del porto genovese e dei suoi bacini periferici uno dei maggiori scali marittimi dell'intero Mediterraneo e d'Europa. Attualmente il porto di Genova occupa una superficie complessiva pari a circa 7 milioni di metri quadrati e si estende ininterrottamente per 20 chilometri lungo una fascia costiera protetta da dighe foranee, che parte dal bacino del Porto Antico, in corrispondenza del centro storico della città, fino alla delegazione di Voltri.

Le imboccature portuali sono:

- la Bocca di Levante che dà accesso all'avamposto ed ai vari bacini fino a quello di Sampierdarena compreso;
- la Bocca di Ponente (o di Cornigliano) che è utilizzata esclusivamente dalle navi operanti alle banchine dell'ILVA;
- l'imboccatura di Miltedo che è riservata alle navi dirette rispettivamente al porto petroli e al porticciolo Fincantieri dei cantieri navali;
- l'imboccatura a ponente del terminal contenitori di Voltri



Figura 2.1 Il porto di Genova (<http://www.porto.genova.it>)

Al suo interno, attraverso lo sviluppo di 13 Terminal tutti raccordati alle reti di viabilità autostradale e ferroviaria, il porto di Genova è in grado di garantire lo sbarco e l'imbarco di merci solide e liquide, containerizzate e non, di qualsiasi genere e dimensione, per navi di qualsiasi tipo e stazza. I Terminal, grazie alla dotazione a terra di moderne infrastrutture dedicate, consentono la gestione di tutte le attività logistiche di movimentazione, deposito costiero, magazzinaggio, imballaggio, consolidamento, smistamento di merci di qualsiasi natura, che seguono lo sbarco e precedono l'imbarco per le diverse fasi di import e di export. L'insieme di queste infrastrutture conferma che Genova è oggi ai vertici della classifica dei porti del Mediterraneo per volumi di traffico merci movimentate. Ai terminal dedicati al trasporto delle merci, vanno aggiunti il rinnovato Terminal Crociere, presso lo storico Ponte dei Mille, e il nuovo Terminal Traghetti di recentissima costruzione, che, attraverso la gestione dei flussi di traffico passeggeri e dei loro veicoli, permettono al porto di Genova di supportare in modo adeguato la crescente immagine della città quale meta turistica di livello internazionale. Oggi il porto di Genova può vantare collegamenti con tutto il mondo grazie ai servizi di linea forniti dalle più importanti compagnie di navigazione, che ne fanno uno degli scali principali lungo le rotte che, attraverso il canale di Suez e lo stretto di Gibilterra, uniscono il Mediterraneo all'Oriente, all'Australia, all'Africa ed agli Stati Uniti ([www.regione.liguria.it](http://www.regione.liguria.it)).

## **2.1 Principali attività portuali**

Di seguito vengono riportate le principali attività presenti nel porto di Genova. Partendo da Ponente, si trova il Voltri Terminal Europa, che si sviluppa su una superficie di circa 1.200.000 m<sup>2</sup>, di cui 700.000 m<sup>2</sup> dedicati a piazzali per la movimentazione dei containers (Fig. 2.2). È il più importante terminal contenitori del Mediterraneo ed è in grado di proporsi quale alternativa alla portualità nord-europea per servire i mercati di tutta l'Europa.

Procedendo verso Levante, ubicato tra il porto di Voltri e l'aeroporto Cristoforo Colombo di Genova si trova il Porto Petroli di Multedo, che si estende su un'area a terra complessiva di 345.000 m<sup>2</sup> e 211.000 m<sup>2</sup> di specchi subacquei. Il Terminal è costituito da cinque pontili interni e da due accosti off-shore, nei quali si sbarcano prodotti petroliferi di diverse tipologie; attraverso gli oleodotti vengono alimentate le maggiori raffinerie del Nord Italia e della Svizzera.

Infine, a levante, si trova la Darsena che è la parte vecchia del porto di Genova: include il Terminal Traghetti, un piccolo porto turistico, una zona ristrutturata trasformata in



urbanizzazione, si ritrovano in generale aree a prevalente destinazione industriale, gravate dai mai risolti problemi di incompatibilità tra gli insediamenti produttivi e il benessere e la salute degli abitanti: in questo senso basti ricordare i conflitti nati a Cornigliano tra la popolazione ivi residente e le acciaierie ex Italsider, e l'inserimento di questo quartiere e dei limitrofi nelle "aree soggette a risanamento ambientale" per quanto riguarda la qualità dell'aria.

Lungo le valli dei torrenti l'urbanizzazione si è estesa a partire dal fondovalle su per le pendici delle colline. Tuttavia, in Val Polcevera, restano ancora alcuni significativi centri rurali, e per quanto concerne il Bisagno, invece, l'utilizzo del suolo è prevalentemente edificativo, sebbene con importanti zone a destinazione industriale. Caratteristica della Val Bisagno è però la destinazione a "grandi servizi" per la città. Infine la città a Levante ha avuto una destinazione prevalentemente residenziale e in alcuni casi turistica e ricreativa, ove permangono le spiagge e abbondano le strutture recettive.

L'ambito cittadino che grava sul braccio di mare oggetto dello studio si presenta quindi molto eterogeneo:

- zone intensamente urbanizzate con densi nuclei abitativi, centri commerciali, aree industriali, uffici e attività terziarie di varia natura, sia lungo la costa, sia lungo i fondovalle;
- zone residenziali anche di pregio;
- zone a spiccata vocazione rurale, di valore agricolo e paesaggistico notevole;

(AAVV. 1998)

### **2.3 Il clima**

La Liguria è compresa nella fascia climatica subtropicale mediterranea, a regime pluviometrico di tipo marittimo. D'estate si trova sotto l'influsso delle alte pressioni tropicali, d'inverno e primavera sotto quello del fronte polare.

Le particolari caratteristiche orografiche del territorio influenzano il regime pluviometrico in senso favorevole alle precipitazioni. L'arco appenninico ligure, infatti, costituisce una efficace barriera, arrestando tutte le masse d'aria sufficientemente umide ed instabili che provengono da Sud. Il libeccio ed ancor più lo scirocco, quando spirano, arrecano spesso piogge abbondanti sul crinale appenninico, tanto che il segmento climatico in esame costituisce una delle zone d'Italia che presenta maggiore piovosità in media. Questo sistema orografico presenta innegabilmente alcuni vantaggi, in particolare in inverno, perché ripara il versante dalle masse d'aria più fredde che ristagnano in Val Padana. La stagione estiva, è caratterizzata da notevole mitezza del clima, che è influenzato

notevolmente dalla funzione termoregolatrice assolta dalla superficie marina, da cui derivano, per contrasto termico con l'entroterra, periodiche brezze marine durante le ore diurne, sostituite di notte da brezze di monte che contribuiscono ad accorciare notevolmente l'escursione termica nell'arco delle ventiquattrore. Nelle altre stagioni assume notevole importanza una configurazione barica denominata "Genova Low", ossia la depressione sul Golfo di Genova, a cui si associa intensa nuvolosità e fenomeni precipitativi molto diffusi.

Il regime dei venti è molto vario; oltre al libeccio ed allo scirocco ed ai regimi di brezza, è molto frequente la tramontana, un vento caratteriale che giunge da Nord-Est, freddo e sferzante.

Le medie climatiche mensili relative alla temperatura, alle precipitazioni e alla intensità e direzione del vento, riportate nei sottoparagrafi successivi, sono riferite alla stazione di rilevamento di Genova-Sestri e al trentennio 1961-1990 (trentennio di riferimento secondo quanto definito dall'Organizzazione Mondiale della Meteorologia WMO).

### 2.3.1 Temperatura

Riguardo alle temperature si rileva che i valori minimi si riscontrano nei mesi di gennaio e febbraio, mentre nei mesi di luglio e agosto si registrano le temperature massime più elevate. Nel complesso il mese più freddo risulta essere gennaio, con temperature medie sempre superiori agli 0 °C. Spesso però si sono registrate temperature molto inferiori anche nei mesi di dicembre e febbraio. Il mese più caldo risulta essere luglio, la cui media delle massime oscilla tra i +26,5 °C e +32,4 °C, ma si sono verificate temperature giornaliere molto più alte delle medie anche nel mese di agosto e talvolta a settembre (AAVV. 1998).

In figura 2.3 vengono riportate le medie climatiche mensili relative alla temperatura massima e minima.

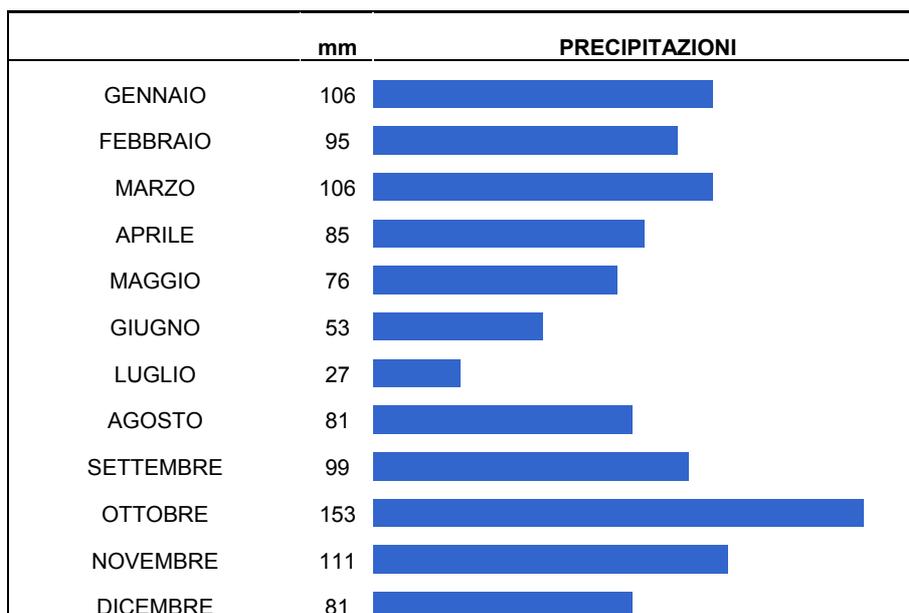
	°C	TEMPERATURA MASSIMA	°C	TEMPERATURA MINIMA
GENNAIO	11		5	
FEBBRAIO	12		6	
MARZO	14		8	
APRILE	17		11	
MAGGIO	21		14	
GIUGNO	24		18	
LUGLIO	27		21	
AGOSTO	27		21	
SETTEMBRE	24		18	
OTTOBRE	20		14	
NOVEMBRE	15		9	
DICEMBRE	12		6	

*Figura 2.3 Medie climatiche mensili relative alla temperatura massima e minima nella stazione di rilevamento di Genova-Sestri, riferite al trentennio 1961-1990 (www.eurometeo.com).*

### 2.3.2 Regime delle precipitazioni

Dall'andamento delle precipitazioni medie mensili si deduce un regime pluviometrico in cui i valori medi più bassi si trovano nei mesi estivi; in particolare luglio risulta il mese meno piovoso, seguito da giugno e agosto, mentre i periodi più piovosi si riscontrano nella stagione autunnale. Il minimo assoluto di pioggia si ha nel mese di luglio, mentre un secondo minimo relativo si ritrova nel mese di febbraio; le precipitazioni medie massime cadono nei mesi di ottobre e novembre. L'altezza di precipitazione è chiaramente influenzata dall'orografia e dalla quota; le stazioni pluviometriche che si trovano a quota maggiore registrano valori di pioggia maggiori. Dall'esame dei diagrammi ombrotermici delle stazioni risulta che, nonostante la relativa vicinanza alla costa, non si verificano mai periodi di aridità. Precipitazioni nevose si hanno solo nella stagione invernale, soprattutto sulle cime più alte (AAVV. 1998).

In figura 2.4 vengono riportate le medie climatiche mensili relative alle precipitazioni.



*Figura 2.4 Medie climatiche mensili relative alle precipitazioni nella stazione di rilevamento di Genova-Sestri, riferite al trentennio 1961-1990 (www.eurometeo.com).*

### 2.3.3 Regime anemologico

La direzione del vento è risultata essere fondamentale condiziona dalle caratteristiche morfologiche del bacino, per questo si sono rilevate in pratica soltanto le direzioni N, NE e S; si tratta quindi essenzialmente di vento canalizzato lungo le valli. La direzione prevalente è risultata essere il nord con il 46,4 % di frequenza, le altre due direzioni principali sono state osservate rispettivamente con una frequenza del 22,5 % (NE) e del 27 % (S), mentre gli intervalli di calma sono stati statisticamente di poca importanza.

I venti provenienti da N e da NE possono essere considerati venti sinottici in quanto fondamentale originati dalla distribuzione dei centri di alta e bassa pressione che condizionano la circolazione atmosferica, in meso e macroscale. Anche il vento proveniente da S può essere di natura sinottica, determinato dalle depressioni sulle regioni ad occidente del golfo di Genova, ma i fenomeni di natura termica, quali le brezze di mare e di valle, costituiscono tuttavia una percentuale notevole nei casi di correnti atmosferiche che risalgono le valli verso settentrione. In pratica le valli che sono disposte quasi perpendicolarmente alla linea di costa risultano essere influenzate in maniera notevole dalla brezza di mare, che tende poi a confondersi con il vento che risale la valle, più direttamente condizionato dalla configurazione dei rilievi (AAVV. 1998).

In figura 2.5 vengono riportate le medie climatiche mensili relative alla direzione ed

intensità dei venti prevalenti.

	<b>VENTI PREVALENTI</b>	<b>nodi</b>
GENNAIO	ENE	8
FEBBRAIO	ENE	8
MARZO	ENE	8
APRILE	SSE	8.5
MAGGIO	SSE	2
GIUGNO	SSE	5
LUGLIO	SSW	5
AGOSTO	S	5
SETTEMBRE	SSE	8.5
OTTOBRE	ENE	8.5
NOVEMBRE	ENE	8
DICEMBRE	ENE	8

*Figura 2.5 Medie climatiche mensili relative alla direzione ed intensità del vento nella stazione di rilevamento di Genova-Sestri, riferite al trentennio 1961-1990 (www.eurometeo.com).*

## **2.4 Il mare**

Il porto di Genova si trova nel punto centrale e più settentrionale del Golfo di Genova, che ha come estremi C.Mele e Isola Palmaria; si trova quindi nel cuore del Mar Ligure, il quale ha una superficie complessiva di circa 20.000 km quadrati, una profondità massima di 2.600 m e le cui coste hanno uno sviluppo di circa 500 km, presentandosi con andamento generalmente sinuoso.

Da un punto di vista batimetrico, il bacino del Mar Ligure può essere distinto in tre zone aventi caratteristiche abbastanza diverse:

1. Una zona occidentale, a ponente della congiungente C. Noli - C. Corso, occupata in gran parte dalle propaggini di una vasta pianura abissale, con elevati fondali e con una piattaforma continentale molto ridotta (circa 2 m) solcata da corti canyon;
2. Una zona centrale a triangolo tra C. Noli, Portofino e C. Corso caratterizzata dal limitato sviluppo della piattaforma e della scarpata continentale e dalla presenza di profondi ed estesi canyon che si spingono fin sotto Genova, nonché dalle elevazioni del fondo costituenti i monti sub marini del precontinente;
3. Una zona orientale, occupante la parte rimanente del bacino, che presenta

declini sempre inferiori ai 500 m con un andamento del fondo tormentato per la presenza di rialzi, isole, banchi e canali sub marini. La piattaforma continentale in questo tratto è sempre più estesa e raggiunge, nella parte meridionale, circa 30 m (AAVV. 1998).

#### 2.4.1 Circolazione costiera

Fattore essenziale per l'analisi della circolazione costiera è, oltre all'esame delle caratteristiche geomorfologiche, l'indagine sulle caratteristiche meteorologiche e mareografiche.

Nell'area costiera del bacino interessato si alternano un regime invernale con vento dei quadranti settentrionali anche di forte intensità (fino a forza 11-12) ed un regime primaverile estivo con vento dei quadranti meridionali, ma di intensità minore (fino forza 8-9); per il mare, un regime invernale con provenienza dal 2°/3° quadrante con preferenza per il 3° e forza fino ad 8 ed un regime estivo con scarse mareggiate.

Le conseguenze dinamiche del vento e del moto ondoso sono quindi dei moti di deriva che interessano strati più o meno considerevoli della massa d'acqua. Per quanto riguarda il vento, durante l'estate le provenienze meridionali determinano un ammassamento di acque verso costa e, per la conformazione del bacino, lungo la costa di levante si ha una deriva verso N-W mentre lungo la costa di ponente tale deriva ha andamenti orientali. Durante l'inverno, invece, i venti settentrionali determinano lungo la costa un richiamo di acque profonde e fredde in quanto, quelle superficiali, vengono sospinte al largo (verso Sud); i moti di deriva conseguenti saranno verso SW con maggiore prevalenza costiera lungo la parte di ponente del bacino.

Nelle stagioni intermedie, e specialmente in occasione di situazioni bariche cicloniche centrate in prossimità del bacino ligure, si avranno moti di deriva che favoriscono il moto antiorario delle correnti costiere.

Circa lo strato d'acqua interessato dai predetti moti di deriva, conseguenti al vento, esso ha uno spessore inferiore nei mesi estivi (20-30 m) e superiore in quelli invernali, in alta correlazione con la variazione del termoclino.

Per quanto riguarda le maree, il Mar Ligure è sede di maree semidiurne di debole ampiezza che non superano, in condizioni normali di vento e di pressione atmosferica, i 40 cm di escursione.

Soffermandosi sulle correnti superficiali, una corrente parallela alle coste della penisola italiana scorre lungo la riviera ligure-francese; essa è costituita da masse d'acqua superficiali e si muove con una velocità media di 25-30 cm/sec. Ad essa si aggiungono

altri movimenti di masse d'acqua litoranea che, secondo le osservazioni, possono presentare, in dipendenza di particolari e locali situazioni meteorologiche, qualsiasi direzione di spostamento di cui, però, nessuna preferenziale.

Il movimento generale è riconducibile ad una rotazione ciclonica secondo la quale le acque superficiali si muoverebbero, nel braccio di mare compreso tra la costa continentale italo-francese e quello nord-occidentale della Corsica, secondo un'ellisse il cui asse principale è diretto secondo la direzione NE-SW. Tale movimento ha un'estensione variabile con la stagione, pur essendo presente in tutte le stagioni. I suoi limiti nord-orientali si protendono verso le coste italiane o retrocedono mantenendo più o meno inalterata la direzione dell'asse principale, a seconda dell'influenza che su tale movimento ha il flusso d'acqua tirrenica entrante attraverso la Soglia di Capraia. Una costante dello schema generale di circolazione superficiale è data, in tutte le stagioni, da un flusso entrante dall'ingresso sud-occidentale del Mar Ligure che, dopo aver lambito le coste nord-occidentali della Corsica e quelle continentali liguri-francesi, fuoriesce attraverso lo stesso varco. La velocità della corrente, all'uscita, è sempre superiore (30-40 cm/sec) a quella di ingresso e la velocità di questa ultima dipende dalla sua interazione, all'altezza di Capo Corso, con la corrente di provenienza tirrenica. Nella parte centrale del Mar Ligure la corrente è mal definita e talvolta si verificano inversioni nella sua direzione.

La conoscenza della circolazione delle correnti che avviene al livello dello strato delle acque intermedie o, addirittura, in prossimità del fondo non è altrettanto ben documentata come quelle di superficie. L'acqua intermedia, una volta penetrata nel Mar Ligure, tende ad uscire dopo averlo percorso secondo una traiettoria arcuata per dirigersi poi verso il varco che immette nel Mediterraneo Occidentale. La corrente costiera quindi mantiene in profondità la stessa direzione, ma con velocità inferiori (circa 5 cm/sec a 1000 m), (AAVV. 1998).

## **2.5 Fattori di impatto ambientale**

Il Mar Ligure prospiciente la città di Genova risente dell'influsso dovuto all'apporto di numerosi corpi idrici di differente origine: porti commerciali, militari e porticcioli turistici, fiumi e torrenti, effluenti provenienti dagli impianti di depurazione, percolati da discariche, attività industriali di vario genere concentrate particolarmente nel ponente della città.

