AUTORITA' PORTUALE DI GENOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA
DIP.TE.RIS.

"Studio delle caratteristiche fisiche e correntometriche e della dinamica dei sedimenti sospesi nelle acque alle imboccature del Porto di Genova"

RELAZIONE "PREBIANCO"

Responsabile Scientifico DIP.TE.RIS.
(Prof. Sergio Tucci)

INDICE

INTRODUZIONE 3

1 OBIETTIVI 4

2 MATERIALI E METODI 6

3 ATTIVITA' IN MARE 14

3.1 - Attività svolta il giorno 14 febbraio 14

3.2 - Attività svolta il giorno 20 febbraio 16

3.3 - Attività svolta il giorno 27 febbraio 16

3.4 - Attività svolta il giorno 05 marzo 18

3.5 - Attività svolta il giorno 21 marzo 17

4 RISULTATI 20

4.1 - Caratteristiche fisiche e dinamiche della massa d'acqua 20

4.2 - Caratteristiche dinamiche delle correnti 31

4.3 - Caratteristiche naturali del particellato 36

4.4 - Caratterizzazione verticale delle masse d'acqua 41

27.01.2008 - Vento da SE in rotazione da SW 41

05.03.2008 - Vento da NE in rotazione da N 42

21.03.2008 - Vento da SE 42

4.5 - Caratteristiche, persistenza ed estensione della torbida sollevata da un traghetto in manovra 43

5 CONSIDERAZIONI 51

6 CONCLUSIONI 55

BIBLIOGRAFIA 57

Allegato 1A, 1B, 1C, 1D e 1E - Misure CTD e Torbidimetro

Allegato 2A, 2B e 2C - Misure di corrente rilevate con ADCP

Allegati 3A, 3B e 3C - Profili dimensionali

Allegato 4A, 4B e 4C - Tabelle del numero di particelle per litro

Allegato 5A, 5B e 5C - Misure di corrente rilevate con ADCP visualizzate in Google Earth

Allegato 6A, 6B e 6C - Misure di torbidità rilevate con ADCP ed elaborate con SediView

Allegato 7A, 7B e 7C - Elaborazione dei dati nel caso Grimaldi

INTRODUZIONE

L'Autorità Portuale di Genova, per la realizzazione del progetto di studio riguardante l'impatto ambientale connesso al dragaggio di sedimento di fondo all'interno del Porto di Genova, ha stipulato una Convenzione di ricerca con il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università degli Studi di Genova, che prevede la definizione delle concentrazioni e delle caratteristiche del materiale particellato sospeso nei siti individuati per il dragaggio e la valutazione delle possibilità di diffusione del materiale sospeso durante le attività di dragaggio.

Durante le operazioni di dragaggio del sedimento di fondo si crea inevitabilmente una *plume* di torbida che è necessario monitorare per impedirne la diffusione nell'ambiente circostante al fine di evitare effetti negativi su sull'ambiente stesso. Per poter individuare e caratterizzare la plume in estensione e concentrazione, proprietà fisiche e tempi di residenza del sedimento nell'acqua e altre eventuali anomalie derivanti dalle attività di dragaggio, occorre prima una caratterizzazione dell'area portuale in condizioni "normali".

In questa fase del progetto detta "Fase di Prebianco", si sono svolte indagini in presenza di condizioni meteo-marine differenti, con lo scopo di caratterizzare la condizione "normale" della colonna d'acqua nell'area portuale per quanto riguarda:

- i parametri fisico-chimici, quali temperatura, salinità, conducibilità e densità dell'acqua, ed ossigeno disciolto;
- la torbidità delle masse d'acqua nel porto;
- il materiale particellato sospeso, utilizzato poi come "bianco di riferimento";
- la dinamica delle correnti, per la conoscenza del campo di correnti all'interno delle aree portuali e per il corretto posizionamento degli strumenti fissi, presso le entrate del porto, e che dovranno monitorare <u>in continuo</u> la nuvola torbida durante il dragaggio.

Per rendere maggiormente efficiente il sistema di controllo si è adottata una tecnica di indagine che prevede l'impiego di una imbarcazione equipaggiata con un correntometro profilante ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ed una sonda multiparametrica CTD (Conductivity, Temperature, Depth), accoppiata ad uno strumento per la misura della torbidità (torbidimetro).

I dati registrati dalla strumentazione sopra citata, unitamente a misure effettuate su campioni di acqua, appositamente prelevati per la taratura delle misure ottiche ed acustiche, ed all'utilizzo di sofisticati software di elaborazione dei dati, permettono di ottenere una descrizione completa e con elevata risoluzione spaziale in tre dimensioni delle caratteristiche dello specchio acqueo portuale.

1 OBIETTIVI

Gli obiettivi delle 5 campagne di misura eseguite nel Porto di Genova (Fig. 1.1) possono essere così riassunti:

- definire i valori di riferimento (“bianco” o “naturale”) dei principali parametri chimico-fisici dell’acqua (temperatura, salinità, ossigeno disciolto e torbidità con particolare riferimento a questo ultimo parametro);
- definire le correnti che caratterizzano l’interno del Porto con le diverse condizioni meteo-marine (scirocco, libeccio, tramontana, ecc.);
- definire la posizione più idonea per gli strumenti fissi (ADCP e CTD) di controllo in continuo.

Per ottenere questi risultati si è operato con lo schema seguente:

1. sono state effettuate misure con CTD e prelevati campioni di acqua.
2. sono state effettuate misure con ADCP.

In particolare per la stima della quantità dei solidi sospesi in acqua di mare si è proceduto seguendo le seguenti fasi:

1. Pianificazione delle procedure da adottare in missione.
2. Preparazione e calibrazione dei vari strumenti che verranno utilizzati.
3. Raccolta delle misure *in situ*.
4. Elaborazione dei dati per mezzo di un *software*.