Dalla carta dei torrenti e rivi presenti lungo la costa demaniale portuale si possono evidenziare le zone a maggior vulnerabilità sotto l'aspetto ambientale (AAVV. 1998):

- Punta Vagno: area a possibile rischio ambientale di origine biologica, in quanto in

zona è presente un impianto di depurazione degli scarichi civili cittadini;

- foce del torrente Bisagno: soggetta a rischio sia biologico, sia industriale, per la presenza lungo l'asta torrentizia di numerosi insediamenti artigianali ed industriali;
- bacini portuali: zona dedicata alla manutenzione delle navi e pertanto soggetta a probabile rischio industriale, dovuto principalmente ai lavori di sabbiatura e verniciatura;
- Darsena: la presenza del depuratore cittadino per gli scarichi civili assoggetta l'area al probabile rischio biologico;
- scarico rinfuse e impianto termoelettrico ENEL: movimentano merci di vario tipo come carbone, caolino, fertilizzanti e materiali ferrosi;
- foce torrente Polcevera: la foce di questo torrente presenta notevoli problematiche ambientali per il porto, legate agli apporti alluvionali che il Polcevera trasporta; inoltre lungo il bacino imbrifero del torrente sono presenti numerose industrie chimiche, meccaniche, ecc. con possibili rischi di inquinamento. Non ultimo problema è la presenza alla foce, in sponda destra, dell'industria siderurgica, che con gli scarichi delle proprie acque industriali apporta notevoli quantità di loppe che si depositano lungo la vasca posta alla foce del torrente. Quanto sopra obbliga ad una continua pulizia dei fondali in modo da evitare problemi idrologici lungo l'asta torrentizia;
- Porto Petroli: si occupa dello scarico dei prodotti petroliferi; in questo caso è evidente il rischio ambientale-commerciale che, vista l'alta tecnologia sia del terminal, sia delle nuove navi petroliere, si riduce quasi totalmente ad eventuali errori accidentali umani;
- foce del torrente Chiaravagna: all'interno del bacino del Porto Petroli nella parte più a levante è presente il torrente Chiaravagna che ha un probabile rischio ambientale biologico-commerciale. Il bacino imbrifero del torrente interessa sia la discarica di Scarpino, sia diverse ditte che producono impianti elettromeccanici e apportano alla zona un'alta percentuale di rischio;
- foce del torrente Varenna: come per gli altri torrenti presenta un probabile rischio biologico-commerciale-industriale. Il torrente ha un bacino imbrifero che presenta un alto rischio idrogeologico e pertanto lungo i suoi versanti sono presenti numerose frane dovute allo scivolamento della coltre pluvio-colluviale, apportando così grandi quantità di sedimenti che vengono trasportati alla foce dalle acque del torrente. Questo fenomeno ha innescato una modifica sostanziale alla morfologia marina, sia della spiaggia emersa, sia della spiaggia sommersa, che attualmente

risultano in notevole accrescimento;

- Voltri Terminal Europa: sorge nella parte estrema dell'area portuale di ponente, costruito per il carico/scarico dei contenitori; oltre al probabile rischio commerciale è presente in zona una fascia di rispetto, ubicata tra il porto di Voltri e la città, dove scaricano ancora i reflui cittadini.

### 2.5.1 Corsi d'acqua

Per quanto riguarda i corsi d'acqua, si tratta di torrenti che, avendo origine sull'Appennino Ligure, raggiungono il mare dopo solo pochi chilometri, scorrendo in valli spesso perpendicolari alla costa, impervie e fittamente ramificate. Si discostano da questa tipologia i principali torrenti genovesi tra i quali spiccano il Polcevera, il Bisagno ed il Varenna. Questi corsi d'acqua hanno spiccato regime torrentizio e tendono ad esondare in concomitanza con i massimi pluviometrici stagionali, anche perché l'urbanizzazione lungo la costa ha portato alla costruzione di argini artificiali e tombinamenti che hanno ristretto sempre più l'alveo terminale dei torrenti (Fig. 2.6).

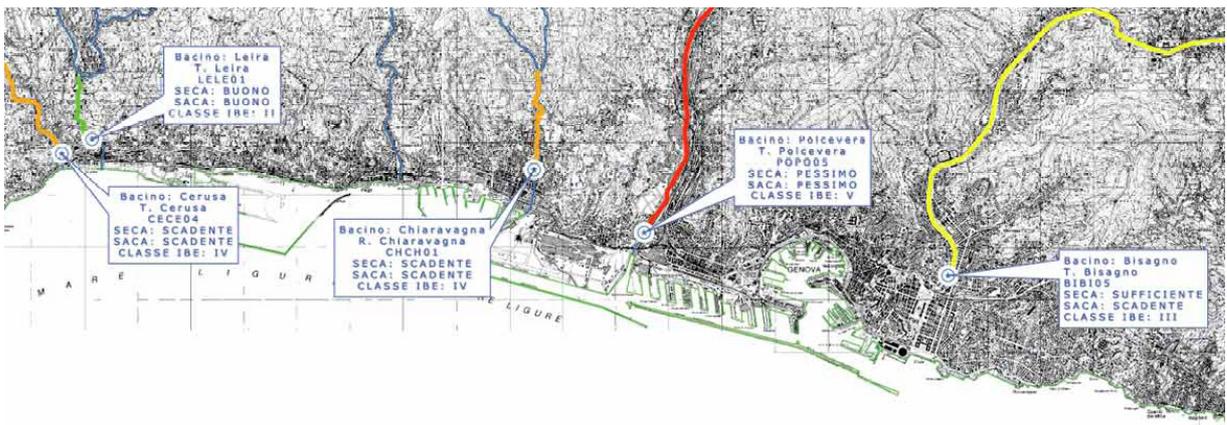


Fig 2.6 Torrenti che sfociano all'interno o in prossimità dell' area portuale genovese

([www.regione.liguria.it](http://www.regione.liguria.it))

### Varenna

Il bacino del Varenna si colloca nella parte orientale della formazione ofiolitica del Monte Beigua e il torrente nasce a monte dell'abitato di Camposilvano. Il suo regime torrentizio e' caratterizzato da piene impetuose, ma di breve durata che possono raggiungere i 441,4 m<sup>3</sup>/sec (fonte: Studio Propedeutico al Piano Regolatore Generale di Genova). Nella zona della foce predominano gli insediamenti abitativi di Pegli e quelli industriali di Multedo. La qualità delle acque, piuttosto buona, risente però della presenza antropica, in conseguenza della deposizione di fine limo inerte che banalizza l'ambiente ed amplifica

l'influenza degli insediamenti civili e produttivi (AAVV. 1998).

### Chiaravagna

Il torrente Chiaravagna si forma in località Serra, ha un percorso di circa 3,2 km lungo il quale attraversa l'abitato di Sestri Ponente e giunge alla foce dopo aver ricevuto dalla riva sinistra il rio Ruscarolo, che scende da Borzoli (Fig. 2.7).

Il Chiaravagna è stato sicuramente il corso d'acqua più degradato del genovesato, perché va ad assommare il dissesto idrogeologico alle criticità idrauliche (restringimenti delle sezioni d'alveo) e a quelle ambientali, in quanto raccoglieva il percolato della discarica urbana di Scarpino. Negli anni scorsi, sia l'indagine chimica, sia quella bentonica (mediante indici EBI) hanno evidenziato una situazione di inquinamento molto grave di origine sia organica che chimica. La foce tombinata riversa le acque all'interno del porto di Sestri, risultando costretta in un passaggio inadeguato ai valori delle portate delle recenti piene. Inoltre l'immissione in un bacino basso e semichiuso non consente l'adeguato sviluppo di meccanismi di autodepurazione biologica né di diluizione, compromettendo pesantemente la qualità delle acque marine in quel tratto (AAVV. 1998).

Negli ultimi anni sono stati effettuati dei piani di risanamento ambientale, che hanno previsto la realizzazione di un convogliamento del percolato all'interno del depuratore di Cornigliano.

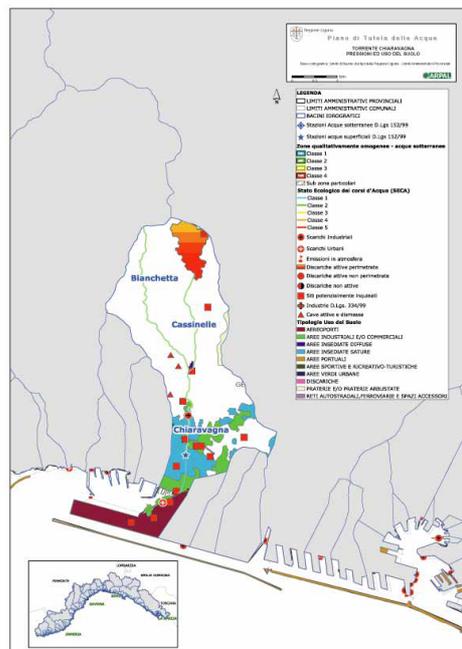


Fig 2.7 Torrente Chiaravagna – Pressione e uso del suolo

### Polcevera

Il bacino del Polcevera si trova immediatamente a ponente del centro di Genova e presenta uno sviluppo a ventaglio con asse quasi perpendicolare alla costa; è un corso d'acqua a regime torrentizio, che raccoglie all'altezza della circoscrizione di Pontedecimo, in comune di Genova, le acque provenienti dai comuni limitrofi a nord del capoluogo. Con decorso quasi rettilineo attraversa i quartieri cittadini di Bolzaneto, Rivarolo, Sampierdarena e Cornigliano e quindi sfocia nel Mar Ligure (Fig. 2.8).

È da rilevare la forte urbanizzazione concomitante con una altrettanto notevole ed antica industrializzazione, che grava su tutto il corso dell'asta principale e nei tratti terminali degli affluenti. Al dissesto idrogeologico della valle contribuiscono in maniera determinante anche la notevole acclività dei versanti e le elevate precipitazioni che, concentrate in brevi periodi, provocano piene spesso rovinose con punte sino a 1620 m<sup>3</sup>/sec (fonte: Studio Propedeutico al Piano Regolatore Generale di Genova). Sono presenti attività industriali appartenenti a vari settori produttivi, tra cui predominano le aziende petrolchimiche, chimiche e metalmeccaniche, per lo più di dimensioni medio-piccole, tranne che nella parte terminale del corso d'acqua, dove la presenza industriale è caratterizzata da insediamenti metalmeccanici di notevoli dimensioni.

La qualità delle acque è scadente in gran parte del reticolo idrografico e, dall'analisi del monitoraggio biologico condotto dalla Provincia di Genova nel 1990, risulta evidente una marcata compromissione di tutto il bacino. La situazione è particolarmente grave nel tratto medio-basso del corso principale a causa dei consistenti apporti inquinanti di origine industriale e dei forti prelievi idrici (AAVV. 1998).

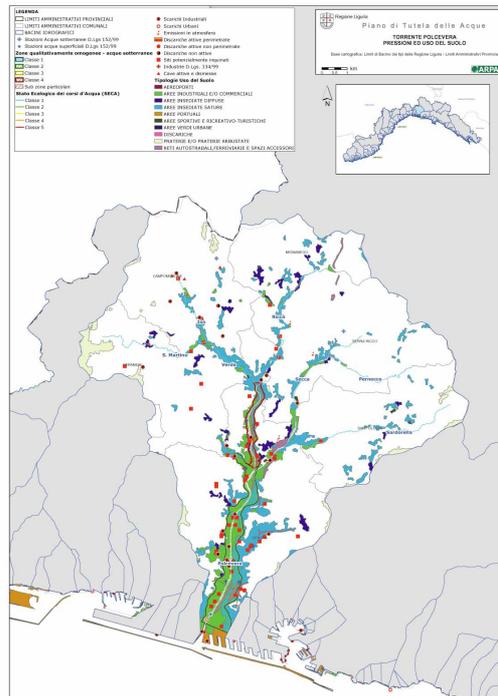


Fig 2.8 Torrente Polcevera – Pressione e uso del suolo

### Rivi del centro

Tra i grandi bacini del Polcevera e del Bisagno esiste una rete di piccoli rivi inseriti nel tessuto urbano del Centro Storico di Genova, che, a causa dello sviluppo urbano, sono stati progressivamente canalizzati. Il più rilevante per dimensioni e portate è il Fossato del Lagaccio, che in epoca ancora recente formava un piccolo lago poi bonificato. Il fatto che per gran parte dei loro percorsi siano stati disordinatamente tombinati, essenzialmente alla ricerca di spazi per esigenze di viabilità e per le altre attività umane, ha determinato una trasformazione radicale degli stessi, che sono oggi relegati al ruolo di semplici collettori fognari misti, salvo ridivenire autentici torrenti durante le precipitazioni intense, anche non necessariamente alluvionali, costituendo uno dei maggiori rischi per il pregevole patrimonio storico-urbanistico, le attività commerciali e l'incolumità delle persone.

La maggior parte dei citati rivi, per il fatto di costituire la principale rete di smaltimento dei reflui, è stata captata dal collettore costiero per essere convogliata al depuratore della Darsena (AAVV. 1998).

### Bisagno

Il bacino del Bisagno si trova a levante di Genova. Il torrente si origina al passo della

Scoffera ad una quota di 675 m, per arrivare, dopo 24 km, nella zona di Brignole da dove, canalizzato, scorre fino alla foce; ha un regime spiccatamente torrentizio con portate di piena che possono arrivare a 1220 m<sup>3</sup>/sec. Questa caratteristica, unita alle abbondanti precipitazioni e al diffuso dissesto idrogeologico comporta frequenti eventi alluvionali, specie sull'asta terminale, dove il livello di urbanizzazione è massimo.

Anche qui, come in Val Polcevera, buona parte del territorio è stata occupata con insediamenti sia abitativi, sia di servizi come cimitero, impianto di trattamento dei fanghi, smaltimento rifiuti, macelli (Fig. 2.9).

Il monitoraggio biologico della Provincia (1990) segnalava una buona qualità delle acque nel tratto medio-alto grazie ad un'efficace attività autodepurativa che compensa gli scarichi presenti. Nel tratto medio-basso, invece, influiscono negativamente sulla qualità del torrente, che peggiora rapidamente, consistenti apporti di inquinanti, notevoli prelievi idrici e frequenti lavori in alveo.

I ripetuti eventi alluvionali, che negli ultimi tempi hanno assunto una cadenza assai ravvicinata, evidenziano il precario stato di equilibrio di tutto il bacino del Bisagno (AAVV. 1998).

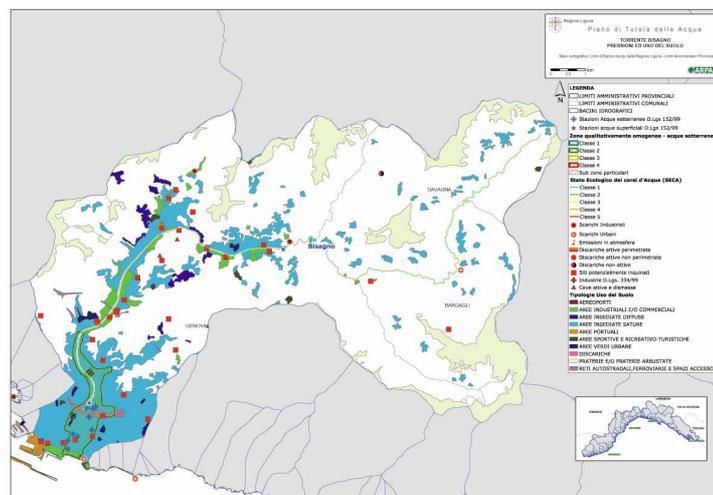


Fig 2.9 Torrente Bisagno – Pressione e uso del suolo

### 2.5.2 Impianti di depurazione

Gli scarichi di tipo civile producono solo secondariamente contaminazioni di tipo chimico (idrocarburi, tensioattivi, fenoli); le alterazioni principali riguardano soprattutto l'immissione di sostanza organica, che si manifesta con contaminazione batterica, aumento dei nutrienti e della torbidità delle acque. La situazione lungo l'arco ligure appare sensibilmente migliorata rispetto al recente passato (anni '70 - '80), grazie al

programma di risanamento delle acque che con l'adeguamento del sistema di raccolta, depurazione e scarico a mare dei reflui urbani ha prodotto un generalizzato abbattimento della contaminazione batterica e dei nutrienti.

Attualmente viene trattato dagli impianti di depurazione circa l'80% delle defluenze nere della città. Tutto il sistema di rilancio dei liquami è posto sotto costante telecontrollo, al fine di monitorare e prevedere tutti i fenomeni che possono aver influenza sulle portate agli impianti ([www.regione.liguria.it](http://www.regione.liguria.it)). Ad oggi i depuratori che scaricano nell'area portuale o nei pressi delle sue imboccature, sono: gli impianti di Punta Vagno, della Darsena, della Valpolcevera, di Sestri Ponente, di Pegli e di Prà Voltri (Fig. 2.10).

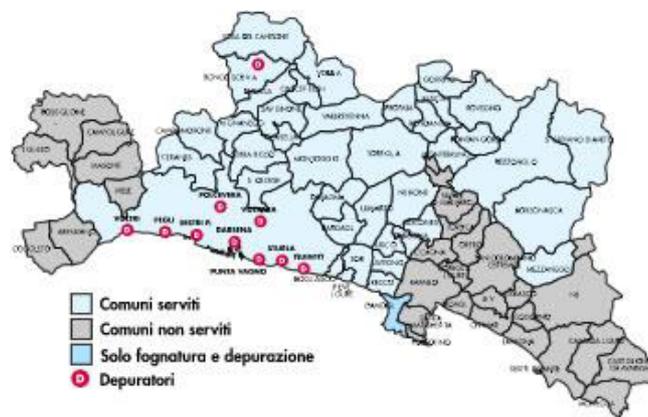


Fig 2.10 Depuratori presenti nell'area genovese ([www.regione.liguria.it](http://www.regione.liguria.it))

L'impianto di depurazione di Punta Vagno tratta gli scarichi di 220.000 abitanti equivalenti e ha una portata media giornaliera di 66.000 m<sup>3</sup>/giorno. Comprende solo la linea di trattamento dei liquami, è del tipo fanghi attivi ed è collegato con una linea di trasporto fanghi in pressione all'impianto di Volpara, dove si effettua la digestione anaerobica.

Il liquame è addotto da un collettore che scorre a quota zero sul livello marino per cui, dopo una grigliatura medio-fine con due griglie in parallelo viene sollevato con coclee. Il materiale passa poi al dissabbiatore-disoleatore ed alla vasca di preaerazione equipaggiata con tre turbine di superficie. L'ultimo dei pre-trattamenti, la decantazione primaria, avviene su due linee in vasche provviste di carro ponte con movimento "va e vieni" e raschiatori di fondo e di superficie. All'uscita dei decantatori il liquame, arricchito dei fanghi di ricircolo, si immette nel comparto di aerazione; la miscela liquame aerato-fango biologico è avviata al comparto di sedimentazione finale provvisto di quattro vasche in parallelo equipaggiate con un sistema continuo montato su catene per la rimozione del

fango. Il liquame chiarificato, dopo la misura della portata, viene immesso in condotta sottomarina per lo smaltimento. Il fango di ricircolo viene riportato nelle vasche di ossidazione, mentre il fango di esubero viene rilasciato alla testa dei sedimentatori primari (AAVV. 1998).

L'impianto di depurazione del Centro storico, situato nella zona portuale della Darsena, è stato progettato per trattare gli scarichi di 220.000 abitanti equivalenti con il metodo dei fanghi attivi ed ha una portata media giornaliera di 57.000 m<sup>3</sup>/giorno.

Il dimensionamento del depuratore è stato fatto in relazione al fatto che la rete della zona è di tipo misto, per cui il trattamento biologico può sopportare una portata idraulica pari a 2,5 la portata media oraria (acqua di prima pioggia) mentre i pretrattamenti sono costruiti per una portata complessiva fino a 6,5 volte la portata media.

Il liquame proveniente dal collettore di Via Gramsci subisce una grigliatura grossolana prima di essere sollevato con pompe sommergibili ed avviato alla grigliatura fine. Successivamente, dopo il comparto di dissabbiatura e disoleatura, l'eventuale portata in tempo di pioggia superiore a 2,5 la portata media viene scaricata in mare, mentre l'altra frazione procede verso il comparto di ossidazione. La portata del liquame viene quindi suddivisa su otto sedimentatori finali per separare il fango biologico dal liquame chiarificato. L'acqua depurata viene sollevata con pompe sommergibili e, prima di essere scaricata in mare, subisce una disinfezione con biossido di cloro. Una parte, filtrata con filtro a sabbia, è usata come acqua industriale di servizio per tutte le necessità dell'impianto. I fanghi di esubero provenienti dai sedimentatori finali vengono pre-ispessiti dinamicamente per poter essere inviati alla digestione anaerobica che opera con due digestori in parallelo. Il fango digerito passa poi alla vasca di preispessimento statico prima di essere disidratato meccanicamente per mezzo di due filtri pressa a nastro continuo. Il fango disidratato viene convogliato ad un silos di stoccaggio da dove verrà estratto mediante una coclea per essere caricato su camion attrezzati appositamente per il trasporto ai siti di smaltimento (AAVV. 1998).

L'impianto di depurazione della Valpolcevera sorge sulla sponda destra del torrente Polcevera in prossimità dell'ultimo ponte prima della foce. Serve 160.000 abitanti equivalenti ed ha una portata media giornaliera di 33.600 m<sup>3</sup>/giorno. È un impianto a fanghi attivi con ossigenazione effettuata con ossigeno puro. Il liquame viene dapprima sollevato con due coclee, passa attraverso grigliatura grossolana e medio-fine e dissabbiatura e poi trattato nel comparto di preaerazione e disoleatura equipaggiato con

aeratori sommersi. Vi è un ulteriore sollevamento e trattamento con rotostacci per alleggerire il carico biologico inquinante agli stadi successivi. Il liquame passa in due decantatori primari a pianta rettangolare e il successivo comparto di ossidazione è realizzato con tre vasche equipaggiate con aeratore-agitatore meccanico per favorire la dispersione dell'ossigeno puro nel liquame. La sedimentazione finale è effettuata in una vasca a pianta circolare avente diametro di 41 metri, equipaggiata con un carro ponte per la rimozione del fango separato. Successivamente il liquame chiarificato viene scaricato per gravità alla foce del Polcevera. Il fango biologico estratto dal sedimentatore finale viene in parte ricircolato al comparto ossidazione, mentre la frazione di esubero passa a un ispessitore statico a pianta circolare (AAVV. 1998).

L'impianto di Sestri Ponente serve 130.000 abitanti equivalenti ed ha una portata media giornaliera di 34.100 m<sup>3</sup>/giorno. E' del tipo fanghi attivi biologici, senza digestione anaerobica dei fanghi. Il liquame subisce una grigliatura medio-fine poi viene sollevato con pompe sommergibili e avviato al comparto di dissabbiatura e disoleazione che opera su due linee in parallelo ed è in grado di trattare anche la portata prevista in tempo di pioggia. La portata del liquame di tempo asciutto passa poi all'ossidazione, che viene effettuata in vasche dotate di diffusori sommersi d'aria. Successivamente il liquame viene trattato nei sedimentatori finali, dove si separa il fango biologico, per essere poi in parte ricircolato nelle vasche di ossidazione tramite pompe ed in parte subire ispessimento nei preispessitori prima di essere avviato alla disidratazione meccanica tramite centrifughe. In casi di emergenza sanitaria è prevista la disinfezione del liquido chiarificato prima dello scarico a mare (AAVV. 1998).

Il depuratore di Pegli serve 40.000 abitanti equivalenti ed ha una portata media giornaliera di 10.200 m<sup>3</sup>/giorno. E' del tipo fanghi attivi con stabilizzazione aerobica del fango di esubero. Il liquame di fognatura che arriva a quota zero sul livello marino viene sottoposto a grigliatura medio-fine attraverso due griglie automatiche poste n parallelo. Per mezzo di una coclea viene quindi sollevato ed inviato al trattamento di estrazione e classificazione delle sabbie e successivamente ad una vasca di pre-aerazione con una turbina d superficie. I liquami alimentano successivamente un decantatore primario e, all'uscita, si immettono nel comparto di ossidazione biologica costituito da un bacino equipaggiato con turbine di superficie. La miscela liquame-fango biologico aerato si avvia quindi alla vasca di sedimentazione finale in cui avviene la separazione del fango biologico dal liquido chiarificato che, dopo misura della portata, viene allontanato dall'impianto

attraverso una condotta sottomarina. I fanghi biologici raccolti sul fondo del sedimentatore finale vengono in parte riciclati nel comparto di aerazione ed in parte inviati al decantatore primario. I fanghi estratti dal decantatore primario per mezzo di pompe sommerse sono avviati alla vasca di stabilizzazione e una volta stabilizzati vengono ispessiti ed avviati al comparto di disidratazione meccanica equipaggiato con due centrifughe ed una centralina di dosaggio di polielettrolita in polvere (AAVV. 1998).

L'impianto di Prà-Voltri è edificato sul lato a ponente del riempimento a mare realizzato per il porto di Voltri. Attualmente serve 60.000 abitanti equivalenti ed ha una portata media giornaliera di 15.300 m<sup>3</sup>/giorno. È destinato al trattamento degli scarichi civili dell'estremo ponente genovese e comprende: trattamenti preliminari del liquame influente, trattamento primario, trattamento secondario e disinfezione, trattamento dei fanghi di esubero. L'effluente dell'impianto viene avviato allo scarico a mare con condotta sottomarina (AAVV. 1998).

## 2.6 Evoluzione dell'area portuale

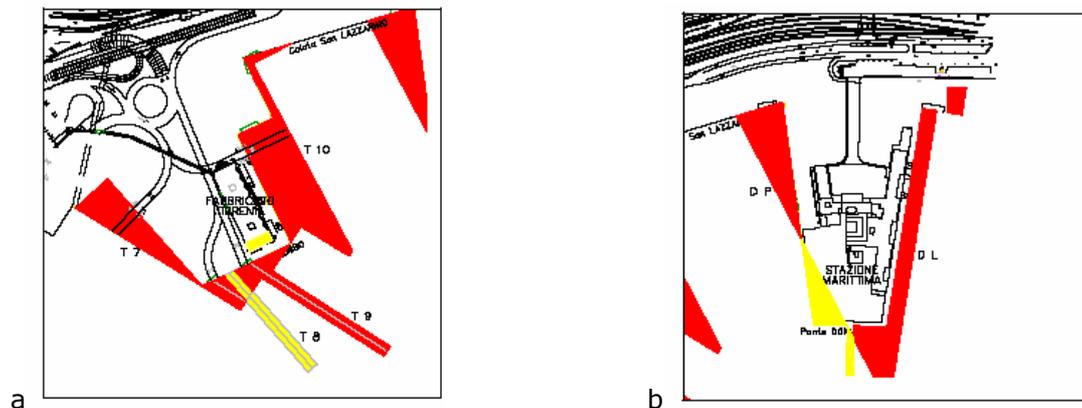
Il porto negli ultimi anni ha subito alcune modifiche strutturali, alcune delle quali sono ancora in corso d'opera. Le più significative opere pubbliche realizzate (o in fase di ultimazione) sono:

- la costruzione del sesto modulo del terminal di Voltri (Area Voltri-Prà), rappresentato da una nuova banchina per la movimentazione dei contenitori e da piazzali ottenuti attraverso lavori di riempimento a mare; l'opera è stata ultimata a settembre 2005 (Fig. 2.11).



Fig 2.11 Sesto modulo del terminal di Voltri

- il consolidamento e la ristrutturazione del terminal traghetti di Ponte Colombo (Area Porto Antico), ha previsto la costruzione e l'adeguamento di due banchine, l'ampliamento del piazzale per l'imbarco/sbarco delle auto e la ristrutturazione del terminal con passerelle di imbarco/sbarco dei passeggeri. Le opere permettono di disporre di 4 ormeggi in contemporanea. I lavori relativi alle banchine sono stati conclusi nel 2004; mentre i lavori relativi al terminal passeggeri sono stati conclusi alla fine del 2005 (Fig. 2.12).
- la ristrutturazione e la realizzazione del nuovo profilo di banchina lato ponente e testata a Ponte Andrea Doria e la riqualificazione estetica e funzionale della Stazione Marittima con la creazione di un nuovo corpo (Area Porto Antico) (Fig. 2.12).



*Fig 2.12 Consolidamento e ristrutturazione del terminal traghetti di Ponte Colombo (a) e ristrutturazione e realizzazione del nuovo profilo di a Ponte Andrea Doria (b)*

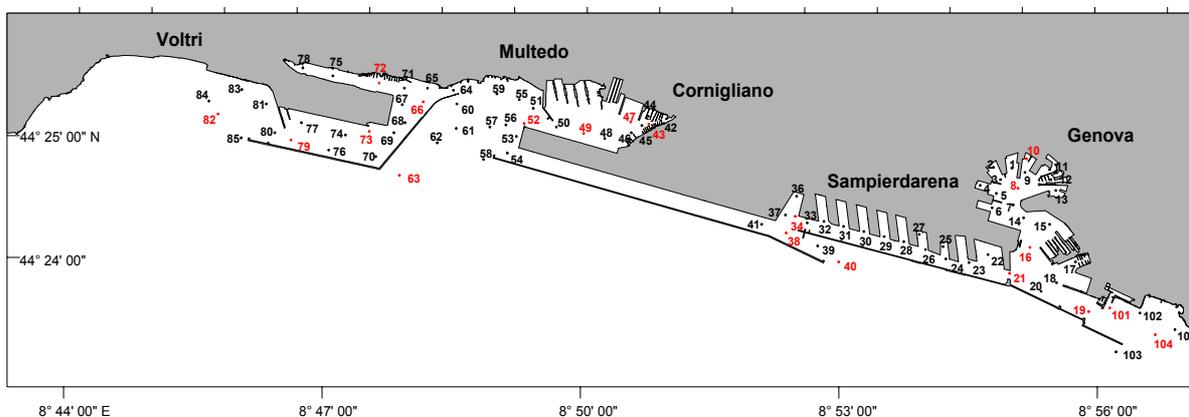
- la realizzazione di una nuova banchina più ampia e più lunga tra Ponte Assereto e Calata Chiappella (Area Porto Antico).
- una prima fase di adeguamento funzionale e strutturale dell'area dei bacini di carenaggio (Area Riparazioni navali – Kennedy - Fiera).
- realizzazione di una nuova calata (270x70 m) nell'ambito portuale di Sestri Fincantieri S.p.A. (Area Miltedo-Porto petroli –Sensori Cantieri). I lavori saranno ultimati a fine 2007
- il consolidamento delle banchine e approfondimento dei fondali (da -11 a -14 m) su Ponte S. Giorgio levante e Ponte Rubattino lato ponente (Area Sampierdarena).

### 3 MATERIALI E METODI

#### 3.1 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) vengono utilizzate due sonde multiparametriche B&C Electronic posizionate direttamente allo scafo di imbarcazioni della SEPG, a circa un metro di profondità, con acquisizione dati ogni due minuti. La metodica di campionamento utilizzata permette mediamente l'acquisizione in circa 300 punti distribuiti all'interno dell'area portuale, 80 dei quali coincidono con quelli relativi al monitoraggio antecedente al 2005. In 20 di questi punti, scelti in base alla loro collocazione rispetto ai principali apporti di acqua dolce proveniente da terra, 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.

Nella Figura 3.1 si riporta l'ubicazione degli 80 punti di campionamento coincidenti con quelli relativi al monitoraggio antecedente al 2005.



*Fig.3.1 Punti di campionamento coincidenti con quelli relativi al monitoraggio antecedente al 2005; in rosso sono evidenziati i punti in cui vengono prelevati campioni di acqua sub-superficiale.*

I mezzi utilizzati per il monitoraggio sono due (Fig. 3.2), ciascuno dei quali dotato di una propria sonda multiparametrica e di una propria area di azione. Uno è destinato alla zona compresa tra Punta Vagno e la foce del Polcevera, l'altro ai bacini di Mulledo e Voltri.



Fig. 3.2 Imbarcazione utilizzata per il monitoraggio

### 3. 2 Parametri chimico-fisici

Per la rilevazione dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua sub-superficiale (temperatura, salinità, ossigeno disciolto) vengono utilizzate due sonde multiparametriche B&C Electronic (mod. SA 8065.101, Fig. 3.3).



Fig. 3.3 Sonda B&C electronics, modello SA 8065.101

In tabella 3.1 vengono riportate le specifiche dei sensori delle sonde.

	<i>Tipo sensore</i>	<i>Scala</i>	<i>Risoluzione dato</i>
Temperatura	RTD Pt1000	-5/+55 °C	0.01 °C
Conducibilità	Cella K=1.00	6.000/60.000 mS	0.001 mS
Ossigeno disciolto	Cella polarografica	0.000/20.000 mg/l	0.001 mg/l

Tab. 3.1 Specifiche dei sensori della sonda SA 8065.101, B&C

I dati relativi ai principali parametri chimico-fisici dell'acqua sono stati validati nell'ambito di una collaborazione tra la SEPG e l'Università degli Studi di Genova (DIP.TE.RIS.), che aveva come obiettivi:

- l'analisi ed intercalibrazione del sistema di monitoraggio in continuo (sonde multiparametriche) posizionato su mezzi nautici della SEPG;
- la realizzazione di un protocollo di utilizzo ottimale della strumentazione.

### **3. 3 Parametri meteorologici**

I dati relativi alla piovosità annuale e alla temperatura dell'aria provengono dal "Dipartimento di Ingegneria Ambientale dell'Università di Genova" ([www.diam.unige.it](http://www.diam.unige.it)) e dal sito di meteorologia Eurometeo ([www.eurometeo.com](http://www.eurometeo.com)).

I dati relativi all'intensità e direzione del vento provengono dal Servizio Mareografico dell'APAT ([www.idromare.com](http://www.idromare.com)) e dal sito di meteorologia Eurometeo ([www.eurometeo.com](http://www.eurometeo.com)) e sono stati elaborati con il software WRPLOT View 5.2.1.

### **3. 4 Coliformi fecali**

I campioni, trasportati in contenitori refrigerati, sono stati analizzati presso il laboratorio dell'AMGA entro i tempi previsti dai metodi analitici impiegati. Per l'analisi è stato utilizzato il metodo del numero più probabile o dei tubi multipli (MPN), descritto nel manuale IRSA/CNR.

Con questo metodo, che consiste in una prova presuntiva e in una prova di conferma, viene calcolata la densità dei coliformi fecali in campioni di acqua tramite una stima statistica, determinata sulla base della combinazione di tubi positivi e negativi ottenuti inoculando aliquote diverse del campione in terreno colturale liquido. Il risultato può essere ricavato, in base alle diverse combinazioni, dall'apposita tabella già predisposta .

Il metodo è particolarmente adatto per l'esame di acque che presentano un'elevata torbidità. Il risultato ottenuto viene riportato come MPN/100 mL di campione.

### **3.5 Azoto ammoniacale**

I campioni, trasportati in contenitori refrigerati, sono stati analizzati presso il laboratorio dell'AMGA 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 ed 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 ed 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.

## **4 RISULTATI E DISCUSSIONE**

Tutti i risultati provenienti dal monitoraggio effettuato nell'anno 2006 sono riportati nelle relazioni mensili (CD allegato); le rappresentazioni grafiche mensili dei parametri monitorati e dei parametri meteorologici sono riportate nell'appendice 1.

### **4.1 Analisi statistica multivariata**

Per evidenziare la suddivisione dei diversi siti all'interno dei tre bacini portuali, è stata utilizzata un'analisi statistica multivariata, l'analisi delle componenti principali. La caratteristica di questa tecnica è quella di non fare alcuna distinzione a priori tra variabili dipendenti e variabili indipendenti, ma di considerare tutte le variabili (o un loro sottoinsieme) come un gruppo unico di variabili tra loro reciprocamente correlate. Lo scopo primario di questa tecnica è la riduzione di un numero più o meno elevato di variabili (rappresentanti altrettante caratteristiche del fenomeno analizzato) in alcune variabili latenti.

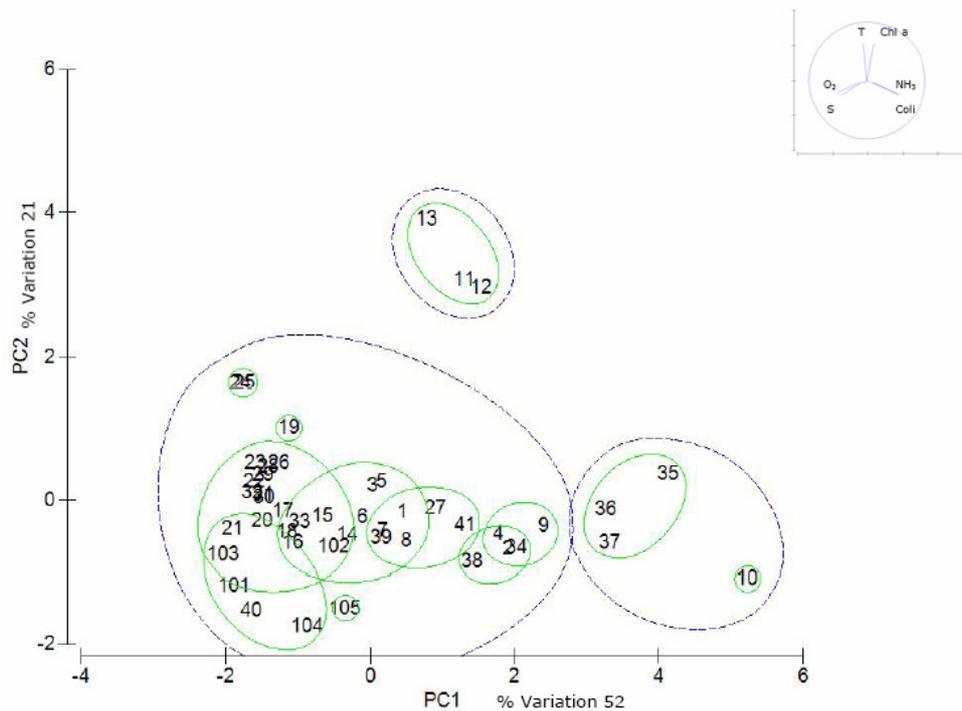
Ciò avviene tramite una trasformazione lineare delle variabili, che proietta quelle originarie in un nuovo sistema cartesiano nel quale la nuova variabile con la maggiore varianza viene proiettata sul primo asse, la variabile nuova seconda per dimensione della varianza sul secondo asse e così via. La riduzione della complessità avviene limitandosi ad analizzare le principali (per varianza) tra le nuove variabili. Questa metodologia di analisi multivariata tende quindi ad estrarre (a partire da un'analisi delle correlazioni/covarianze tra le variabili sottoposte al monitoraggio) un numero ridotto di variabili (costituite da composizioni lineari di quelle originali e tra loro ortogonali), in grado di riprodurre una buona percentuale della variabilità di partenza, e riconducibili, almeno in linea di principio, a specifici fenomeni. L'ortogonalità delle componenti estratte ne garantisce la loro indipendenza. Per le elaborazioni statistiche sono stati utilizzati i programmi Primer 6 (Primer-E) e Statistica 6 (StatSoft).

L'analisi delle componenti principali è stata applicata su tutti i dati raccolti nel periodo 1998-2006, ed 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 considerati; 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.

Per "omogeneizzare" le variabili, il valore originario dei coliformi fecali è stato sostituito

dal  $\text{Log}_{10}(1+X)$  (dove con  $\text{Log}_{10}$  è stato indicato il logaritmo in base 10 e con X il valore originario della variabile; il valore 1 è stato aggiunto per far sì che valori di X prossimi a zero non divergano nella trasformazione logaritmica).

In figura 4.1 viene riportata l'analisi delle componenti principali, relativa all'area portuale che si estende dalla foce del Bisagno alla foce del Polcevera, che raggruppa le stazioni all'interno del bacino in base alle concentrazioni dei parametri monitorati.

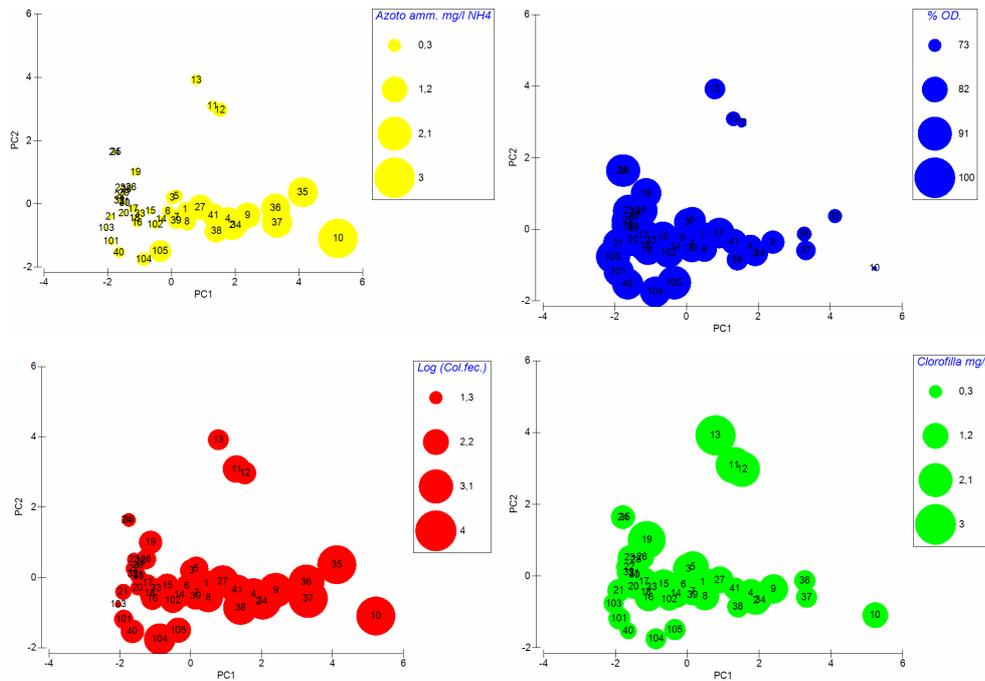


*Figura 4.1 Analisi delle componenti principali relativa all'area portuale che si estende dalla foce del Bisagno alla foce del Polcevera*

Le stazioni più interne e posizionate in corrispondenza dei principali apporti da terra (10, 35-37) e le stazioni vicine alle bocche portuali (40, 101-105) si posizionano agli estremi della prima componente, e le altre stazioni si distribuiscono seguendo il gradiente interno-esterno del bacino, con concentrazioni di ammoniaca e coliformi marcatamente decrescenti ed aumento dell'ossigeno disciolto. Le stazioni 11-13 si distinguono per la più elevata concentrazione di clorofilla-a, determinata dalla vicinanza dello scarico del depuratore in Darsena, che apporta grandi quantità di nutrienti. In questo bacino, quindi, i massimi di clorofilla-a non si ritrovano in concomitanza dello scarico stesso (stazione 10) ma nelle zone limitrofe. Le stazioni 24 e 25, poste in corrispondenza dello scarico

dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel, si distinguono per la temperatura più elevata.

In figura 4.2 vengono riportate le concentrazioni dei parametri che guidano la distribuzione delle stazioni, sovrimposte al grafico dell'analisi delle componenti principali.



*Figura 4.2 Concentrazioni di ammoniaca, ossigeno disciolto, coliformi fecali e clorofilla a sovrimposte al grafico dell'analisi delle componenti principali.*

In figura 4.3 viene riportata l'analisi delle componenti principali, relativa al bacino di Muledo.

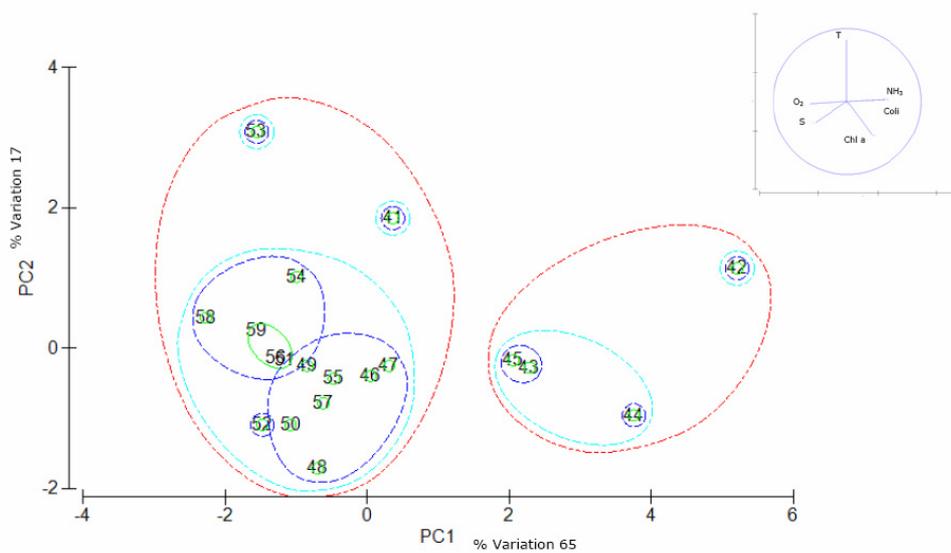


Figura 4.3 Analisi delle componenti principali relativa al bacino di Miltedo.