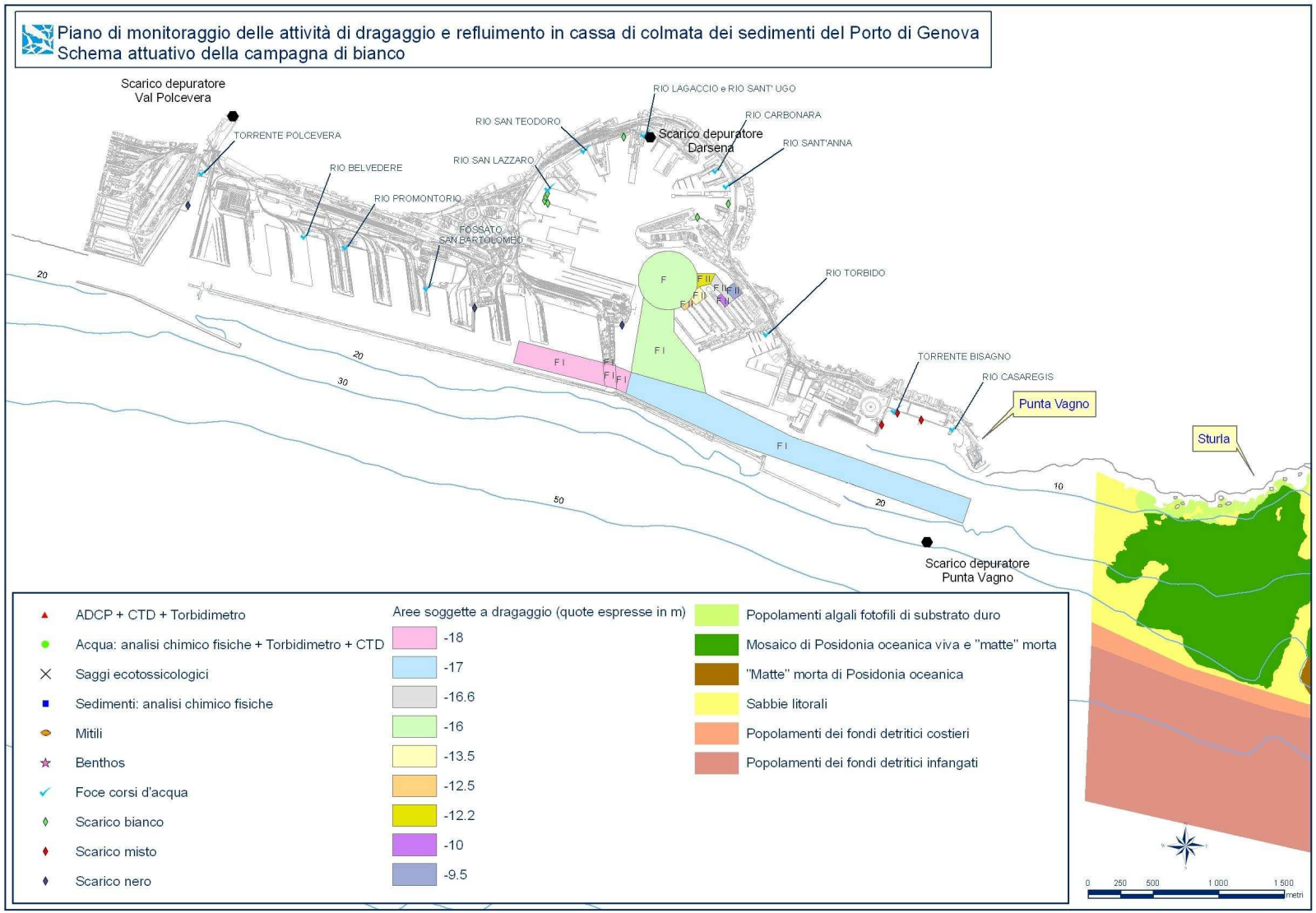


Fig. 1.1 - Inquadramento dell'area coinvolta nell'analisi di Prebianco.

2 MATERIALE E METODI

Le operazioni di misura sono state effettuate a bordo della M/B Maso della Società ARCO89 nel corso di cinque giorni in cui si sono presentate condizioni meteo-marine differenti.

Le misure di corrente sono state effettuate mediante l'utilizzo di un ADCP RDI con frequenza 300Khz.

Lo studio della concentrazione dei solidi in sospensione coinvolge anche altri parametri che vengono comunemente misurati negli studi dell'oceanografici, quali temperatura, salinità, e torbidità. Per misurare questi parametri è stata utilizzata una sonda CTD Idromar integrata con un torbidimetro ed un sensore dell'ossigeno (Fig. 2.1).

L'acqua è stata campionata con una bottiglia Niskin (Fig. 2.2): questa fornisce un campione istantaneo e non un prelievo integrato nel tempo, quindi rappresentativo solo delle proprietà dell'acqua al momento e nel punto in cui il campione è stato prelevato.



Fig. 2.1 - Foto della sonda CTD IDROMAR.



Fig. 2.2 - Bottiglia Niskin

I tradizionali metodi di osservazione dei solidi in sospensione nella colonna d'acqua prevedono l'utilizzo di torbidimetri ottici e campioni d'acqua; questi metodi provvedono a fornire profili e misure puntuali e questo limita lo studio dei processi dei sedimenti a larga scala. Le tecniche convenzionali di misura possono perciò essere restrittive; inoltre, gli svantaggi dei metodi tradizionali sono particolarmente rilevanti dove sono richieste misure in ambienti molto variabili e dinamici, e quando le osservazioni devono essere fatte in breve tempo. Nel nostro caso non è possibile ottenere con questi metodi tutti i dati utili riguardanti il sedimento che è messo in sospensione dal passaggio di una nave che interagisce col fondo o durante un dragaggio, poiché questi sono fenomeni molto variabili nel tempo e nello spazio. Inoltre campioni, seppur frequenti, di acqua non sono sufficienti a definire una serie temporale soddisfacente sulle caratteristiche del materiale particellato sospeso che è estremamente variabile e modificato da condizioni meteo-marine, apporti fluviali, passaggio di navi, ecc. (Gartner, 2004).

Una prima applicazione dell'ADCP e dei software legati all'interpretazione dei dati acquisiti consiste nella determinazione della velocità e direzione relativa delle particelle sospese nella colonna d'acqua che riflettono il segnale acustico emesso dallo strumento, sfruttando il cosiddetto "effetto Doppler". Poiché le particelle si muovono con la stessa velocità dell'acqua, attraverso il segnale ricevuto si può anche determinare velocità e direzione della massa d'acqua. Lo strumento misura i cambiamenti in fase e frequenza dei segnali di ritorno riflessi dal materiale in sospensione nell'acqua e converte i segnali ricevuti in componenti Nord-Sud ed Est-Ovest e verticali della velocità (Fig. 2.3). Inoltre si può misurare anche l'intensità relativa all'attenuazione del segnale acustico di ritorno rispetto a quello emesso dallo strumento, che risulta proporzionale alla concentrazione delle particelle sospese in grado di riflettere il segnale (sedimento particellato, bolle d'aria, pesci, plankton, ecc.). Lo strumento non distingue "gli ostacoli" fra loro, quindi l'errore di interpretazione deve essere corretto calibrando la risposta dell'ADCP con quella di un torbidimetro, a sua volta calibrato con campioni d'acqua prelevati *in situ*. L'ADCP risulta così una valida alternativa al torbidimetro ed al campionamento d'acqua (anche se questi due metodi convenzionali sono comunque necessari per la calibrazione) per la misurazione dei solidi sospesi in quanto riesce a dare informazioni su una vasta area per tempi molto lunghi e quindi ad esaminare la dinamica del sedimento particellato sospeso.

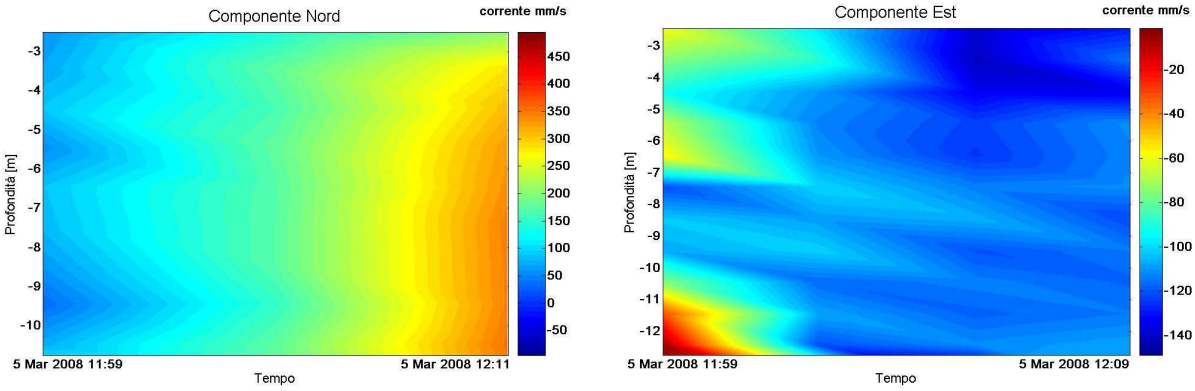


Fig. 2.3 – Profili verticali delle componenti Nord ed Est delle correnti ottenute con ADCP.