Anche in questo caso le stazioni più interne e posizionate in corrispondenza dei principali apporti da terra (42-45) si raggruppano e le altre stazioni si distribuiscono seguendo il gradiente interno-esterno del bacino, con concentrazioni di ammoniaca e coliformi decrescenti ed aumento dell'ossigeno disciolto. In figura 4.4 vengono riportate le concentrazioni dei parametri che guidano la distribuzione delle stazioni, sovrimposte al grafico dell'analisi delle componenti principali.

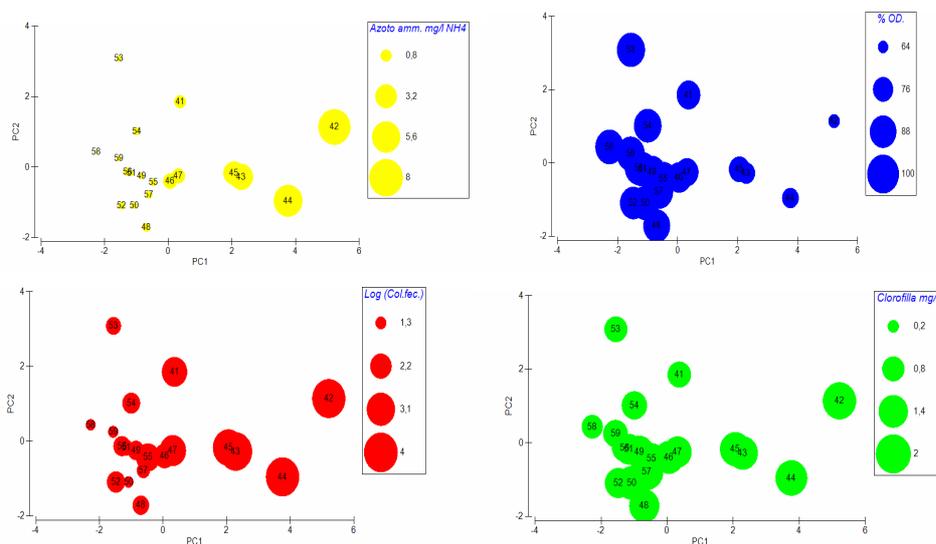


Figura 4.4 Concentrazioni di ammoniaca, ossigeno disciolto, coliformi fecali e clorofilla a sovrimposte al grafico dell'analisi delle componenti principali.

In figura 4.5 viene riportata l'analisi delle componenti principali, relativa al bacino di Voltri.

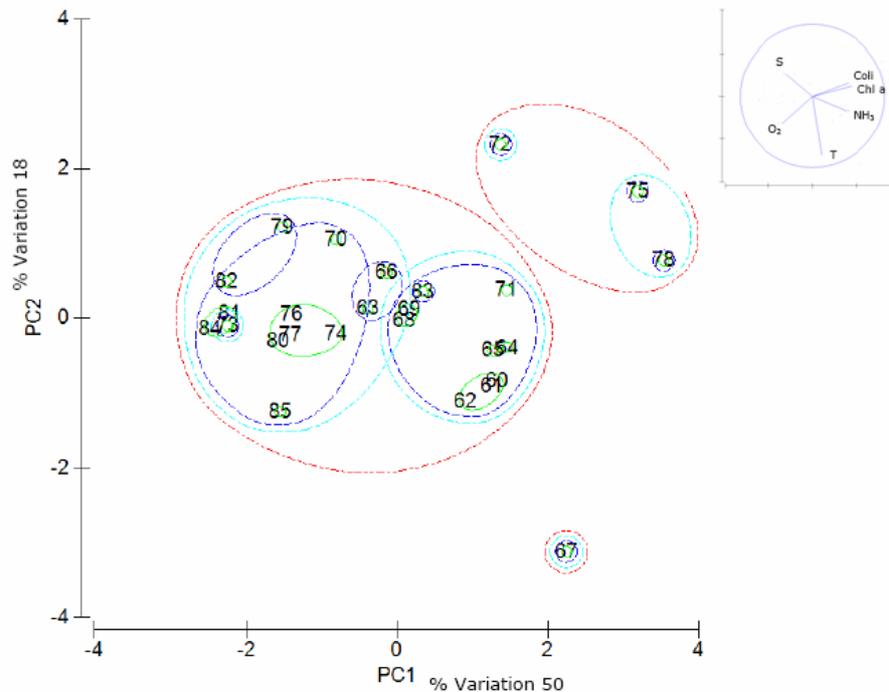


Figura 4.5 Analisi delle componenti principali relativa al bacino di Voltri

L'analisi delle componenti principali evidenzia per il bacino di Voltri le stazioni più confinate (72, 75, 78), posizionate nel canale di Prà, caratterizzate da più elevate concentrazioni di clorofilla-a; le stazioni poste in corrispondenza dell'imboccatura portuale di levante (59-65), che risentono dell'influenza degli scarichi del depuratore di Pegli e sono caratterizzate da concentrazioni di ammoniaca e coliformi fecali più elevate; le stazioni poste in corrispondenza dell'imboccatura portuale di ponente, che sembrano non risentire dello scarico del depuratore di Voltri.

In figura 4.6 vengono riportate le concentrazioni dei parametri che guidano la distribuzione delle stazioni, sovrimposte al grafico dell'analisi delle componenti principali.

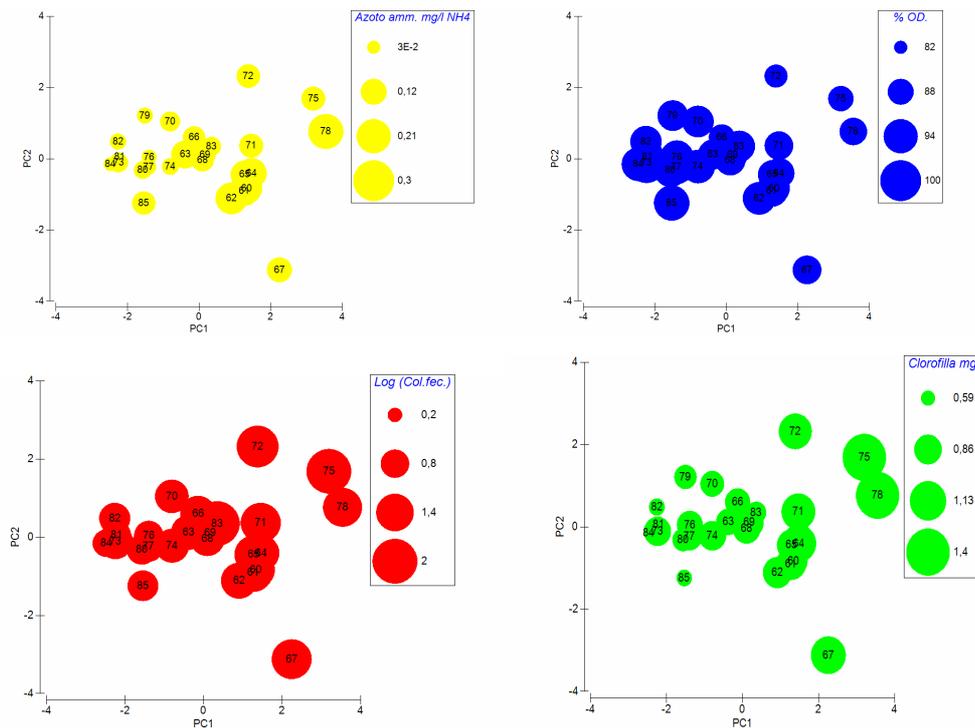


Figura 4.6 Concentrazioni di ammoniaca, ossigeno disciolto, coliformi fecali e clorofilla a sovrainposte al grafico dell'analisi delle componenti principali.

Oltre alla analisi delle componenti principali è stata applicata ai dati provenienti dal monitoraggio un'altra analisi statistica multivariata, l'analisi dei fattori principali. Tramite questo tipo di analisi è possibile identificare dei fattori che possano essere interpretati come potenziali "generatori latenti" del fenomeno osservato, in questo caso la qualità dei corpi idrici portuali. La qualità delle acque è infatti, almeno in linea di principio, riconducibile all'impatto di alcuni "fattori" principali. Si può infatti pensare che i diversi parametri alla base dell'azione di monitoraggio tendano a riflettere l'impatto di alcuni fenomeni di base tra loro indipendenti tra cui: la presenza di scarichi industriali e fognari, la presenza di corsi d'acqua, la vicinanza con il mare. Ad esempio, identificando la carica batterica e l'ammoniaca come "indicatori" della presenza di emissioni civili, ci si può aspettare che tali parametri tendano a rilevarsi tra loro correlati (valori "elevati" in aree a forte impatto antropico e "bassi" in assenza di scarichi). Da questo punto di vista, in presenza di dati di monitoraggio che effettivamente evidenzino, ad esempio, una forte correlazione tra le misure di carica batterica e l'ammoniaca, è pensabile che un'analisi multivariata dei dati del monitoraggio sia in grado di estrarre un "fattore" che possa, a posteriori, essere identificato come "rappresentativo dell'impatto derivante da scarichi civili".

Questa analisi si è stata applicata ai dati di monitoraggio provenienti da tutti e tre i bacini nel periodo 1998-2006, e consente di aggregare i punti di campionamento in diverse tipologie o classi, ciascuna delle quali è influenzata da una determinata combinazione di variabili (fattori). Come per l'analisi delle componenti principali, per "omogeneizzare" le variabili, il valore originario dei coliformi fecali è stato sostituito dal  $\text{Log}_{10}(1+X)$ . Sui fattori estratti è stata poi effettuata una "rotazione" (metodo varimax), finalizzata alla massimizzazione del contributo delle singole variabili rispetto a singoli fattori, ottenendo così strutture più semplici da interpretare.

In tabella 4.1 vengono riportati gli autovalori, la percentuale della varianza totale, la somma cumulativa degli autovalori e percentuale cumulativa della varianza derivanti dall'analisi dei fattori.

Eigenvalues (Spreadsheet1 in Workbook1)				
Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	3,177859	52,96432	3,177859	52,9643
2	1,109047	18,48411	4,286906	71,4484
3	0,736502	12,27504	5,023408	83,7235
4	0,531404	8,85673	5,554812	92,5802
5	0,295516	4,92526	5,850328	97,5055
6	0,149672	2,49453	6,000000	100,0000

*Tab. 4.1 Autovalori, percentuale della varianza totale, somma cumulativa degli autovalori e percentuale cumulativa della varianza*

L'autovalore del primo fattore corrisponde circa al 53% della varianza totale; al secondo fattore corrisponde una varianza di circa 18% e il 12% per il terzo fattore. Gli altri fattori contribuiscono ciascuno a meno del 10% della varianza.

Gli autovalori possono essere utilizzati per decidere il numero di fattori da tenere e la loro interpretazione. In questo caso si è deciso di tenere i fattori che contribuiscono alla varianza totale con una percentuale maggiore del o uguale al 5%, e quindi i primi 5 fattori (Fig. 4.7 )

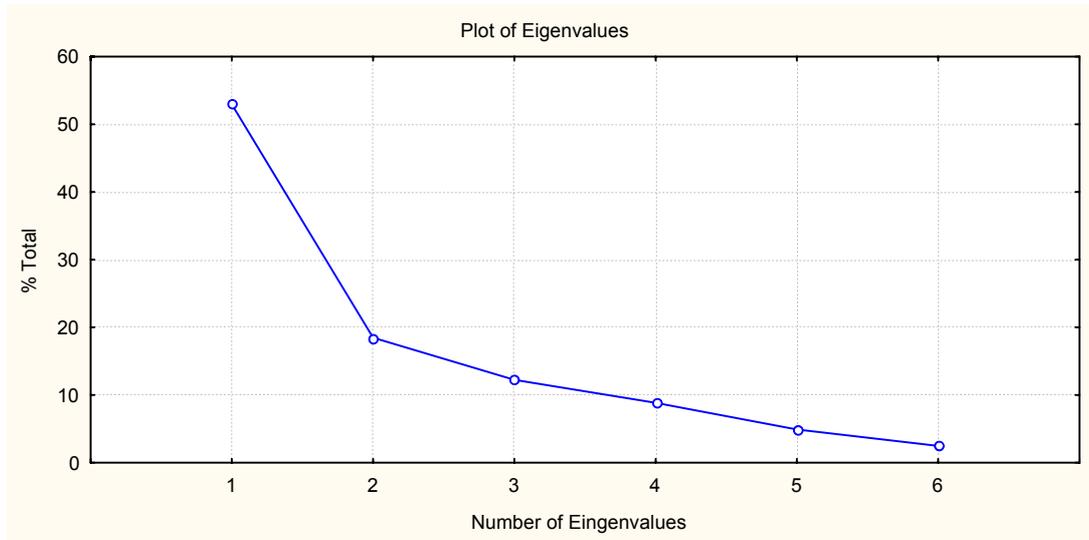


Figura 4.7 Percentuale della varianza totale

Il contributo di ogni variabile originaria ad ogni singolo fattore viene riportato in tabella 4.2 e nella figura 4.8.

Variable	Factor Loadings (Varimax normalized) (Spreadsheet1 in Workbook1) Extraction: Principal components (Marked loadings are > ,700000)					
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Azoto amm. mg/l NH4	0,342668	0,027977	0,087578	0,232559	<b>0,895568</b>	0,134162
Log (Col.fec.)	<b>0,889456</b>	0,071665	0,174348	0,204966	0,337716	0,131424
T°C	-0,034990	<b>-0,993760</b>	0,062440	0,077471	-0,014561	0,033237
%OD.	-0,526540	0,109840	-0,303189	-0,288821	-0,424682	-0,595815
Salinità ‰	-0,197707	0,094380	-0,158913	<b>-0,932735</b>	-0,214695	-0,103257
Clorofilla mg/l	0,156384	-0,067266	<b>0,966615</b>	0,143909	0,084518	0,093923
Expl.Var	1,250565	1,018974	1,093488	1,076219	1,149899	0,410855
Prp.Totl	0,208428	0,169829	0,182248	0,179370	0,191650	0,068476

Tabella 4.2 Contributo di ogni variabile originaria ad ogni singolo fattore

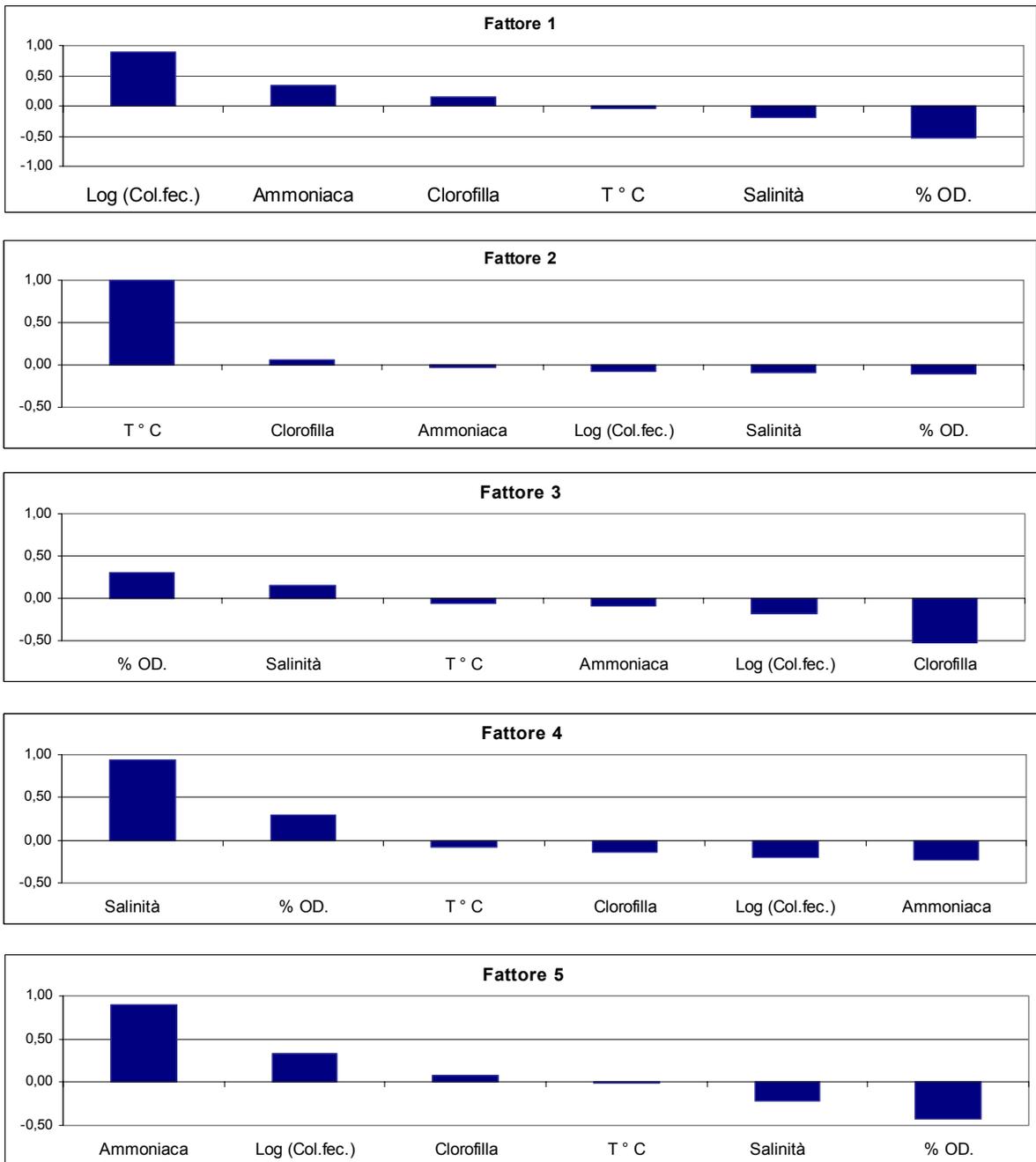


Fig. 4.8 Contributo di ogni variabile originaria ad ogni singolo fattore

I fattori principali possono essere messi in relazione alle seguenti combinazioni di variabili:

- Fattore 1: coliformi fecali, ossigeno disciolto (relazione inversa), azoto ammoniacale, salinit  (relazione inversa);

- Fattore 2: temperatura
- Fattore 3: clorofilla-a (relazione inversa), ossigeno disciolto, azoto ammoniacale, coliformi fecali (relazione inversa), salinità;
- Fattore 4: salinità, ossigeno disciolto, azoto ammoniacale (relazione inversa), coliformi fecali (relazione inversa);
- Fattore 5: azoto ammoniacale, ossigeno disciolto (relazione inversa), coliformi fecali, salinità (relazione inversa).

In termini di strutture latenti, i fattori possono essere associati alle seguenti tematiche:

- Fattore 1: isola l'impatto batterico da scarichi di origine fognaria (presenza di depuratori);
- Fattore 2: presenza di scarichi di acqua ad elevata temperatura;
- Fattore 3: stazioni ad elevata trofia;
- Fattore 4: stazioni che subiscono l'effetto del mare aperto;
- Fattore 5: indica le stazioni intermedie tra le zone più interne e le bocche dei bacini

Successivamente, le stazioni di campionamento sono state aggregate in tipologie diverse, tramite un'analisi di cluster, basandosi sulle loro componenti sui fattori principali precedentemente calcolati (Fig. 4.9).

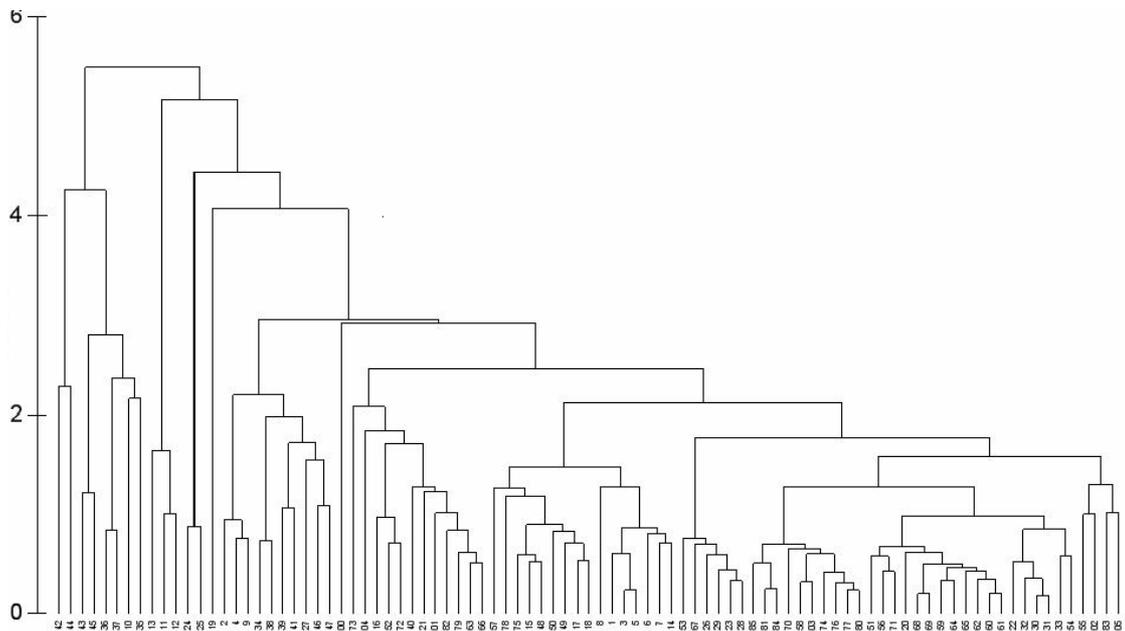


Fig. 4.9 Analisi di cluster

In tabella 4.3 ad ogni singolo fattore vengono associati i singoli cluster principali individuati dall'analisi.