L'ADCP può essere utilizzato in diverse configurazioni:

- posizionato sul fondo montato su una piattaforma e rivolto verso l'alto;
- su una boa galleggiante, con i trasduttori rivolti verso il basso;
- a palo, su un'imbarcazione come nel nostro caso (Fig. 2.4);
- fisso a molo, come avverrà per gli strumenti di controllo in continuo; i trasduttori registrano ad intervalli discreti (celle) lungo la colonna d'acqua.

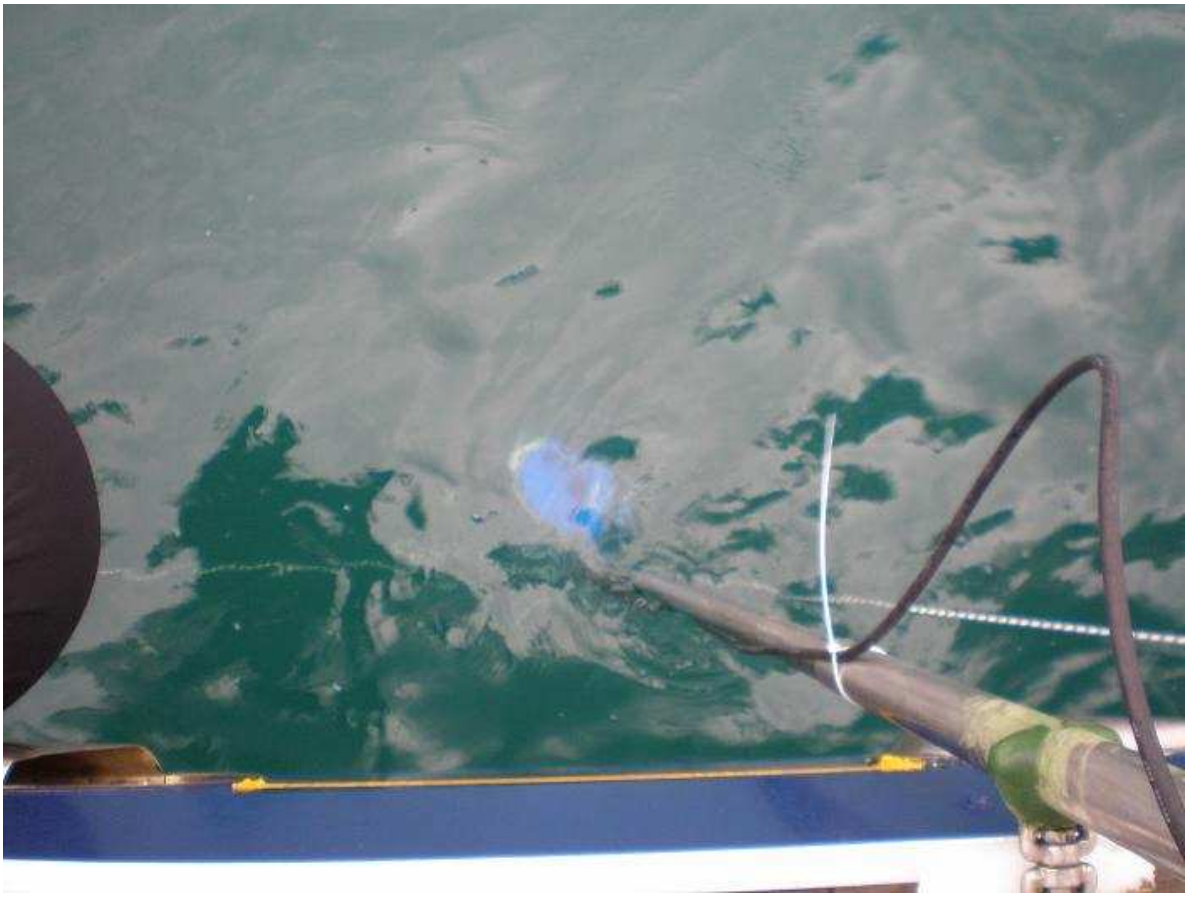


Fig. 2.4 – ADCP al palo sull'imbarcazione.

L'ADCP montato a palo è solidale all'imbarcazione quindi subisce come questa rollio, beccheggio, scarroccio e deriva in dipendenza da vento, onde e correnti. L'ADCP è collegato ad un sistema GPS che fornisce dati in tempo reale al sistema di acquisizione tramite comunicazione seriale; questo sistema permette di eliminare errori di misura con ADCP dovuti al *drift* compiuto dall'imbarcazione durante le misure. Infatti uno spostamento di questa porterebbe alla errata determinazione di una massa d'acqua in quiete.

I dati in superficie e sul fondo non possono essere misurati con l'ADCP; in superficie ciò è dovuto al fatto che il trasduttore deve essere immerso di almeno un metro in modo da non subire le turbolenze dovute alla navigazione ed allo strato di formazione di bolle d'aria che inficiano la misure di *backscatter*. Inoltre c'è uno strato detto *blank*, nelle immediate vicinanze del trasduttore, in cui i dati non possono essere ottenuti: questa distanza dipende dal tipo di ADCP utilizzato e va da 0,5 ad 1 metro. Sul fondo, invece, i dati non sono accurati a causa degli echi laterali del fondo, quindi non possono essere utilizzati per calcolare la concentrazione dei solidi. Nei due strati non misurabili con l'ADCP sono state utilizzate le misure del torbidimetro.

Mediante il sistema utilizzato, i dati misurati dall'ADCP e dal GPS possono essere acquisiti in tempo reale mediante il software VMDAS della RDI Instruments e contemporaneamente visualizzati mediante WINADCP. Questi due software permettono non solo di visualizzare le correnti in tempo reale, ma anche di controllare che tutti i parametri dell'ADCP garantiscano misure valide.

L'elaborazione dei dati è l'ultima fase della stima dei solidi in sospensione: questa provvede alla calibrazione dei dati dell'ADCP mediante l'utilizzo di alcuni dati di calibrazione ottenuti con il CTD, il torbidimetro e/o i campioni d'acqua. Questa calibrazione è molto complicata, ma può essere automatizzata grazie all'utilizzo del software SEDIVIEW.

Il metodo ed il software Sediview sono stati sviluppati dalla DRL (Dredging Research Ltd) per stimare la concentrazione dei solidi sospesi nella colonna d'acqua usando i dati acustici di backscatter (segnale di ritorno) acquisiti con ADCP. Prima di arrivare al dato assoluto di concentrazione di solido sospeso, partendo dai dati grezzi registrati dall'ADCP, l'utente deve modificare alcune variabili che hanno lo scopo di calibrare le concentrazioni rilevate dall'ADCP rendendole pari o comunque prossime a quelle ottenute, in sincronia spazio-temporale con le misure del torbidimetro. La calibrazione può essere fatta anche direttamente con le analisi dei solidi sospesi sui campioni d'acqua, ma in questo caso sono necessari numerosi campioni di acqua.