Fattori	Cluster
1	Stazioni 43-45 (foce Chiaravagna), 35-37 (foce Polcevera), 10 (scarico depuratore Darsena)
2	Stazioni 24 e 25 (scarico centrale Enel sampierdarena)
3	11-13 (zona interna porto Antico), 46-50 (bacino di Multedo),
4	19, 101-105 (zona esterna levante Darsena), 39-40 (zona esterna Polcevera), 79-85 (zona esterna ponente Voltri), 51-64 (zona esterna levante Voltri)
5	Stazioni intermedie tra le zone più interne e le bocche dei bacini

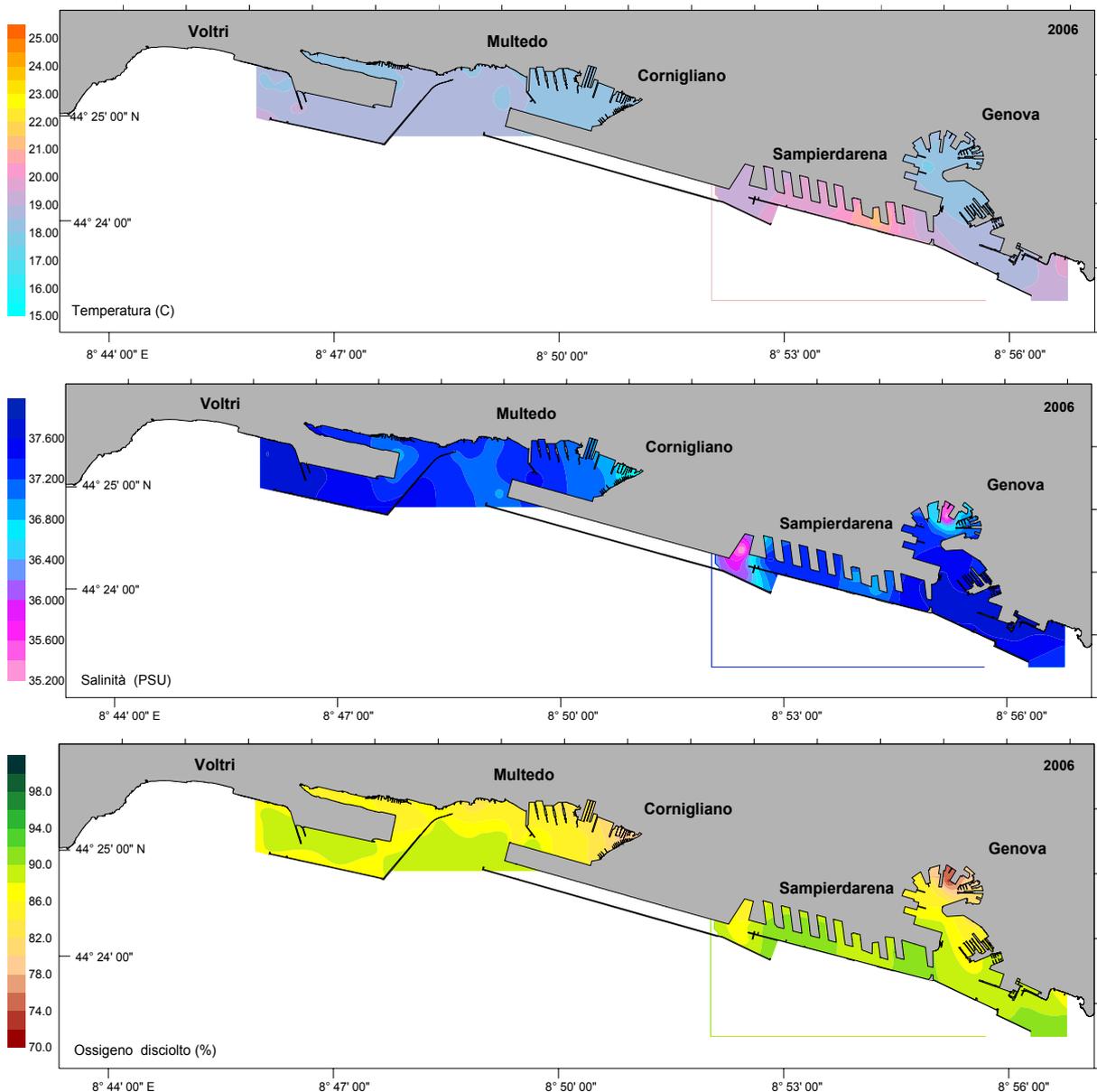
Tabella 4.3 Associazione tra ogni fattore e ogni cluster

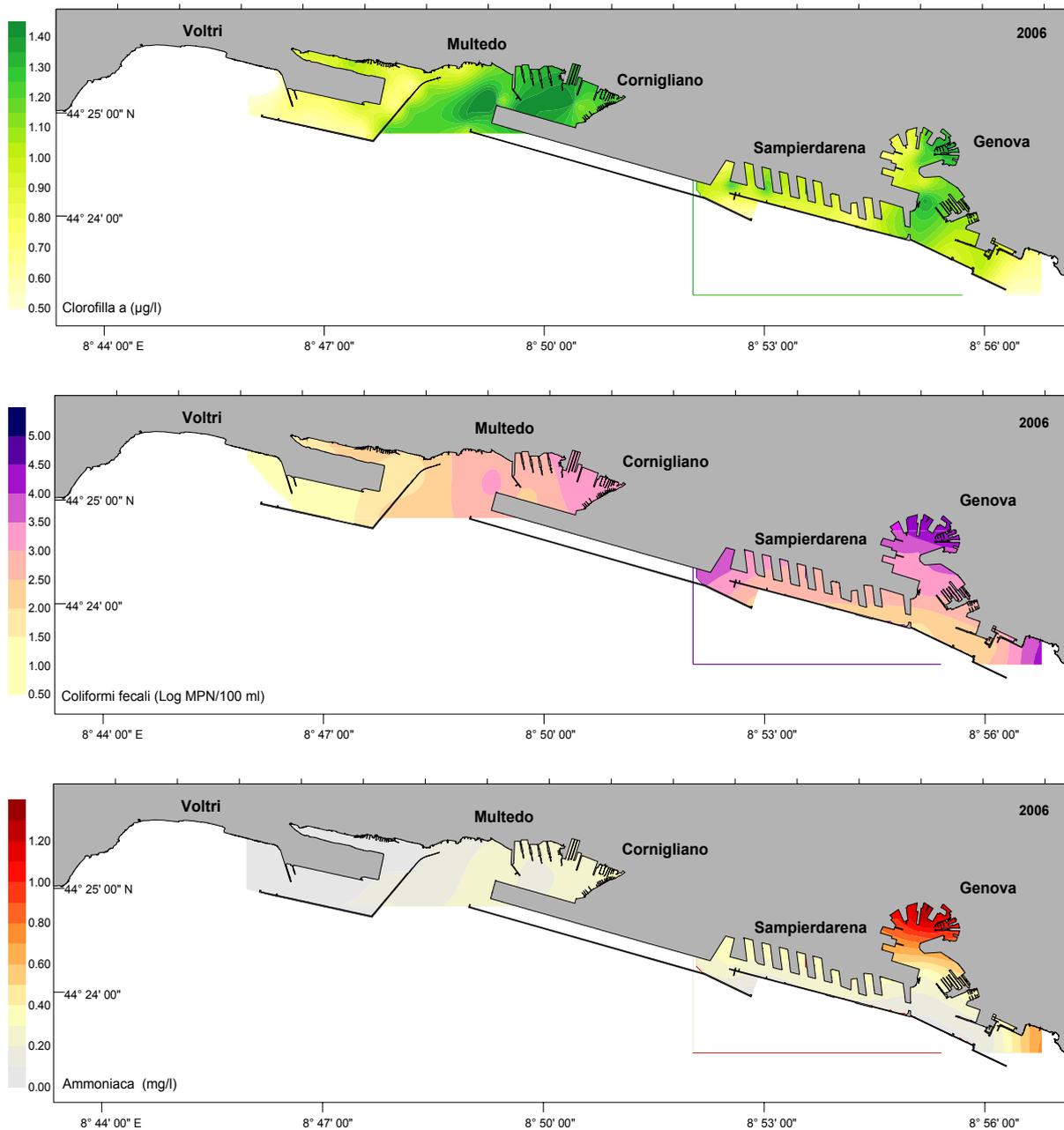
#### 4.2 La variabilità spaziale

Lo studio della variabilità spaziale dei parametri monitorati nel porto di Genova (salinità, temperatura, ossigeno disciolto, clorofilla-a, ammoniaca e coliformi fecali) è stato condotto utilizzando le distribuzioni dei dati, in maniera da evidenziare a livello qualitativo la presenza di gradienti di concentrazione. Le configurazioni spaziali tipiche così emerse sono quindi state interpretate in relazione ai processi che le originano ed utilizzate per proporre una classificazione dei siti di campionamento basata sulla loro collocazione nei

diversi bacini e rispetto ai principali apporti di acqua dolce. Questa classificazione è risultata coerente con i risultati ottenuti dall'analisi statistica multivariata, effettuata su tutti i dati provenienti dal monitoraggio del Porto di Genova, a partire dal 1998. I valori medi annuali dei parametri nei siti di campionamento sono stati interpolati mediante il programma grafico Surfer 8 (Goldensoftware), ottenendo delle mappe che evidenziano in maniera intuitiva i principali tratti della loro variabilità spaziale.

Le distribuzioni di queste variabili sono visualizzate nelle mappe in Fig. 4.10. Esse mostrano chiaramente che le distribuzioni spaziali dei parametri sono caratteristiche per ogni bacino considerato.





*Fig. 4.10 Distribuzioni spaziali (media annuale) di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla-a, coliformi fecali e ammoniaci*

La distribuzione della temperatura evidenzia, nella Darsena e a Multedo, un gradiente crescente verso le bocche portuali, ad indicare una minore temperatura degli scarichi provenienti da terra. 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 almeno 3 °C rispetto al resto del bacino.

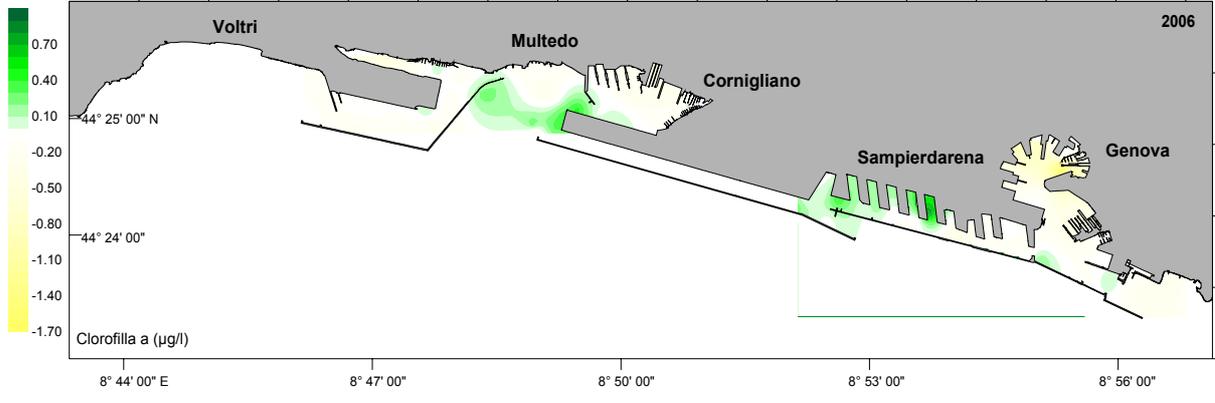
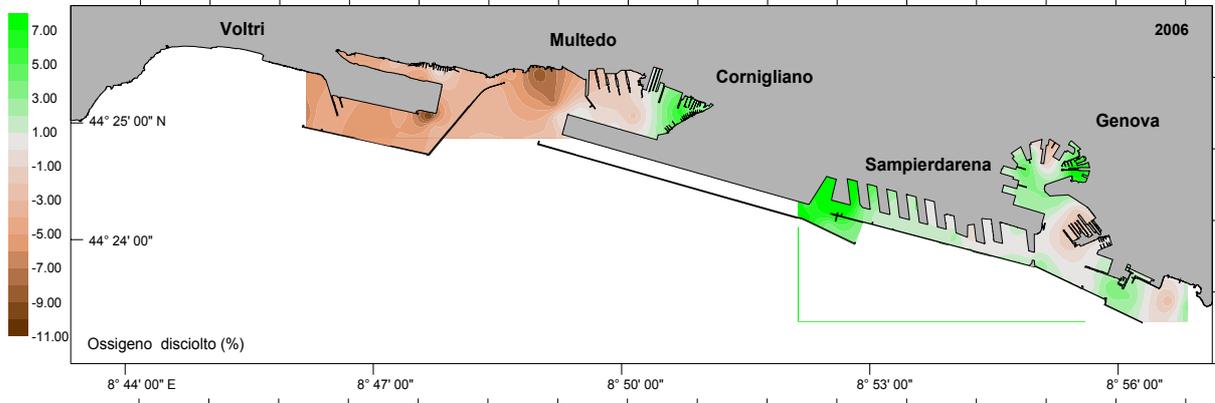
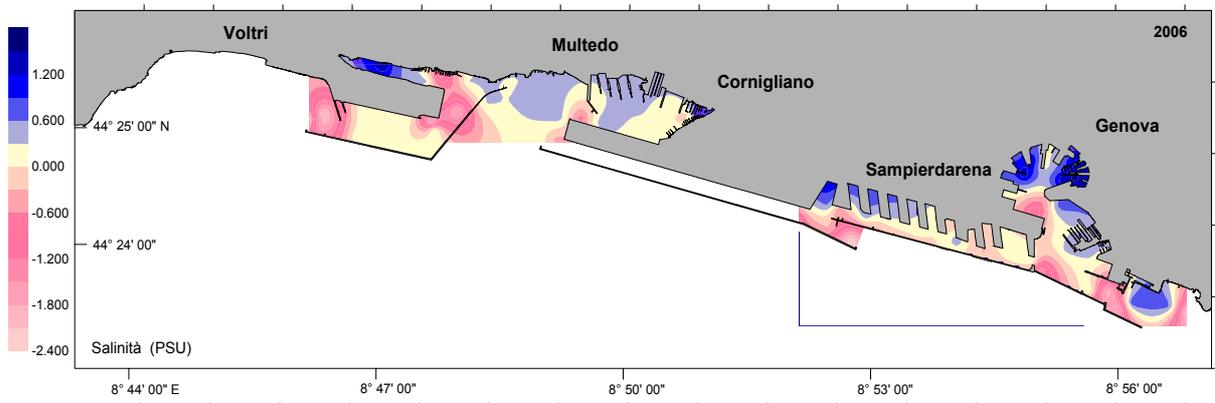
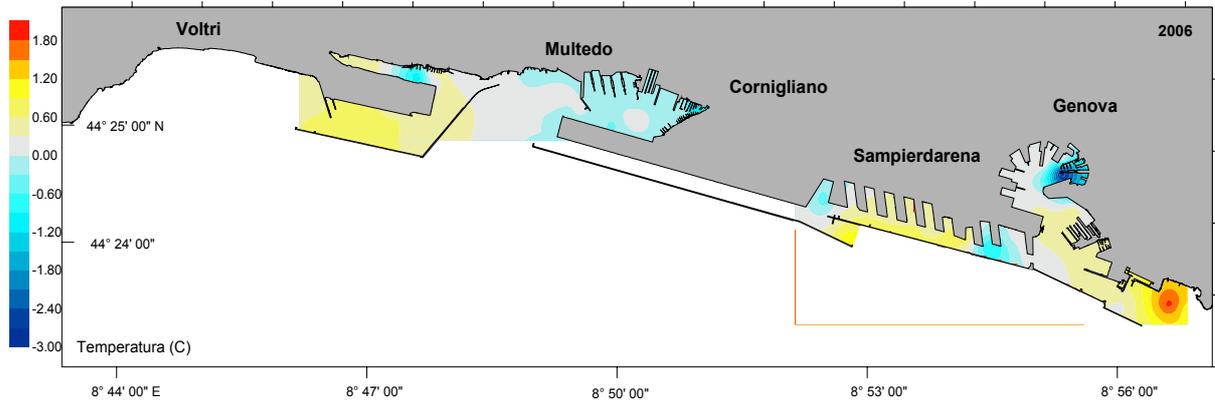
La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci e, infatti, i valori minimi si trovano in corrispondenza dello scarico del depuratore in Darsena e alla foce del Polcevera. Anche nella zona più interna del bacino di Multedo, dove sfocia il Chiaravagna, si registrano valori più bassi di salinità, anche se meno evidenti a causa della bassa portata del torrente. Il bacino di Voltri ha, in generale, una salinità più elevata ed uniforme, simile a quella del mare aperto e gli apporti di acqua dolce che giungono nelle zone più interne, come il canale di Prà, sembrano non avere un'influenza significativa su questo parametro.

La distribuzione di Clorofilla-a, che rappresenta una stima dell'effettivo sviluppo raggiunto dal fitoplancton, segue quella degli apporti da terra, ad indicare che l'ecosistema risponde alla maggior disponibilità di nutrienti sviluppando una comunità micro-algale più abbondante. I massimi di clorofilla-a sono infatti collocati all'interno del bacino di Multedo e nel Porto Antico, anche se non sempre esattamente in concomitanza con i massimi assoluti degli altri parametri. Questo fatto evidenzia che la concentrazione di nutrienti non è l'unico fattore che determina l'entità della fioritura planctonica, e che altri fattori, quali la temperatura, la trasparenza dell'acqua, la profondità e il tempo di residenza sono parametri importanti.

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 dei depuratori in Darsena e a Punta Vagno e, in maniera meno marcata, in prossimità della foce dei torrenti Chiaravagna e 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.

### **4.3 La variabilità interannuale**

L'analisi dei risultati del monitoraggio relativo all'anno 2006 rispetto agli anni precedenti, ha evidenziato la presenza di alcune differenze, come si può osservare dalle evoluzioni delle distribuzioni spaziali delle anomalie dei parametri, illustrate in Fig. 4.11.



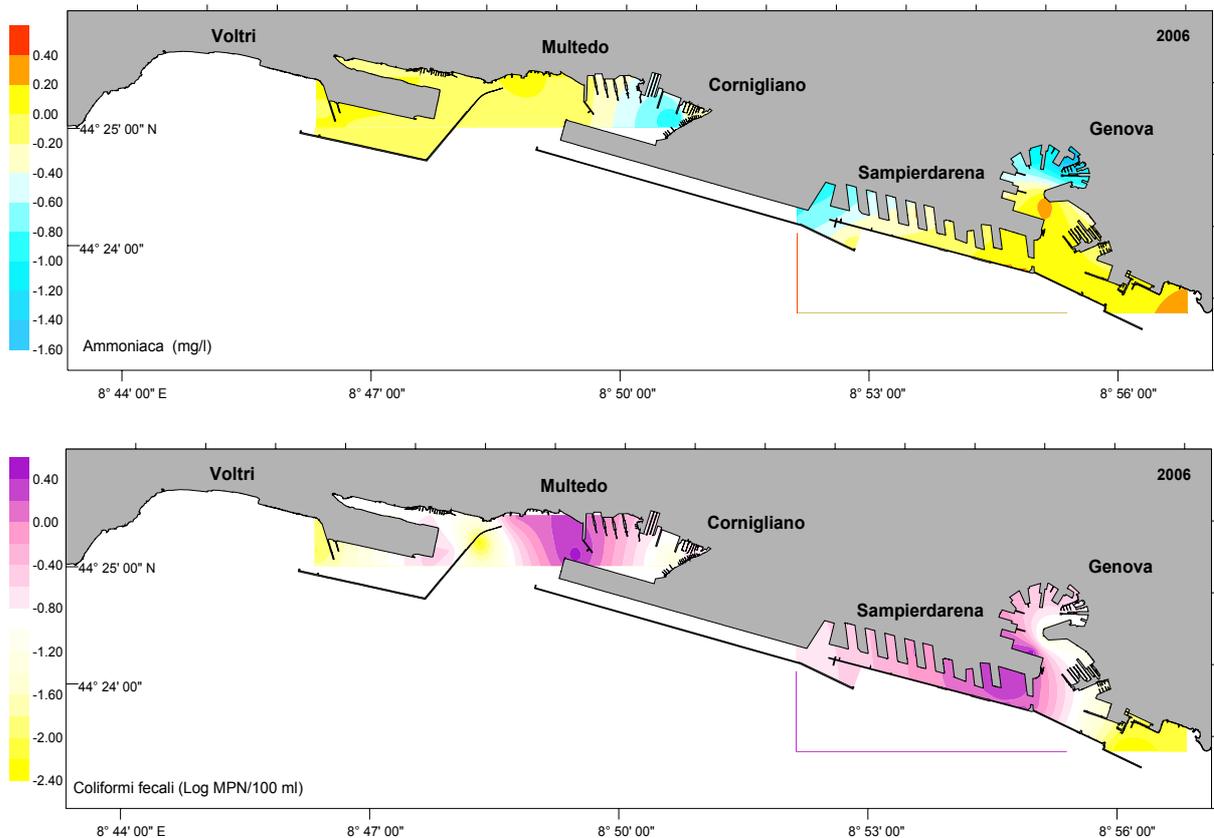


Fig. 4.11 Distribuzione spaziale delle anomalie dei parametri provenienti dal monitoraggio nel 2006

Il confronto tra le diverse evoluzioni annuali 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 alla direzione e intensità dei venti (Fig. 4.12).

Per quanto riguarda la temperatura atmosferica, l'anno 2006 è stato in generale caratterizzato da temperature più elevate rispetto alle medie climatiche, soprattutto nel periodo autunnale, ad eccezione dei mesi di gennaio, marzo ed agosto. L'anomalia media annuale della temperatura superficiale dell'acqua è comunque contenuta, in quanto i mesi più freddi sono stati compensati da quelli con anomalie positive.

L'anno 2006, rispetto alla media climatica, è stato caratterizzato da basse precipitazioni nella stagione invernale e primaverile; i mesi estivi (a partire da luglio), sono stati più piovosi rispetto alla media, in particolare ad agosto. Nel periodo autunnale, l'anomalia delle precipitazioni è tornata nuovamente negativa, in maniera molto evidente ad ottobre. L'anomalia media annuale della salinità superficiale è positiva nelle zone più confinate dei

bacini, in corrispondenza degli apporti di acqua dolce, che, rispetto agli anni precedenti sembrano essere diminuiti a causa delle minori precipitazioni, soprattutto nei periodi che solitamente sono caratterizzati da eventi intensi, come la primavera e il mese di ottobre.

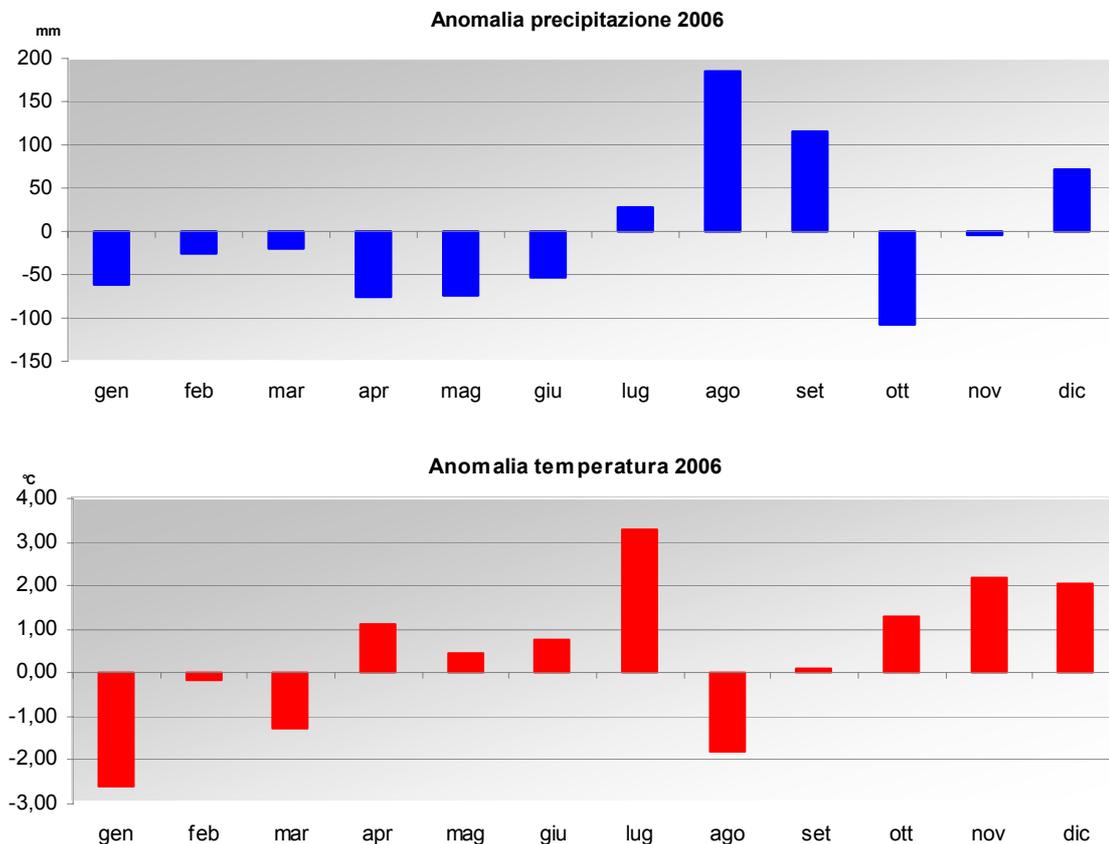


Fig. 4.12 Anomalie dei parametri meteorologici nel 2006

L'ossigeno disciolto, espresso come anomalia della percentuale di saturazione, è negativo nei bacini di Voltri e Miltedo, ad eccezione della zona della foce del Chiaravagna, mentre è generalmente positivo in Darsena, soprattutto in corrispondenza degli scarichi da terra. Anche in questo caso, l'anomalia positiva in corrispondenza delle acque dolci provenienti da terra, può essere dovuta alle basse precipitazioni e quindi al minore trasporto di sostanza organica nei bacini.

La clorofilla-a non presenta differenze significative con gli anni precedenti, ad eccezione del tratto di mare aperto tra Miltedo e Voltri, e la zona del Polcevera, dove si è riscontrata un'anomalia positiva.

L'ammoniaca presenta in generale anomalie negative in corrispondenza degli scarichi da terra, anche in questo caso legate alla diminuzione degli stessi a causa delle basse

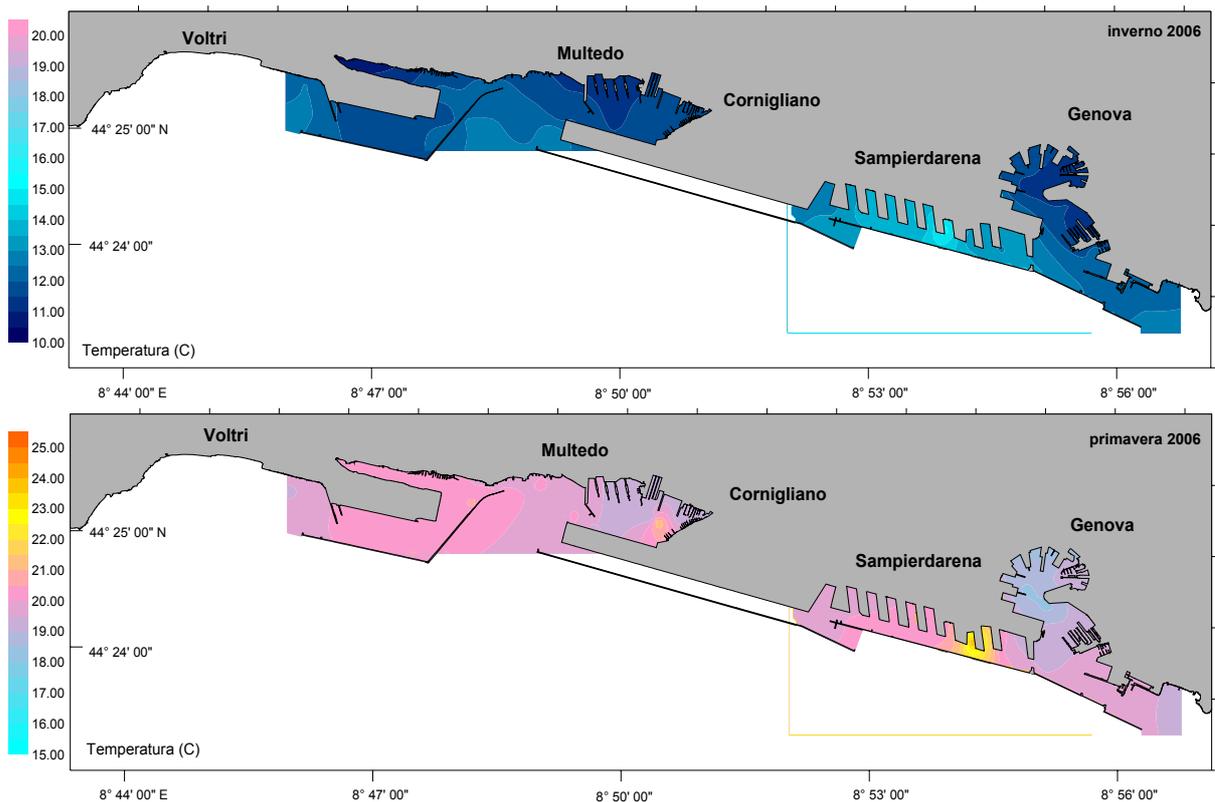
precipitazioni.

Infine, i coliformi fecali, risultano essere più elevati nella zona del depuratore di Pegli e nella zona di Sampierdarena.

#### 4.4 La variabilità stagionale

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 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 ed un massimo estivo fra luglio ed agosto, così come generalmente osservabile alle latitudini temperate, e segue l'evoluzione della temperatura atmosferica (Figg. 4.12, 4.13).



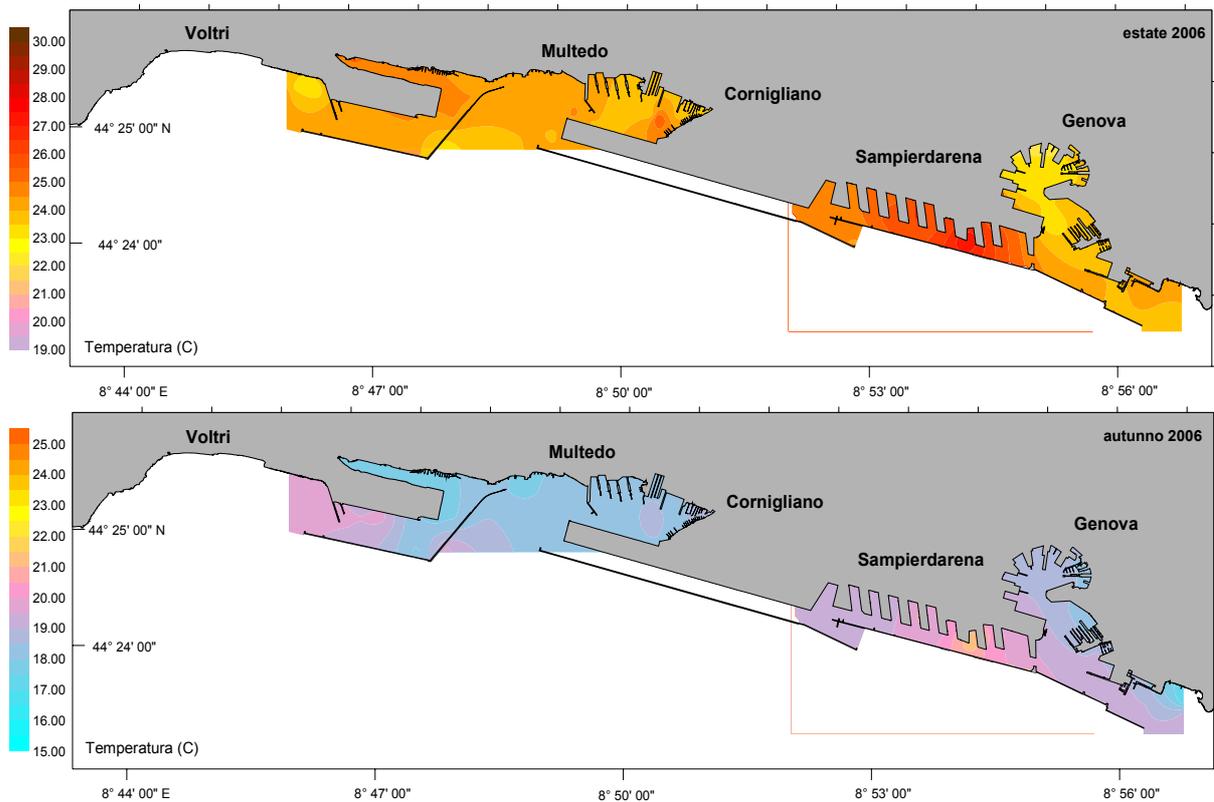


Fig. 4.12 Distribuzione spaziale dei valori medi stagionali della temperatura superficiale delle acque portuali

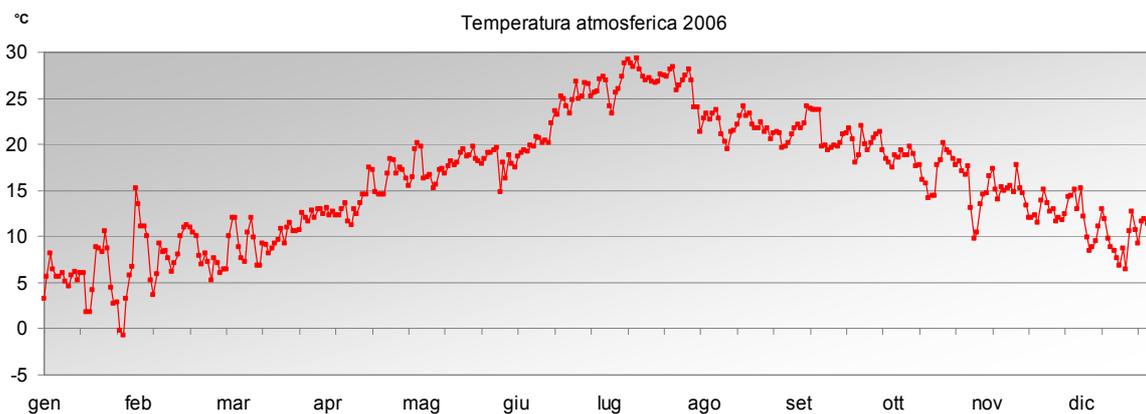


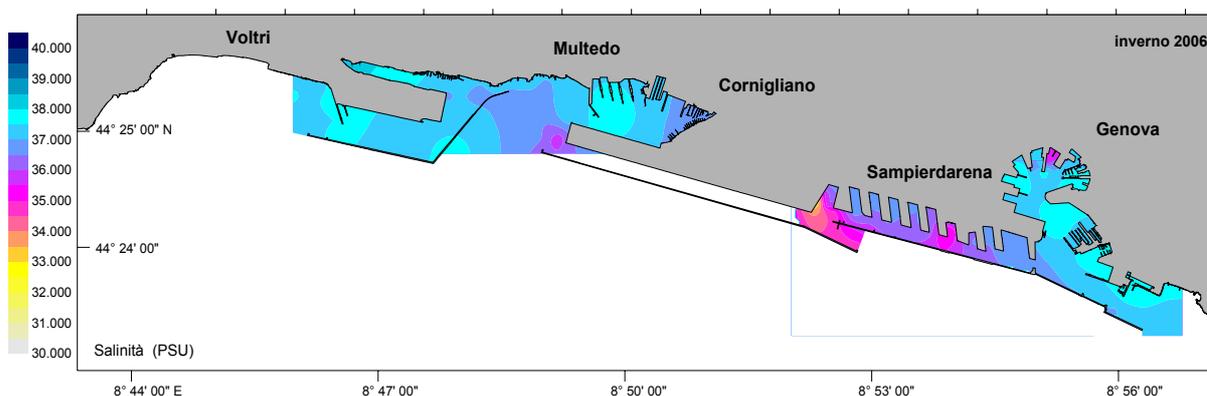
Fig. 4.13 Andamento della temperatura atmosferica nel 2006

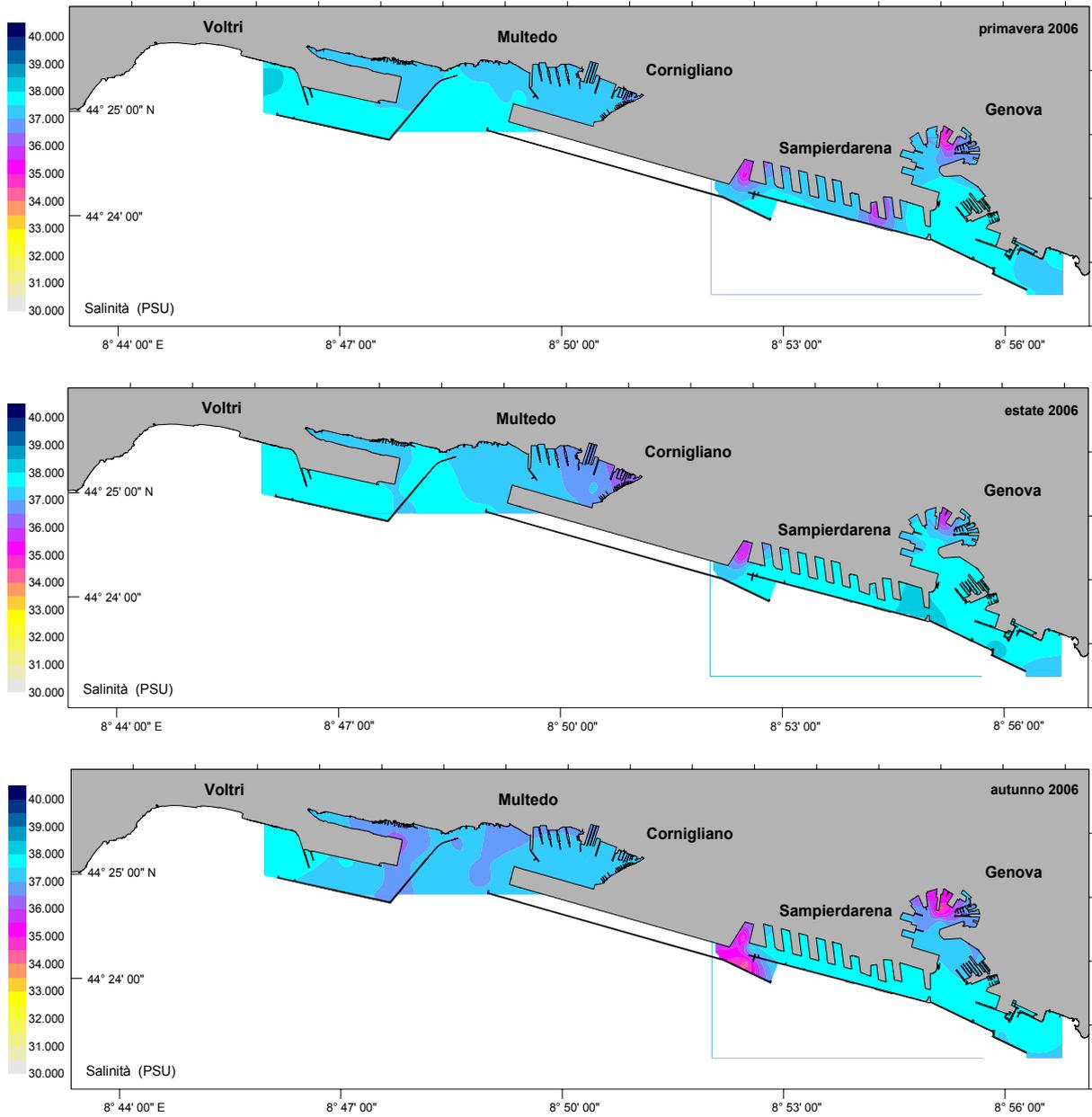
In tutte le stagioni le stazioni 24 e 25, poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel a Sampierdarena, si distinguono per la temperatura più elevata di circa 3 °C rispetto al resto del bacino.

La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci provenienti da terra; la distribuzione spaziale dei valori medi stagionali della salinità superficiale, infatti, evidenzia i principali scarichi che interessano l'area portuale (Fig. 4.14). L'evoluzione temporale di questo parametro è legata principalmente all'andamento delle precipitazioni (Fig. 4.15), 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 ad esondare, o comunque ad aumentare notevolmente la portata con evidenti diminuzioni della salinità in corrispondenza delle foci. L'anno 2006 è stato caratterizzato da un periodo piuttosto secco, che si è protratto dalla primavera fino a luglio, seguito da un periodo piovoso, iniziato ad agosto e proseguito nella stagione autunnale, che ha portato ad un abbassamento della salinità soprattutto nella zona di Multedo.

Lo scarico del depuratore in Darsena, pur risentendo del regime delle precipitazioni in quanto 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.