La funzione principale del Sediview è processare i dati binari ottenuti usando un ADCP a banda larga Workhorse della RDI. Oltre ai files binari, utilizza anche i vari dati che servono per calibrare la risposta dell'ADCP come:

- profili di temperatura e salinità nella colonna d'acqua;
- fattore di scala e offset per ognuno dei quattro trasduttori, in modo da permettere la conversione dei dati da conteggi dello strumento in decibel;
- le costanti di calibrazione ed il coefficiente di attenuazione dei sedimenti.

Utilizzando i dati di temperatura, salinità e profondità, il Sediview elabora un profilo dei parametri del sito dove sono state fatte le misure; i parametri che sono calcolati sono densità dell'acqua, viscosità cinematica, salinità e temperatura. Questi dati sono usati per determinare la velocità del suono attraverso la colonna d'acqua e, da questa, trovare la profondità, il range e la lunghezza delle celle di misura dell'ADCP. Il Sediview calcola il coefficiente di attenuazione dell'acqua e corregge il coefficiente di attenuazione del sedimento per ogni cella rispondendo alle variazioni della densità dell'acqua e della viscosità cinematica. Così facendo, calcola l'andamento della concentrazione dei solidi in sospensione, il quale deve essere corretto con un offset ottenuto grazie alle misure *in situ* di calibrazione effettuate con il torbidimetro ed i campioni d'acqua.

Il Sediview facilita questa correzione non solo grazie alla visualizzazione dei dati ADCP e di quelli del torbidimetro sovrapposti in un unico grafico, ma anche grazie alla possibilità di variare le costanti di calibrazione finché non si raggiunge l'offset corretto.

Le concentrazioni di materiale sospeso sono state determinate utilizzando un sensore di torbidità montato su una sonda multiparametrica. Al fine di calibrare i valori misurati, espressi in FTU ed ottenere le concentrazioni reali di TPM in mgl^{-1}, in alcune delle stazioni di misura, sono stati prelevati campioni d'acqua a profondità fisse, utilizzando bottiglie Niskin. I campioni sono stati conservati a 4 °C e successivamente in laboratorio, quantità note d'acqua campionata sono state filtrate attraverso filtri Millipore di acetato di cellulosa (∅ 47 mm e porosità 0.45 μm) allo scopo di concentrare il materiale sospeso in essa contenuto. Un altro campione di acqua è stato conservato a 4 °C per le successive analisi al Coulter Counter Multisizer 3, per la determinazione delle dimensioni delle particelle in esso presenti.

Poiché il rapporto tra la concentrazione di TPM e la risposta del torbidimetro in FTU dipende anche dalla dimensione e dal numero di particelle presenti nelle acque, sono stati acquisiti anche questi dati. Le analisi dimensionali del particellato sono state determinate in laboratorio utilizzando un Multisizer 3 (Coulter® El. Ltd., 1998) con una doppia cella di

campionamento e due capillari; un capillare da 100 μm per determinare la frazione fine ed un capillare da 280 μm per determinare la frazione grossolana, in base alle caratteristiche del campione . Il numero di particelle e la dimensione delle stesse è stato calcolato usando rispettivamente 500 μl e 2000 μl di campione con 5 repliche (Krank, 1980). I valori del numero di particelle per litro sono stati messi in relazione con la concentrazione del TPM per litro per il controllo e la validazione dei dati. Si è riscontrata una buona correlazione in tutte e cinque le campagne effettuate (Fig. 2.5).

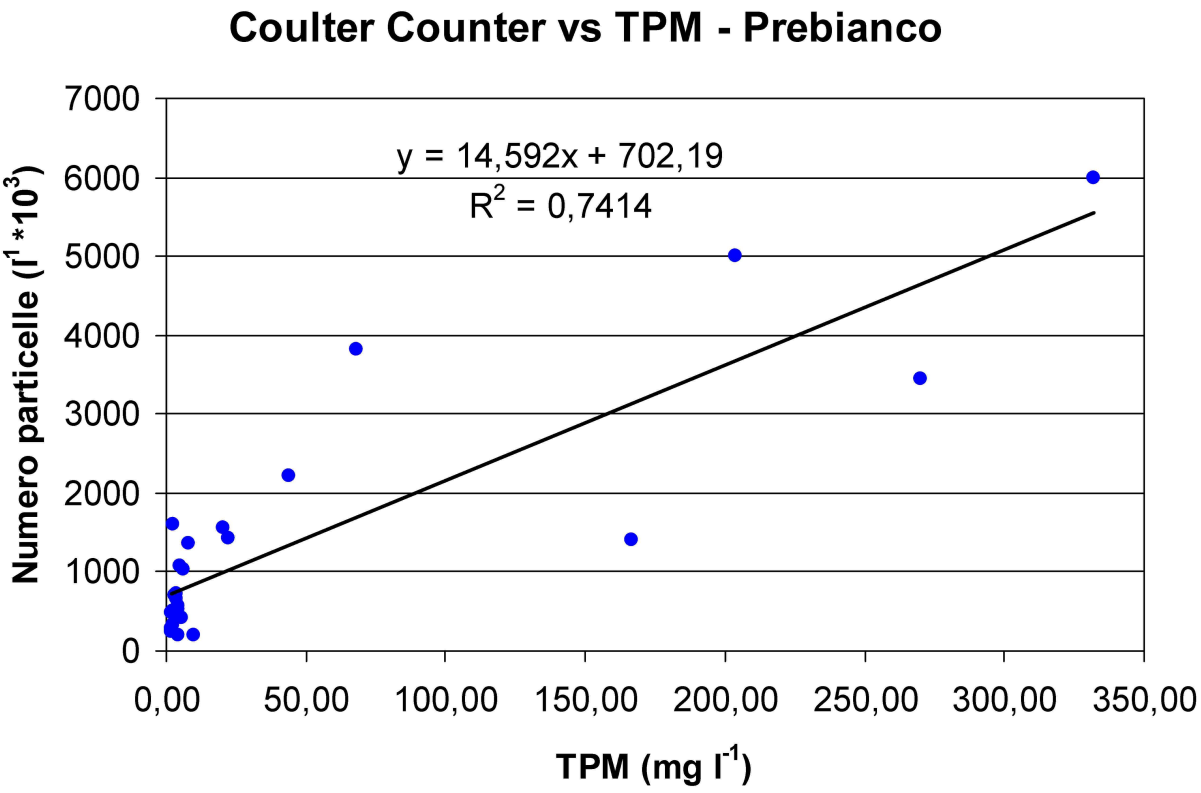


Fig. 2.5 – Retta di taratura tra TPM e Numero delle particelle per litro.

Il controllo del rapporto "TPM-numero di particelle" ha permesso un'operazione di filtraggio che ha portato ad eliminare alcuni valori di TPM ritenuti poco attendibili.

Il passo seguente è stato quello di utilizzare i valori di concentrazione di materiale particellato (mgl^{-1}) ottenuti in laboratorio, seguendo la metodologia classica sotto riportata, e validati per plottarli insieme ai valori di torbidità (FTU) misurati negli stessi punti; si è così ottenuta la curva di taratura di figura 2.6.

I dati di torbidità, così validati, sono stati messi in relazione con quelli misurati dall'ADCP affinché nel software Sediview si potesse correggere il coefficiente di attenuazione del sedimento.