*Fig. 4.14 Distribuzione spaziale dei valori medi stagionali della salinità superficiale delle acque portuali*

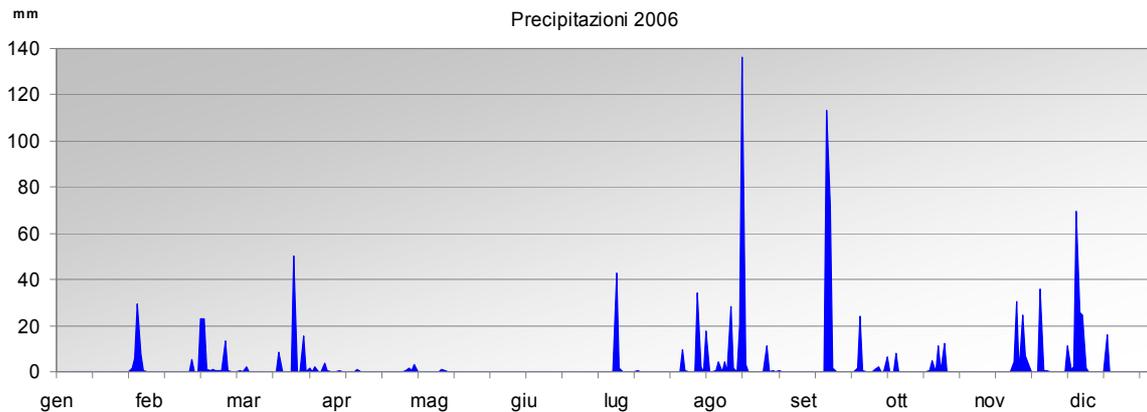
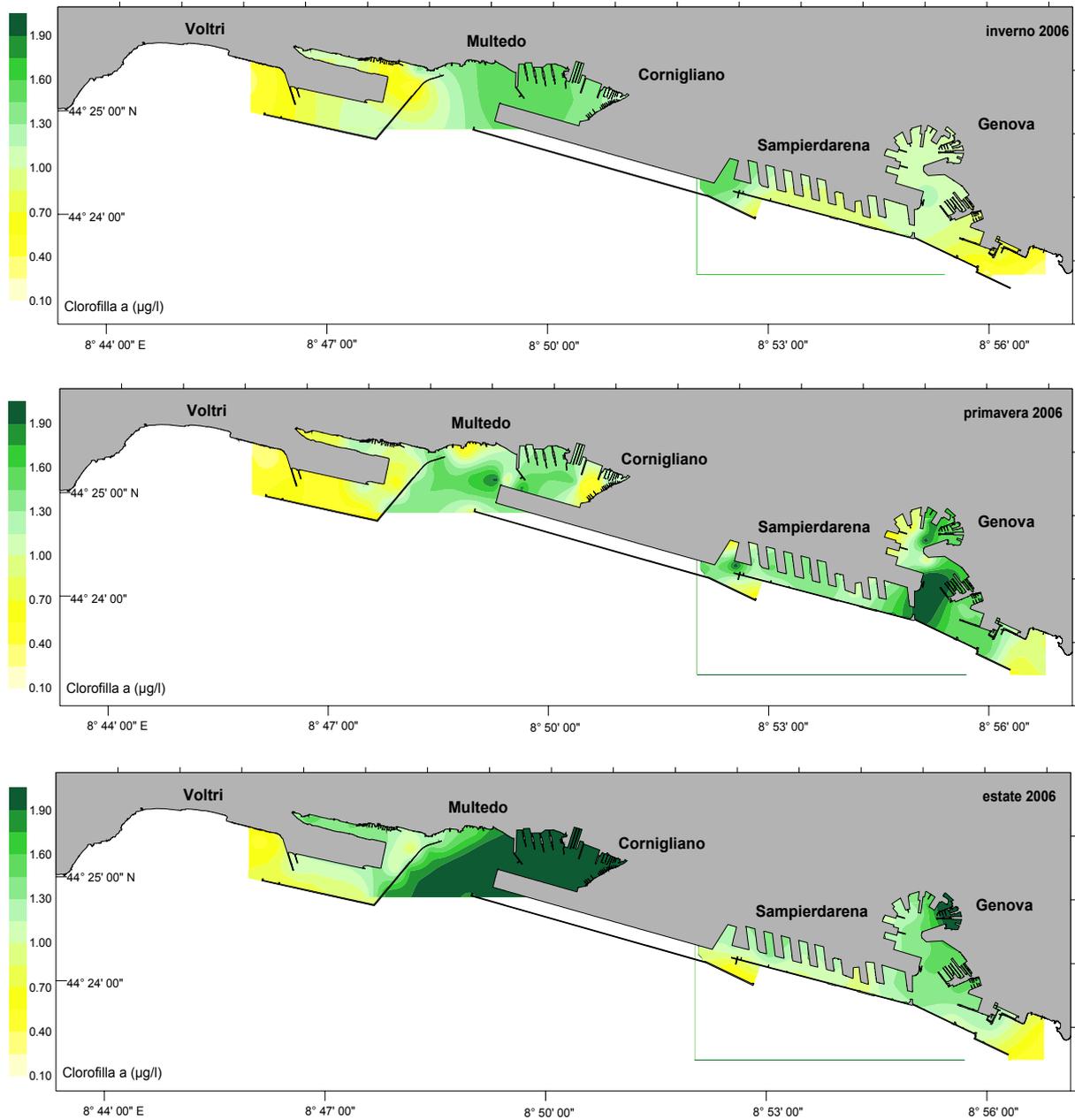


Fig. 4.15 Andamento delle precipitazioni nel 2006

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 di 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 mappe presentate in questa sintesi (Fig. 4.16) evidenziano che durante il periodo autunnale-invernale la concentrazione di fitoplancton è più bassa; successivamente, nel periodo primaverile, quando la temperatura dell'acqua diventa sufficientemente elevata e la radiazione luminosa sufficientemente intensa, si osservano le prime fioriture fitoplanctoniche. Queste possono essere stimulate e sostenute dagli apporti di nutrienti provenienti da terra e si prolungano nella stagione estiva, fino a raggiungere i valori massimi. 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 (Fig. 4.17).



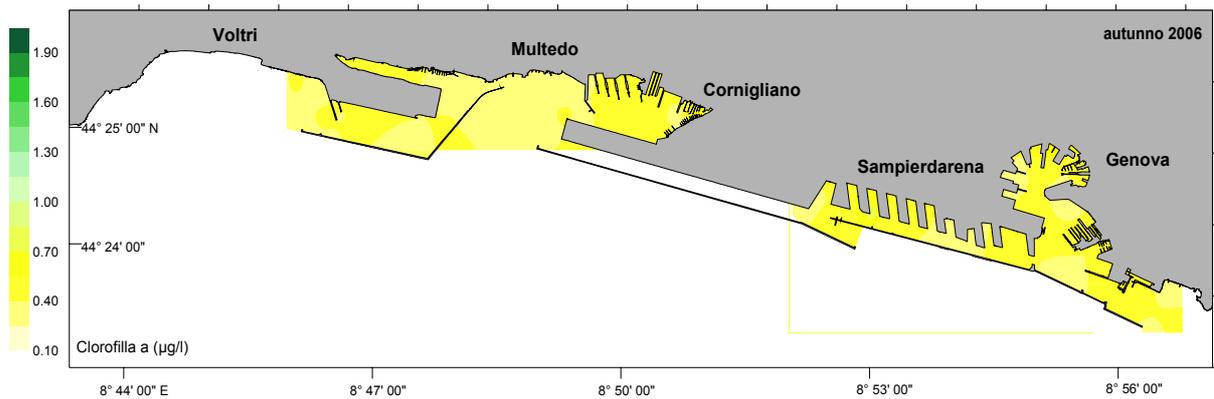


Fig. 4.16 Distribuzione spaziale dei valori medi stagionali della clorofilla-a nel 2006 e andamento della radiazione solare nel 2006

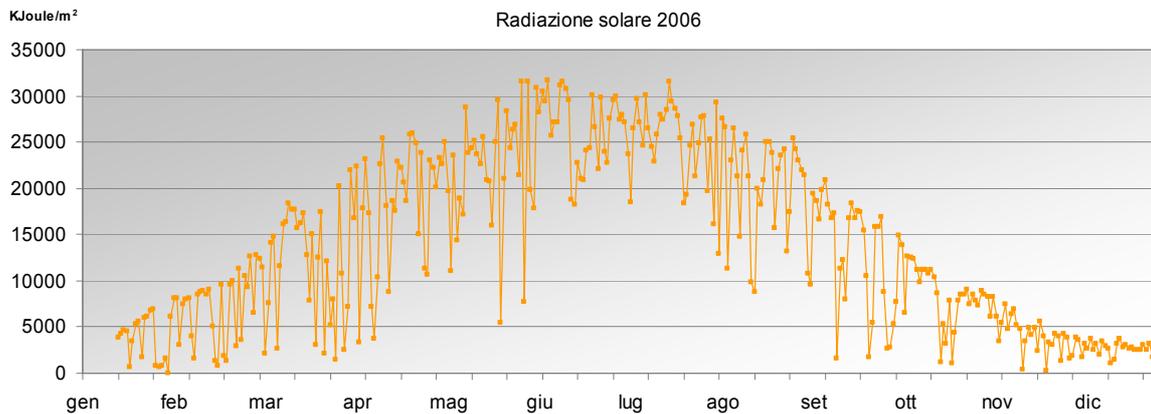
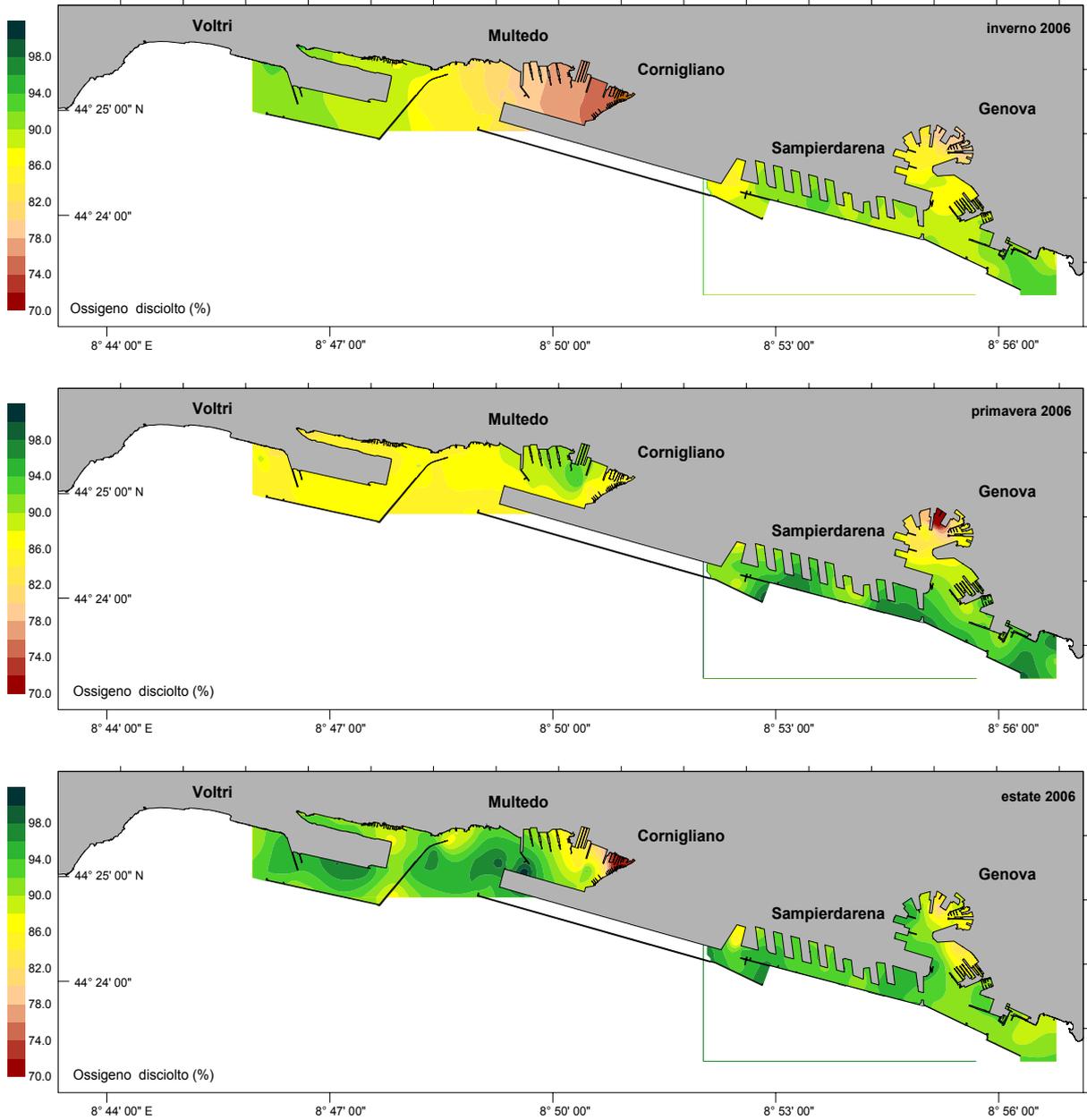


Fig. 4.17 Andamento della radiazione solare nel 2006

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. In Darsena, ad esempio, i massimi valori vengono raggiunti in primavera, mentre a Multedo la stessa concentrazione di clorofilla-a viene riscontrata nel periodo estivo e in un'area più ampia. Nel bacino di Voltri, nel quale gli apporti da terra sono trascurabili, la biomassa fitoplanctonica è sempre inferiore rispetto agli altri due bacini e distribuita più uniformemente nel tempo.

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 (Fig. 4.18).



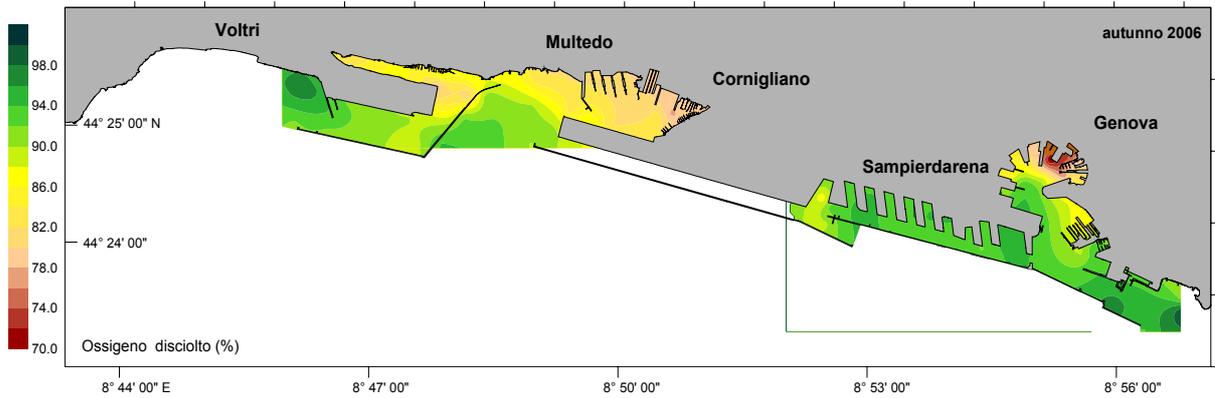
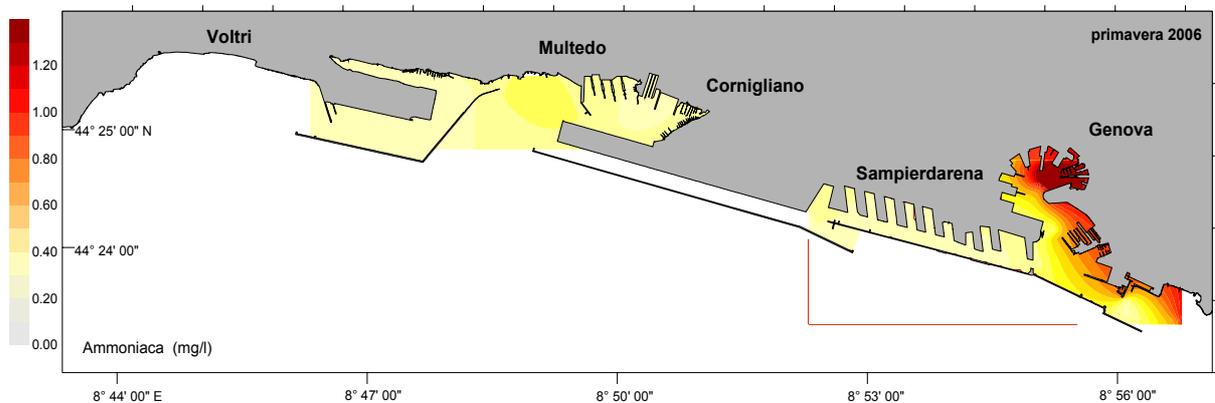
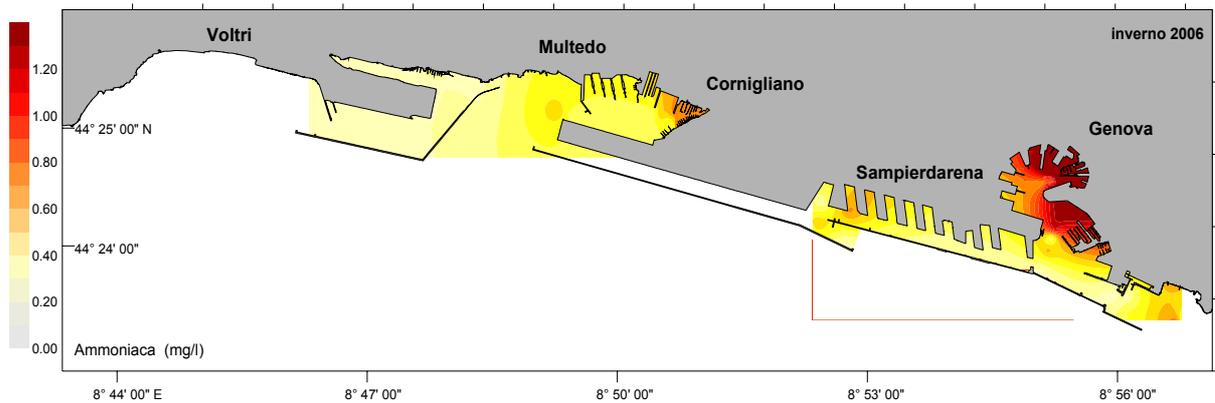


Fig. 4.18 Distribuzione spaziale dei valori medi stagionali dell'ossigeno disciolto nel 2006

Altri parametri, invece, non hanno mostrato un particolare andamento stagionale. Ad esempio, la dinamica dell'ammoniaca e dei coliformi fecali, è regolata prevalentemente dai processi di trasporto dei carichi provenienti dagli scarichi immessi nei bacini (Figg. 4.19 e 4.20).



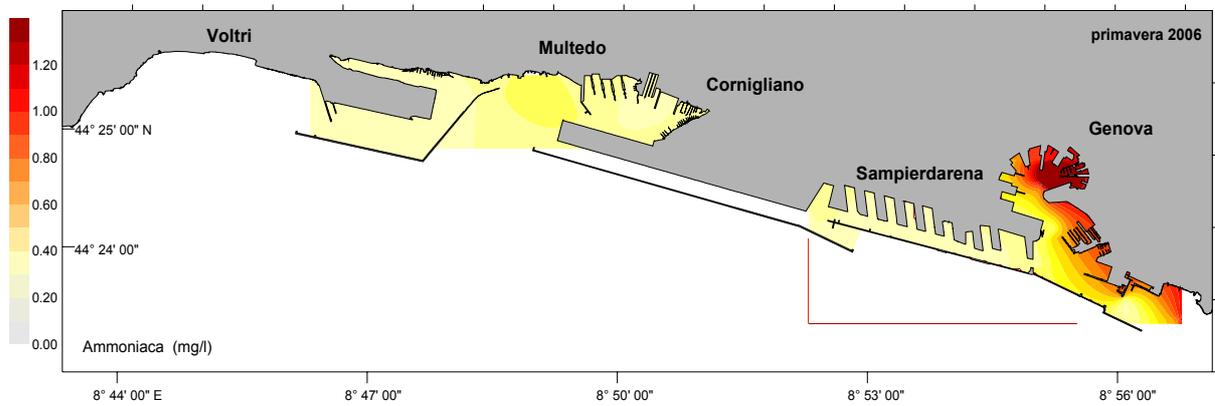
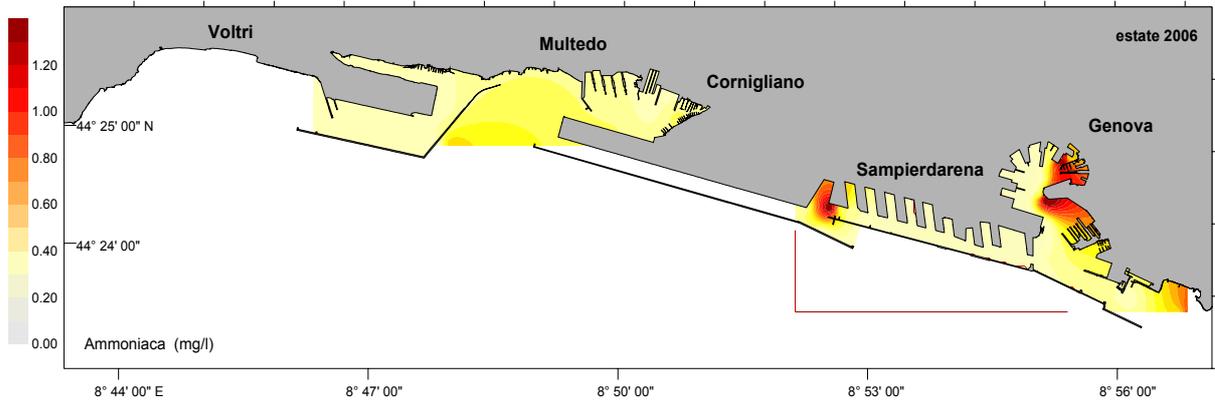
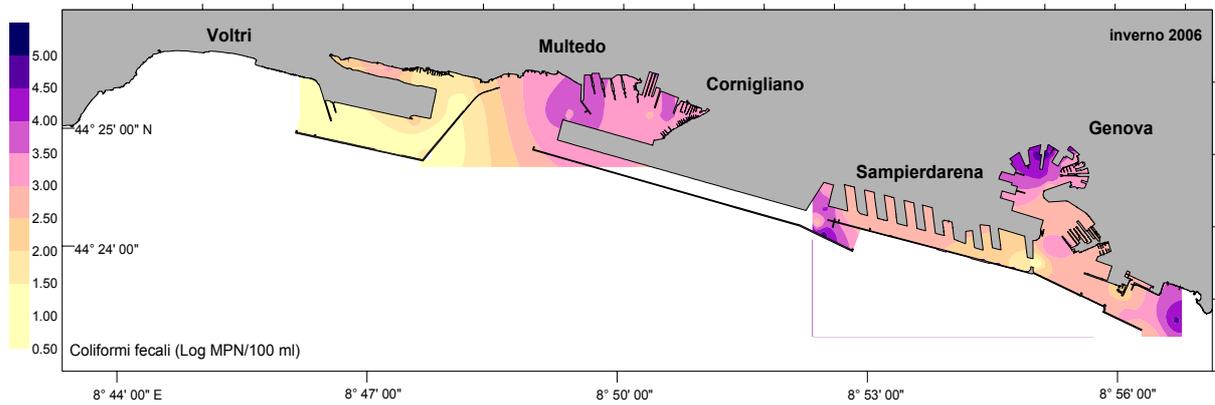


Fig. 4.19 Distribuzione spaziale dei valori medi stagionali di ammoniaca nel 2006



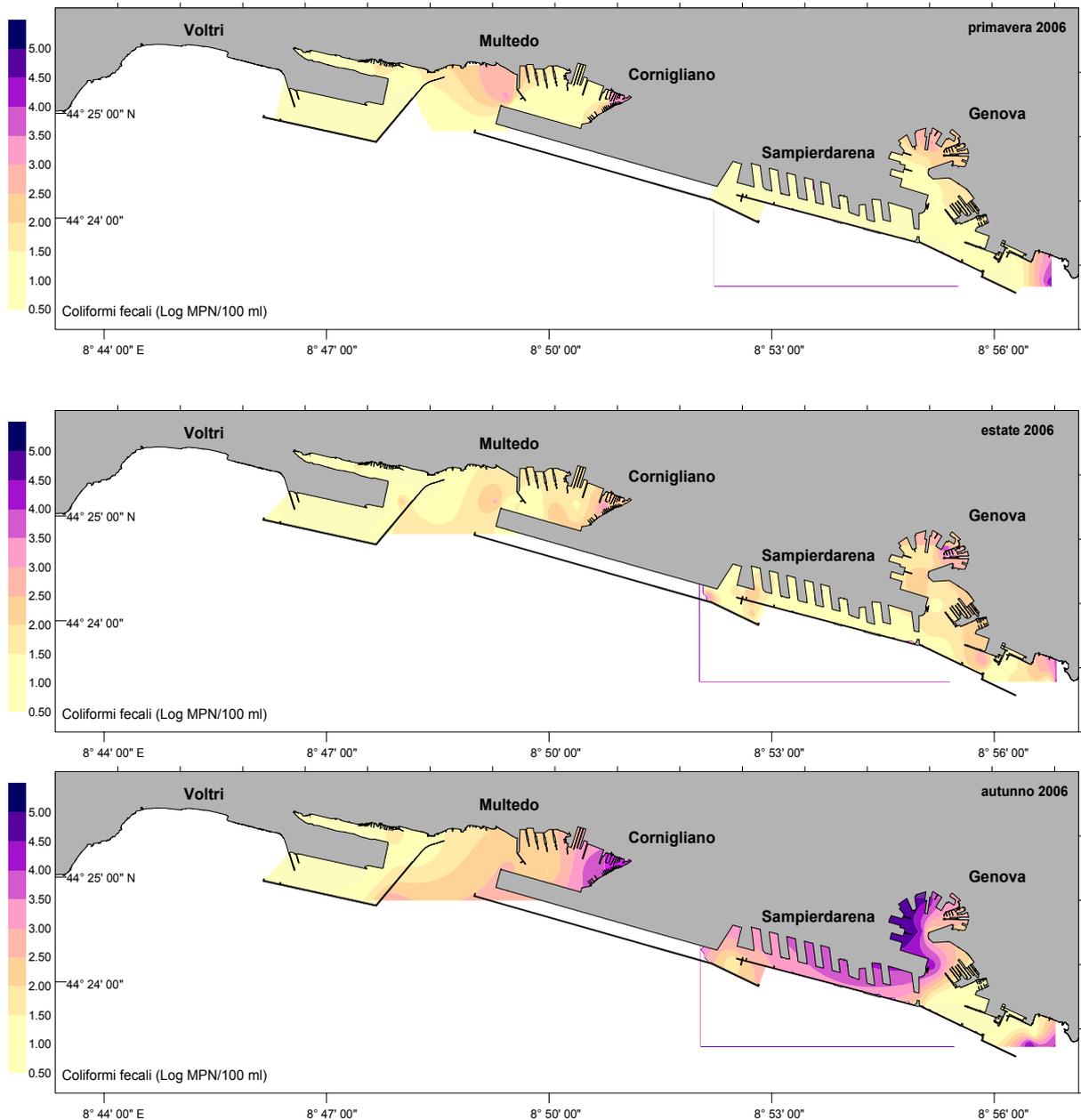
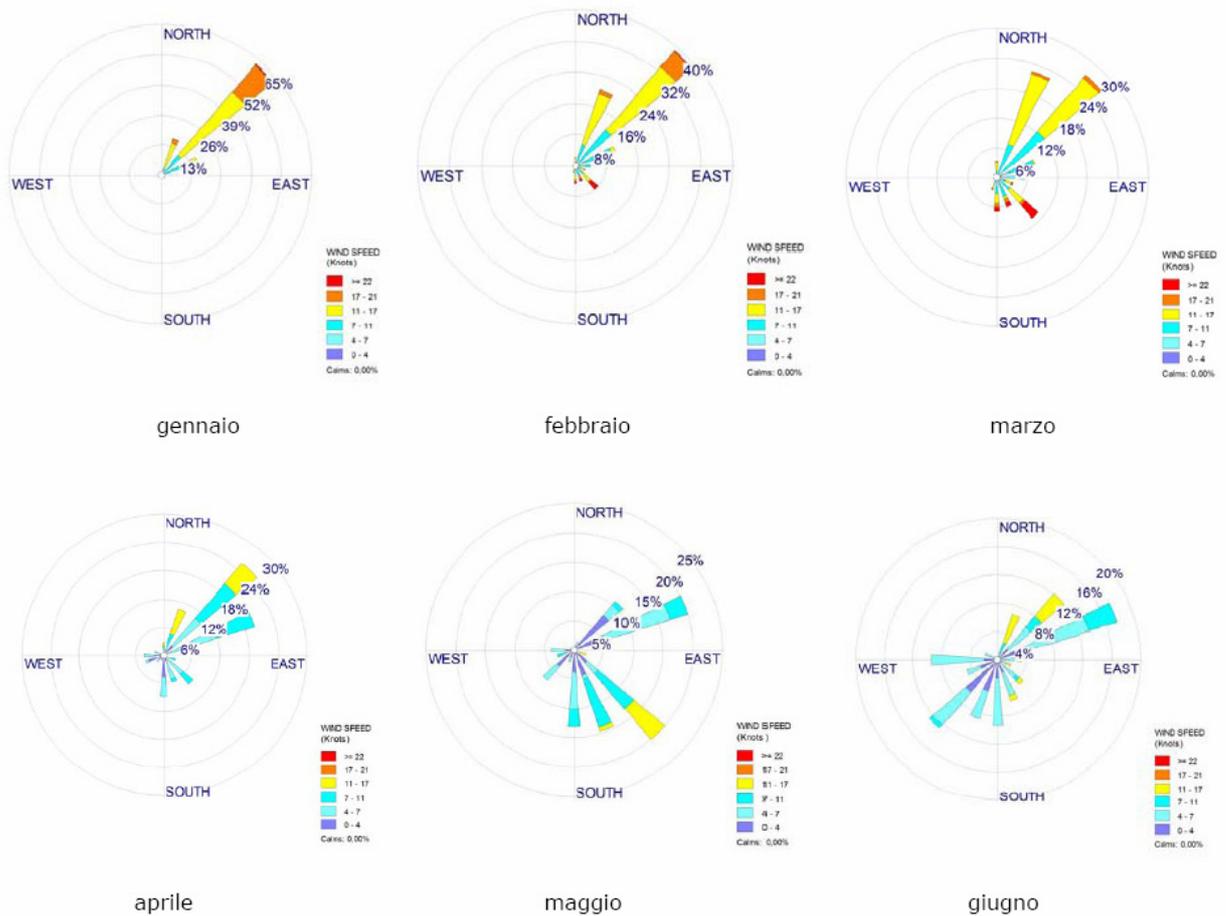


Fig. 4.20 Distribuzione spaziale dei valori medi stagionali di coliformi fecali nel 2006

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 più o meno 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 (Fig. 4.21). 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.



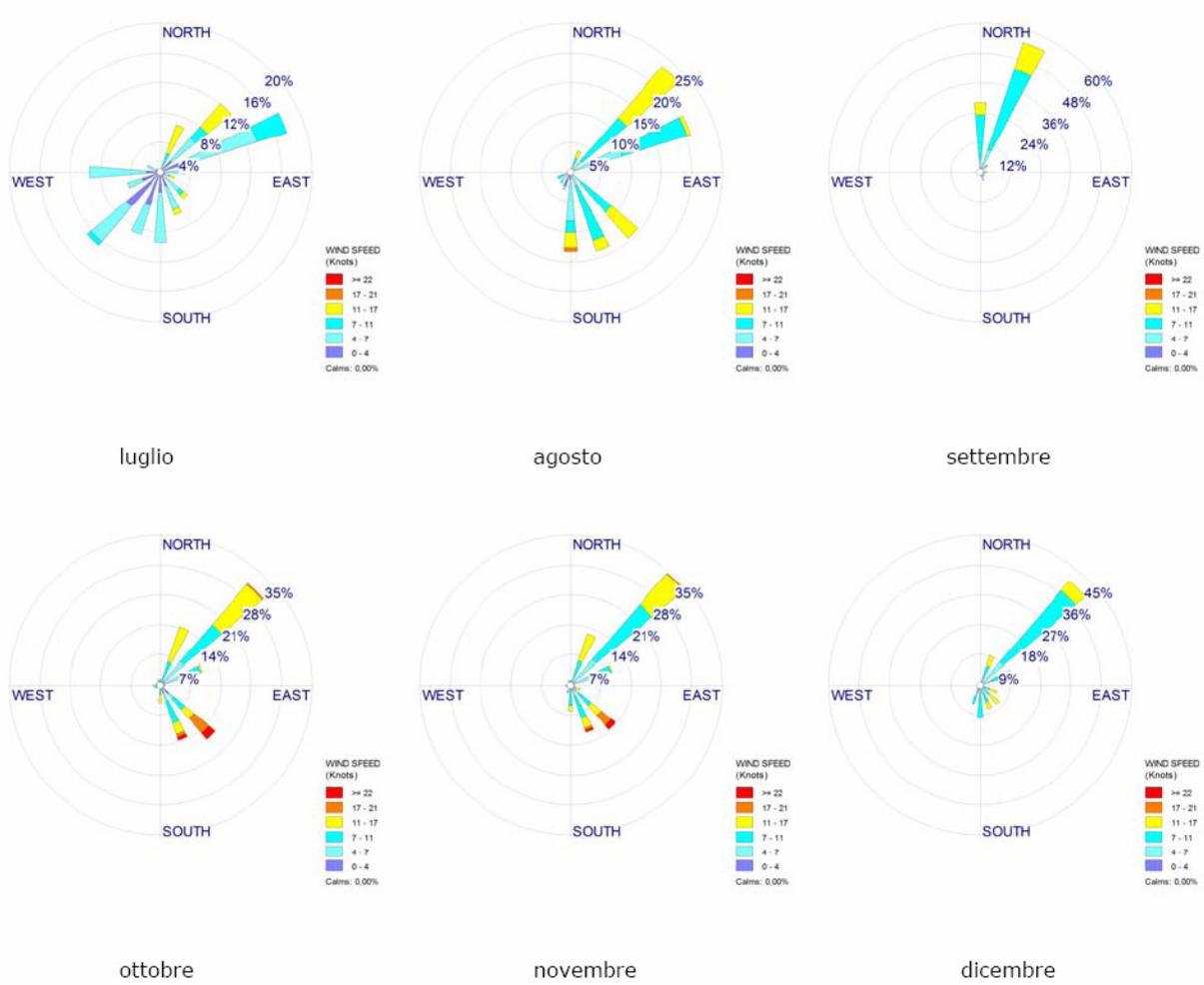


Fig. 4.21 Direzione prevalente e intensità dei venti nell'anno 2006

## 5 CONSIDERAZIONI FINALI

Il monitoraggio del Porto di Genova ha permesso di ottenere un set di dati utili ad evidenziare l'evoluzione delle principali caratteristiche fisiche e di alcune caratteristiche chimico-biologiche delle acque portuali.

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.

E' però importante sottolineare che le distribuzioni spaziali dei valori medi di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, ammoniaca, clorofilla-a e coliformi fecali annuali provenienti dal monitoraggio del 2006 risultano qualitativamente simili a quelle degli anni precedenti, nonostante le differenze quantitative inter-annuali. I tratti comuni sono quindi da considerarsi di tipo strutturale.

L'analisi statistica multivariata 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 considerati, e che tale classificazione è interpretabile in chiave geografica, in funzione della vicinanza delle principali sorgenti puntuali, quali le foci dei torrenti, i depuratori e la zona industriale, e della vicinanza con le bocche di porto.

I siti che presentano le maggiori criticità ambientali, rilevate da questo tipo di monitoraggio, sono:

- Punta Vagno: area a possibile rischio ambientale di origine biologica, in quanto in zona è presente un impianto di depurazione degli scarichi civili cittadini;
- foce del torrente Bisagno: soggetta a rischio sia biologico, sia industriale per la presenza lungo l'asta torrentizia di numerosi insediamenti artigianali ed industriali;
- Darsena: essendo caratterizzata da uno scarso ricambio idrico e dalla presenza di numerosi scarichi civili, potrebbe essere oggetto di un aumento dei fenomeni di eutrofizzazione, anossia e distrofia;
- foce torrente Polcevera: la foce di questo torrente 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; questo corso

d'acqua, nonostante i piani di risanamento ambientale in atto, presenta ancora alcune criticità, legate al percolato della discarica urbana di Scarpino. Inoltre 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.

Il monitoraggio delle aree portuali è ancora in via di definizione e presenta alcune difficoltà per stabilire criteri di ammissibilità dei valori delle grandezze d'impatto sull'ambiente; ciò rende necessario lo sviluppo di una ricerca finalizzata alla determinazione di una metodologia in grado di risolvere tali indeterminazioni, in linea con la normativa nazionale e comunitaria vigente in materia (D.lgs. 152/99 e s.m.i. direttiva 2000/60/CE).

Di fronte alla complessità del problema non sempre le soluzioni adottate dalle varie autorità delegate alla tutela dell'ambiente si sono rivelate di effettiva utilità. Molto spesso, infatti, si è fatto ricorso a provvedimenti estemporanei non inseriti in un quadro programmatico globale, non suffragati dalla necessaria conoscenza ambientale e quindi non in grado di risolvere situazioni di degrado ormai consolidate. Sarebbe invece necessario pianificare gli interventi e adottare un approccio sistematico, basato su competenze interdisciplinari, poiché solo attraverso una visione articolata e completa è possibile migliorare la conoscenza e sviluppare quel processo decisionale che individua indirizzi programmatici validi e soluzioni progettuali adeguate.

Obiettivo primario del monitoraggio deve essere quello di consentire il controllo di tutti i processi rilevanti in atto nei bacini portuali, fino alla loro completa comprensione, includendo le possibili fluttuazioni naturali (caratteristiche idrodinamiche e meteorologiche) o collegate alle attività portuali, o ancora alla presenza di apporti fluviali, scarichi, etc. La scala di osservazione e monitoraggio deve prevedere l'acquisizione sia di informazioni a breve termine, che consentano l'applicazione di interventi tempestivi di tutela ambientale, sia a medio-lungo termine, per la valutazione dei possibili effetti indotti nel tempo.

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 che 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 vengano

riscontrati disturbi all'ambiente, siano utilizzati tutti gli accorgimenti necessari a minimizzarli.

Pur raggiungendo gran parte degli obiettivi primari attesi da questo tipo di attività, un'analisi critica del monitoraggio in atto ne ha evidenziato alcune limitazioni, riconducibili essenzialmente a:

- il tipo di parametri analizzati, che non consente una completa caratterizzazione ambientale dell'area;
- la quota di misura dei parametri, limitata allo strato sub-superficiale;
- la necessità di potenziamento della raccolta di informazioni sul comparto sedimentario;
- la frequenza spaziale e temporale dei campionamenti.

Alcuni studi effettuati nel Porto di Genova, infatti, hanno dimostrato come in diversi periodi stagionali e in determinate aree portuali si riscontra una stratificazione della massa d'acqua, che porta ad una differenziazione delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque di superficie e di fondo non rilevabile dal tipo di monitoraggio fino ad 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 e alla periodica necessità di effettuare dei dragaggi ai fini del mantenimento delle profondità navigabili di darsene o di canali portuali. I sedimenti, infatti, possono svolgere un ruolo di trasporto diretto dei contaminanti, soprattutto se movimentati, e possono inoltre fungere da ricettacolo transitorio e definitivo degli stessi.

Già diversi studi hanno evidenziato l'arricchimento di sostanza organica nei sedimenti della zona del Porto Antico (Fabiano *et al.*, 2003, Gallizia *et al.*, 2005). I sedimenti ad alto contenuto di sostanza organica sono solitamente associati dagli indici di qualità ambientale ad ambienti di "bassa qualità" (Weisberg *et al.*, 1997; UNESCO AA.VV. 2000). I processi di degradazione della sostanza organica instaurano al fondo condizioni riducenti in grado di consumare ossigeno anche nella colonna d'acqua; inoltre rilasciano elevate quantità di nutrienti (soprattutto ammoniaca e fosfati), a seconda delle condizioni chimico-fisiche e delle attività batteriche ad esse associate. Ne consegue che le reazioni chimiche e biologiche che avvengono all'interfaccia acqua-sedimento giocano un ruolo

molto importante nel determinare i flussi di ossigeno e nutrienti tra i due comparti.

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.

La Servizi Ecologici Porto di Genova già da maggio 2005 effettua il monitoraggio ambientale del Porto attraverso un sistema georeferenziato di acquisizione e trasmissione dati in continuo, che prevede l'utilizzo di sonde multiparametriche montate su mezzi di proprietà della società stessa, che forniscono dati relativi a temperatura, salinità e ossigeno disciolto.

Un ulteriore miglioramento del monitoraggio si potrebbe ottenere utilizzando una o più boe oceanografiche o profilatori automatici, da posizionare in aree particolari del Porto, ad esempio quelle identificate dall'analisi statistica dei dati di monitoraggio come "aree critiche", che forniscano in continuo dati ambientali utili a monitorare situazioni particolarmente problematiche per l'area portuale.

Anche le bocche di accesso al porto, unico collegamento tra il bacino portuale ed il mare, potrebbero costituire un sito interessante dove posizionare, ad esempio, dei profilatori di corrente di tipo acustico (del tipo ADCP), che consentono la lettura di direzione e velocità di corrente in modo continuo ed istantaneo lungo tutta la colonna d'acqua. I correntometri profilatori acustici possono inoltre essere utilizzati per la lettura del quantitativo di materiale sospeso trasportato dalla corrente.

Infine, l'andamento delle correnti all'interno del porto costituisce uno degli elementi del sistema da tenere sotto controllo, per evidenziare le caratteristiche idrodinamiche generali delle masse d'acqua e per chiarire le modalità di scambio tra i singoli comparti fisici, delimitati dalle strutture che caratterizzano il Porto di Genova.

## BIBLIOGRAFIA

AAVV.(1998) IL mare di Genova. A.M.G.A. s.p.a.-Autorità Portuale di Genova-RSTA SCRL.

APAT Servizio Mareografico. <http://www.idromare.com/>

Atkinson, M.J. and Smith, S.V. 1983. C:N:P: ratios of benthic marine plants Limnology and Oceanography 28:568 574.

Autorità portuale di Genova. <http://www.porto.genova.it>

DIAM-1998-2006 Meteorologic data. In: <http://www.diam.unige.it/~meteo/cambiaso>

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

FABIANO M., MARRALE D., MISIC C., (2003). Bacteria and organic matter dynamics during a bioremediation treatment of organic-rich harbour sediments. Marine Pollution Bulletin 46(9): 1164-1173.

GALLIZIA I, VEZZULLI L AND FABIANO M., (2005). Evaluation of different bioremediation protocols to enhance decomposition of organic polymers in harbour sediments. Biodegradation, 16(6), 569-579.

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 COSTITUENTOI INORGANICI NON METALLICI <http://www.irsa.cnr.it/Metodi/>

Mediterranea delle acque: Il sistema dei depuratori urbani - <http://www.mediterraneadelleacque.it/depurazione.htm>

POVERO P., RUGGIERI N., MISIC C., CASTELLANO M., RIVARO P., CONIO O., DERQUI E., MAGGI S., FABIANO M., (2005). Port of Genoa. LOICZ Report & Studies No. 28, 1-157 pages, LOICZ, Texel, the Netherlands.

Regione Liguria. <http://www.regione.liguria.it>

RUGGIERI N., CASTELLANO M., TARUFFI M., FABIANO M, MISIC C., MAGGI S., POVERO P., (2005). Water and Nutrients Budget in a Semi-enclosed area of the coastal Ligurian Sea: the Port of Genoa. LOICZ II Inaugural Open Science Meeting, Egmond aan Zee, Netherlands, 27-29 June.

UNESCO A.A.V.V. (2000). Ad hoc Benthic Indicator Group – Results of Initial Planning Meeting. Paris, France 6-9 December 1999. Intergovernmental Oceanographic Commission (I.O.C.), Technical Series No. 57. UNESCO 2000.

WEISBERG, S.B., RANASINGHE, J.A., DAUER, D.M., SCHAFFNER, L.C., DIAZ, R.J., FRITHSEN, J.B., (1997). An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. Estuaries, 20:149-158.

# **APPENDICE 1**