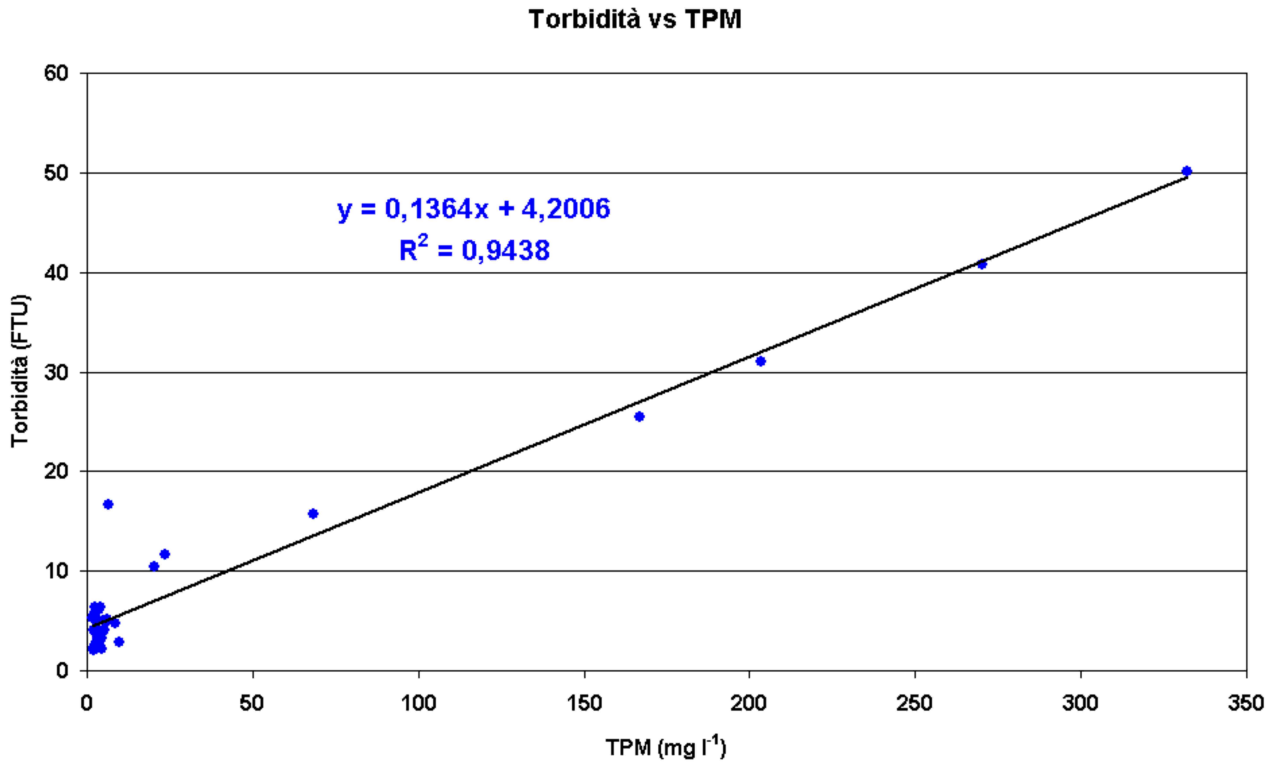


Fig. 2.6 – Retta di taratura del torbidimetro.

In laboratorio, prima di iniziare le attività di filtrazione, i filtri di acetato di cellulosa, sono stati pre-pesati, numerati e stoccati per le operazioni da svolgere successivamente alle campagne in mare.

Le operazioni di pesatura dei filtri "vergini" sono avvenute immettendo gli stessi in un apposito forno-armadio essiccatore a ventilazione forzata per 3 ore a 60-65°C e, successivamente, riportati a temperatura ambiente in essiccatori, quindi pesati; le operazioni di pesatura sono state effettuate con una bilancia elettronica di precisione a cinque cifre decimali Scaltec SBC21 (precisione ± 1 μg).

Tutti i filtri utilizzati per la filtrazione durante la campagna sono stati quindi trattati successivamente per la determinazione delle quantità (in peso) di materiale particellato (nelle frazioni totale, inorganico ed organico) secondo le modalità indicate da Strickland e Parson (1968), modificate da Piccazzo e Tucci (1983).

I filtri sono stati asciugati, sempre con un armadio essiccatore, ad una temperatura di 60-65°C per 3 ore e quindi, per riportarli a temperatu ra ambiente, posti in un essiccatore per 30'. A questo punto i filtri sono stati pesati: la differenza tra il peso riscontrato ed il peso iniziale (prima cioè della partenza per la campagna di campionamento) ha determinato la quantità di materiale particellato totale (TPM).

I filtri, successivamente alla pesatura, sono stati poi inseriti in crogioli di ceramica, sciolti con alcune gocce di acetone e posti in muffola (forno termostatato) a 1050°C per 3 ^{h} 30' al fine di eliminare per combustione la frazione organica. Infine i crogioli, opportunamente raffreddati in essiccatore, sono stati pesati e, per differenza con il loro peso "a vuoto" determinato in precedenza con una serie di pesate, si è determinato il peso dell'IPM: una semplice differenza (TPM-IPM) ha permesso poi di determinare il peso della parte organica bruciata (OPM).

Per evitare di introdurre errori di misura dovuti alle diverse condizioni atmosferico-ambientali al momento della pesatura, si sono conservati a parte alcuni filtri "bianchi" (solitamente due, uno all'inizio e l'altro alla fine di ogni giornata di campionamento): la loro variazione di peso, rispetto a quello calcolato in partenza, ha determinato la correzione (positiva o negativa) da apportare al peso dei filtri con campione (Pierce *et al.*, 1981) nella determinazione del TPM.

3 ATTIVITA' IN MARE

Le attività di caratterizzazione dello specchio acqueo del Porto di Genova sono avvenute nei giorni 14, 20 e 27 febbraio, 05 e 21 marzo 2008 con campionamenti e misure svolte in stazioni distribuite su tutto il bacino portuale.

3.1 - 14 FEBBRAIO 2008.

Durante la campagna eseguita il 14 febbraio 2008 si sono investigate le caratteristiche fisiche (temperatura, salinità ed ossigeno disciolto) delle masse d'acqua effettuando misure puntuali con CTD; nel complesso si sono effettuate analisi in 22 stazioni di campionamento ottenendo 35 serie di dati (Fig. 3.1.1).

Le condizioni meteo-marine di questa campagna sono state caratterizzate da cielo sereno, mare calmo e vento quasi assente durante la mattina in lieve aumento da SW nel pomeriggio: queste condizioni ci hanno permesso di fare un numero relativamente alto di stazioni che andassero a coprire tutto lo specchio acqueo all'interno ed all'esterno del bacino portuale.

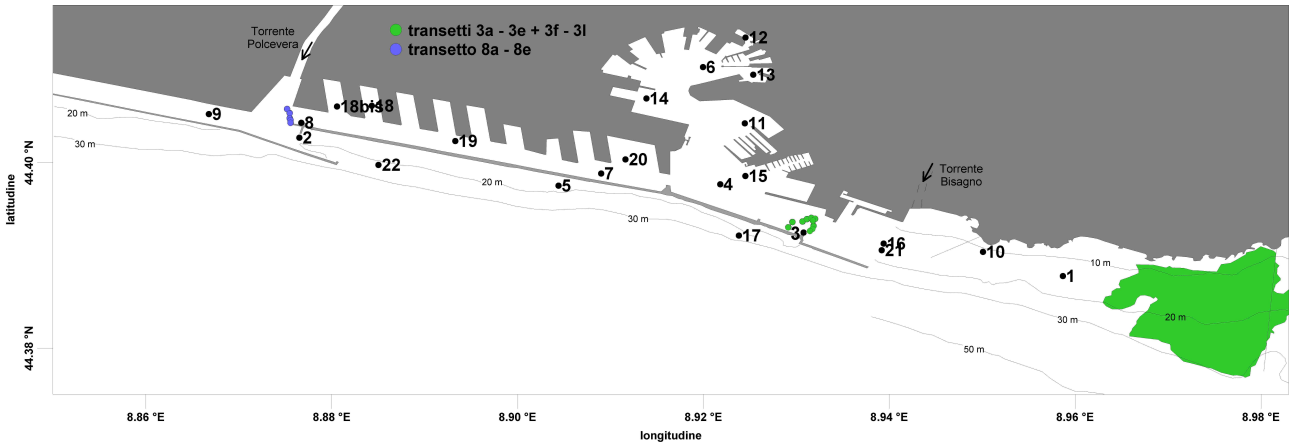


Fig. 3.1.1 – Distribuzione delle stazioni nella campagna del 14.02.08

All'imboccatura di levante sono stati effettuati due transetti di circa 200 m in corrispondenza della stazione 3, in direzione S-N il primo e N-S il secondo: il primo è stato effettuato per evidenziare lo stato "normale" dell'imboccatura, mentre il secondo, grazie alla segnalazione della Torre dei Piloti del Porto, è stato fatto dopo il passaggio di una nave Ro-Ro, con pescaggio di 8 m circa, per determinare se ci fosse una qualche interazione "movimento delle eliche-fondo", ma questa non è stata rilevata. Nel tratto centrale dell'imboccatura il fondale è di circa 18 m, quindi le navi con pescaggio di 7-8 m

non interagiscono col fondale. Un transetto è stato fatto anche all'imboccatura di ponente in prossimità della stazione 8, ma qui l'esperimento non è stato poi ripetuto visto che le navi che usano questo ingresso non hanno dimensioni tali da interagire col fondo a causa delle loro dimensioni ridotte (esiste un vincolo che limita a 20 metri l'altezza della nave per la vicinanza dell'aeroporto e degli aerei in fase di atterraggio e/o decollo).

Sempre in seguito ad una segnalazione dei Piloti, il campionamento nella stazione 7 è stato fatto dopo il passaggio di una nave governata da quattro rimorchiatori e ormeggiata in Calata Derna: in questo caso l'azione delle eliche dei rimorchiatori ha influito sul fondo (profondità circa 15 m), sollevando una notevole nuvola torbida che ha raggiunto la superficie (Fig. 3.1.2).



Fig. 3.1.2 – Nave governata da quattro rimorchiatori e nuvola torbida sollevata dall'azione delle eliche dei rimorchiatori sul fondo (St. 07).

3.2 – Campagna del 20 FEBBRAIO 2008.

Nel corso dei rilievi eseguiti il 20 febbraio 2008 si sono investigate le caratteristiche fisiche (temperatura, salinità ed ossigeno disciolto) delle masse d'acqua effettuando misure puntuali con CTD; nel complesso si sono effettuate analisi in 22 stazioni di campionamento ottenendo 35 serie di dati come mostrato in figura. 3.2.1.

Le condizioni meteo-mare sono state caratterizzate da cielo nuvoloso e mare mosso da scirocco con forte vento da SE che hanno reso difficoltose le operazioni di campionamento nelle stazioni fuori dalla diga foranea: nelle stazioni 5 e 17 l'acqua non è stata campionata proprio a causa delle cattive condizioni del mare, accentuate dalla riflessione delle onde sulla diga foranea.

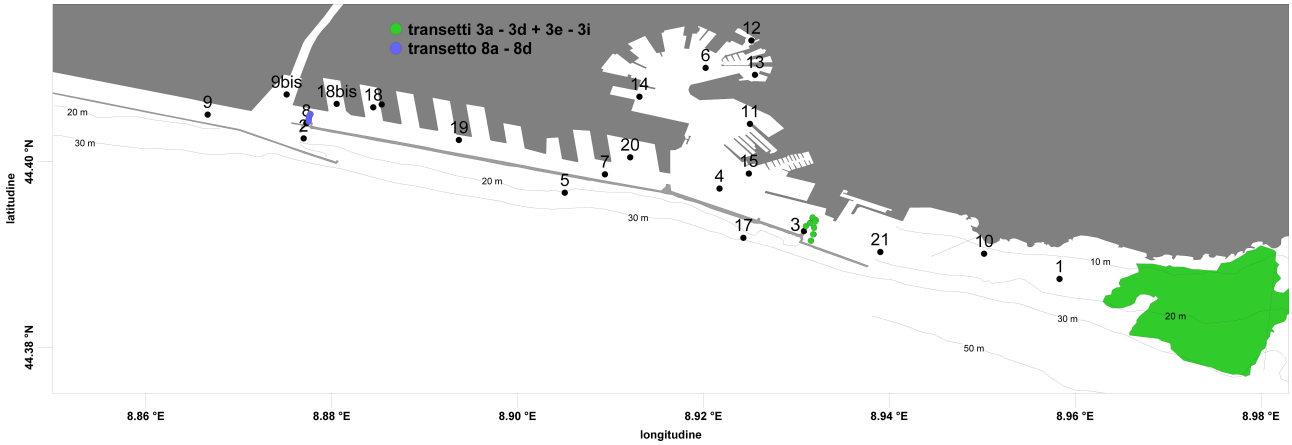


Fig. 3.2.1 – Distribuzione delle stazioni nella campagna del 20.02.08.

In questa campagna è stata aggiunta la stazione 9bis, in prossimità della foce del torrente Polcevera per campionare e quantificare il materiale trasportato in mare dal torrente.

Anche in questa occasione l'aiuto dei Piloti ci ha permesso di effettuare transetti di misura dopo il passaggio di navi, per determinare il loro influsso sul fondo.

3.3 - Campagna del 27 FEBBRAIO 2008.

Nella campagna del 27 febbraio 2008 si sono investigate le caratteristiche fisiche (temperatura, salinità, ossigeno disciolto e torbidità) delle masse d'acqua effettuando misure puntuali con CTD; nel complesso si sono effettuate analisi in 20 stazioni di campionamento ottenendo 32 serie di dati come mostrato in figura. 3.2.1. In 13 stazioni è stata prelevata l'acqua con una bottiglia Niskin per la successiva determinazione del TPM

in laboratorio e la taratura del torbidimetro. Inoltre sono state fatte misure delle correnti con l'ADCP in 15 stazioni.

Le condizioni meteo-mare sono state caratterizzate da cielo nuvoloso e mare mosso inizialmente da scirocco in rapida rotazione a libeccio nel pomeriggio. Anche in questo caso le stazioni davanti alla diga foranea non sono state effettuate a causa delle condizioni del mare.

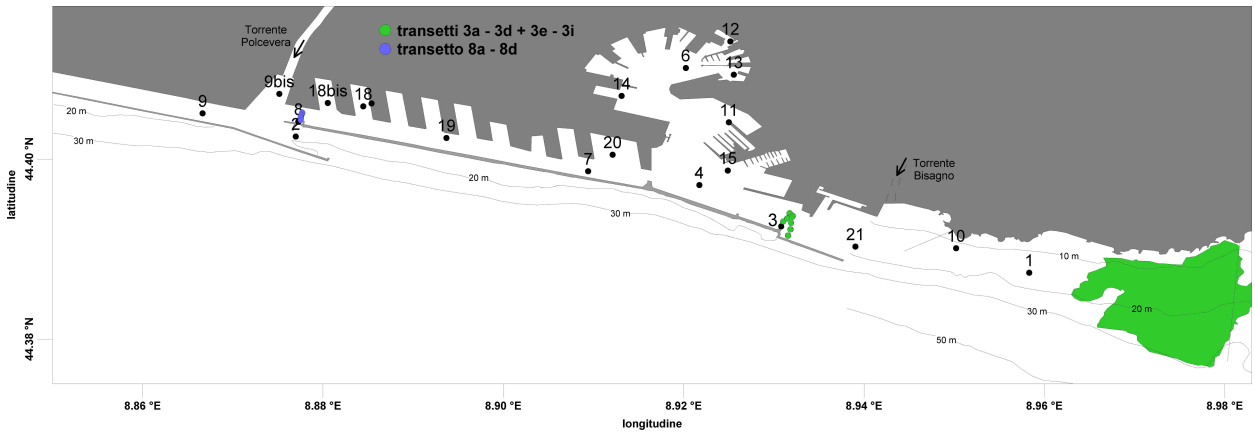


Fig. 3.3.1 – Distribuzione delle stazioni nella campagna del 27.02.08.

Alla foce del Bisagno era evidente la presenza di una torbida e per determinarne l'entità è stata effettuato il campionamento dell'acqua nella stazione 21 (Fig. 3.3.2).

Alle ore 15:45, abbiamo aspettato un traghetto della Grimaldi (pescaggio 8 m) in entrata per vedere se, durante le manovre di ormeggio, sollevava una nuvola torbida e quanto tempo questa impiegava a risedimentare: sono state effettuate ripetute calate del CTD



Fig. 3.3.2 – Plume alla foce del Bisagno.

3.4 - Campagna del 05 MARZO 2008.

Durante la campagna del 5 marzo 2008 sono stati eseguiti 38 calate di CTD come mostrato in figura 3.4.1, 17 campionamenti d'acqua e 12 misurazioni di corrente con l'ADCP.

La giornata è stata caratterizzata da vento forte da NE in rotazione fino a provenire da N e cielo nuvoloso; il mare si presentava poco mosso sotto costa e mosso al largo. A causa del forte vento lo scarroccio della nave era notevole.

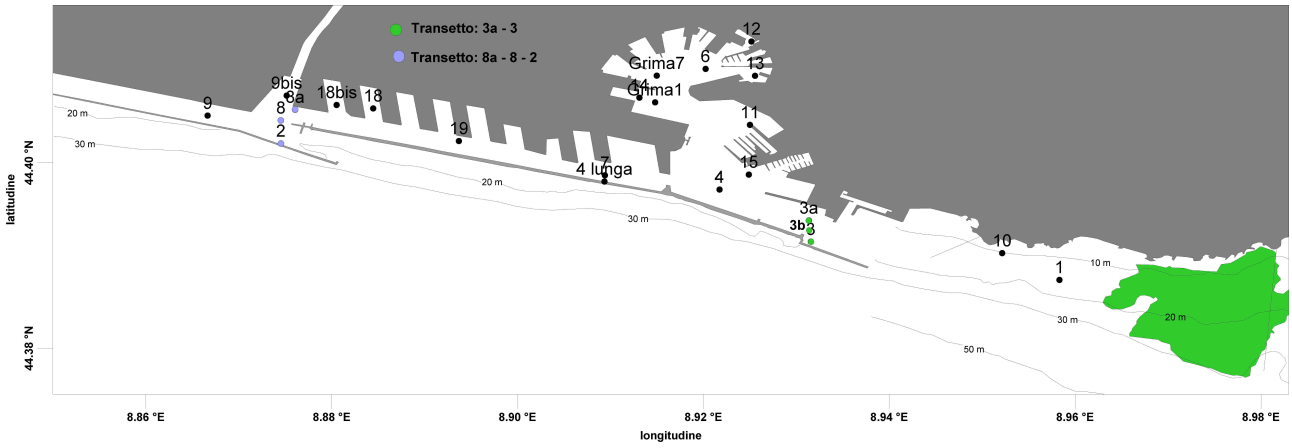


Fig. 3.4.1 – Distribuzione delle stazioni nella campagna del 05.03.08.

Alle ore 10:20 un traghetto della Linea Grimaldi (con un pescaggio 7 m) è entrato in porto: per vedere se sollevava una nuvola torbida ed quanto tempo questa impiegava a risedimentare, abbiamo effettuato campionamenti lungo la sua scia con l'ADCP, il CTD e prelevati campioni di acqua. Abbiamo aspettato che il traghetto effettuasse le manovre per ormeggiare, ci siamo posizionati davanti alla sua prua e abbiamo fatto ripetute calate del CTD, mentre l'ADCP registrava in continuo per un periodo di 25 minuti.

A causa del forte scarroccio si è dovuto effettuare una calata di CTD all'inizio ed una alla fine dei circa 10 minuti di acquisizione dell'ADCP, in modo da avere un dettaglio della colonna d'acqua utile per la calibrazione dell'ADCP.

Nelle stazioni 9 e 2 è stata evidenziata una lente superficiale di acqua poco salina proveniente dal Polcevera e dovuta alle precipitazioni avvenute nei giorni precedenti.

3.5 - Campagna del 21 MARZO 2008.

Durante la campagna del 21 marzo 2008 sono state effettuate 35 calate della sonda multiparametrica come mostrato in figura 3.5.1, 12 misure di corrente con l'ADCP e 11 campionamenti di acqua per la taratura del torbidimetro. Con un pHmetro portatile è stato misurato il pH dell'acqua raccolta nelle bottiglie di campionamento.

Il cielo era nuvoloso ed il mare mosso da scirocco con forte vento da SE.

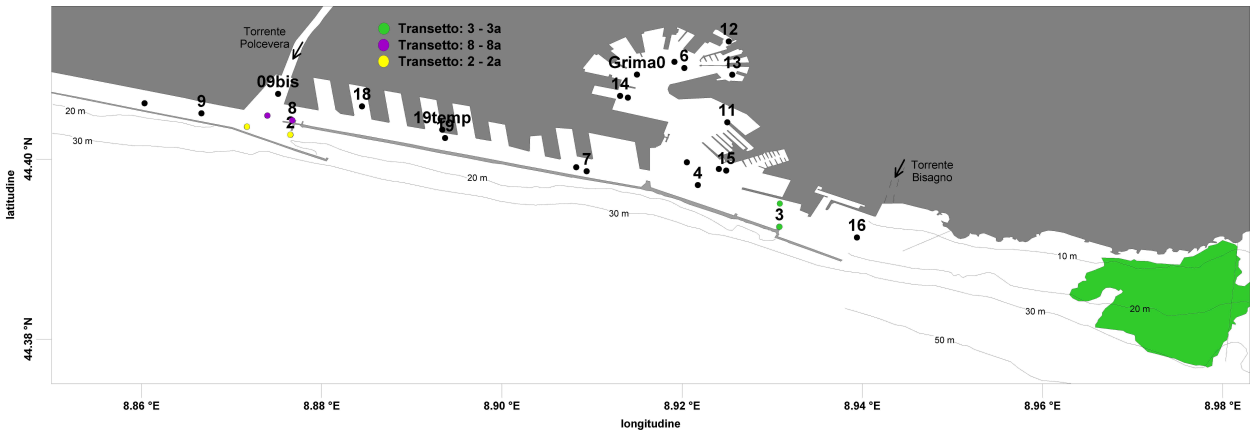


Fig. 3.5.1 – Distribuzione delle stazioni nella campagna del 21.03.08.

A causa del mare mosso, le stazioni posizionate davanti alla diga e anche quelle in mare aperto in direzione levante (stazioni 10 e 1) non sono state effettuate (Fig. 3.5.2).



Fig. 3.5.2 – Tratto di mare alla entrata di Ponente.

4 RISULTATI

4.1 CARATTERISTICHE FISICHE E DINAMICHE DELLA MASSA D'ACQUA.

Le caratteristiche della massa d'acqua nei cinque giorni di indagine sono risultate determinate dalle condizioni meteo-marine e dagli apporti dei corsi d'acqua (torrenti Polcevera e Bisogno) e degli scarichi presenti nello specchio acqueo portuale. In caso di mare calmo e assenza di vento, si sono registrate temperature comprese tra 11.92 e 13.06 ℃, salinità tra 36.30 e 37.74 e valori di os sigeno disciolto compresi tra 82 e 113 %; con presenza di mare mosso da scirocco e vento da SE invece le temperature variavano tra 11.73 e 15.17℃, la salinità tra 31.71 e 37.77, e l'ossigeno disciolto tra 82 e 128 %; in condizioni di mare mosso da scirocco e libeccio invece i valori di temperatura oscillavano tra 13.01 e 14.90℃, quelli di salinità tra 33.78 e 37.58 e di ossigeno disciolto tra 71 e 113 %; nel caso di mare calmo con forte vento da NE-N la temperatura era compresa tra 11.83 e 15.41℃, la salinità tra 34.64 e 37.61 e l'ossige no tra 63 e 118 %.

Nelle distribuzioni di temperatura si è notato che nello strato superficiale le temperature più basse sono concentrate all'interno della Darsena e nella parte più a levante del porto, mentre nella parte più a ponente del Canale presenta valori relativamente più alti (Fig. 4.1.1): questa condizione può essere determinata dal fatto che la sequenza di campionamento delle stazioni è mantenuta costante in senso orario per tutte le campagne (dalla 12 alla 20), per cui le stazioni che si trovano nella parte a ponente del porto (dalla 9 alla 20) sono eseguite nel pomeriggio, quindi anche in minima parte risentono del riscaldamento indotto dal sole durante le ore più calde centrali della giornata. Questa differenza tra Darsena e zona di levante e Canale è meno evidente nello strato d'acqua più prossimo al fondo (Fig. 4.1.2) nel quale si ha maggiore omogeneità nei valori di temperatura.

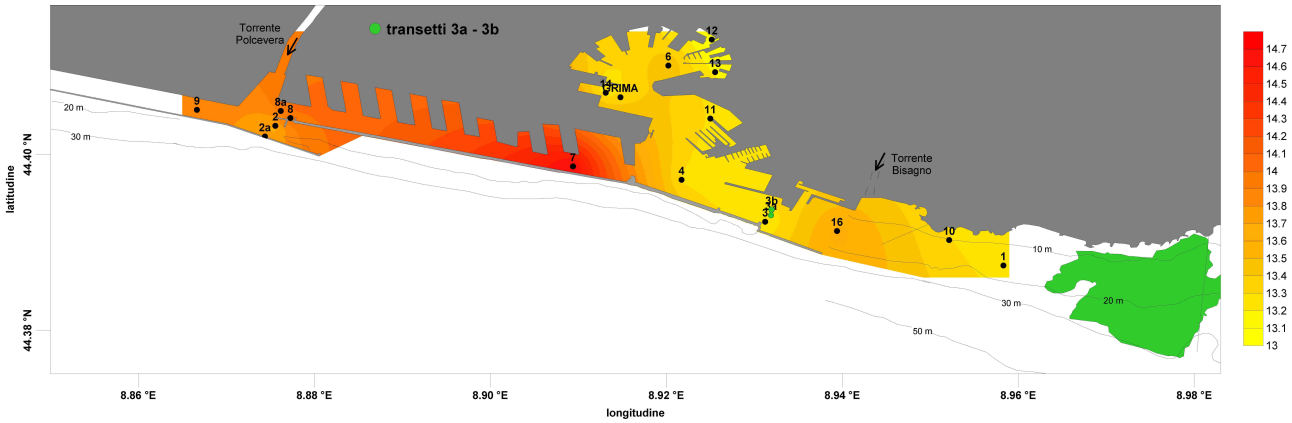


Fig. 4.1.1 – Distribuzione orizzontale della temperatura (℃) nello strato superficiale Prebianco – 27.02.08.

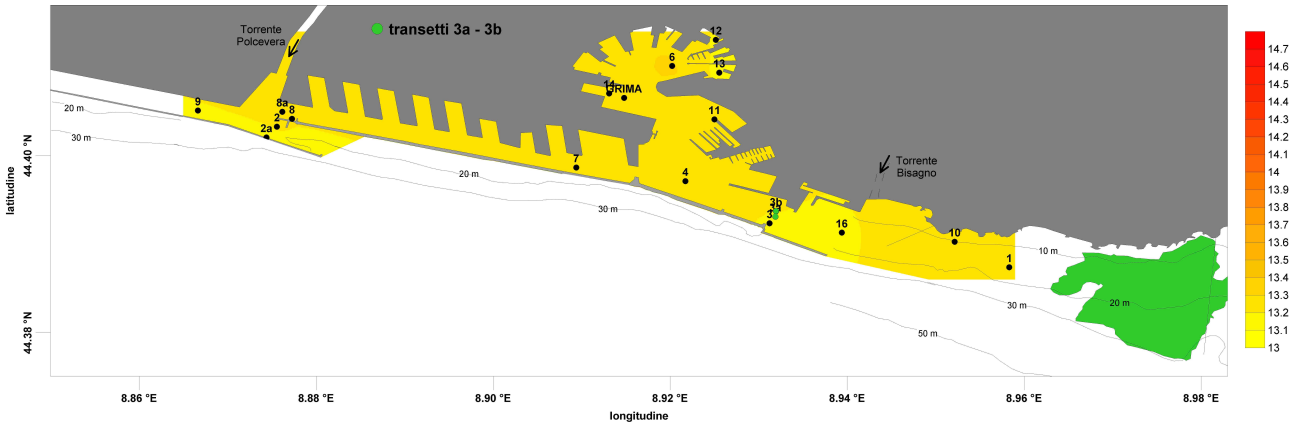


Fig. 4.1.2 – Distribuzione orizzontale della temperatura (°C) nello strato di fondo Prebianco – 27.02.08.

In generale si è osservato che i tenori minori di ossigeno disciolto (minimo assoluto pari a 63 %) si trovano nello strato superficiale dell'area compresa tra il bigo e l'acquario ed all'interno della Vecchia Darsena; la causa è da ricercarsi nel basso ricircolo d'acqua e nella presenza di scarichi fognari all'interno di questo settore del porto (Fig. 4.1.3). In particolare le stazioni 12 e 13 sono le maggiormente colpite da questo stato di anossia (Figg. 4.1.4-4.1.5) con condizioni anche critiche come quella rilevata il 5 marzo nella stazione 12 (Fig. 4.1.5) in cui si sono misurati valori intorno al 65 % di saturazione di ossigeno disciolto.

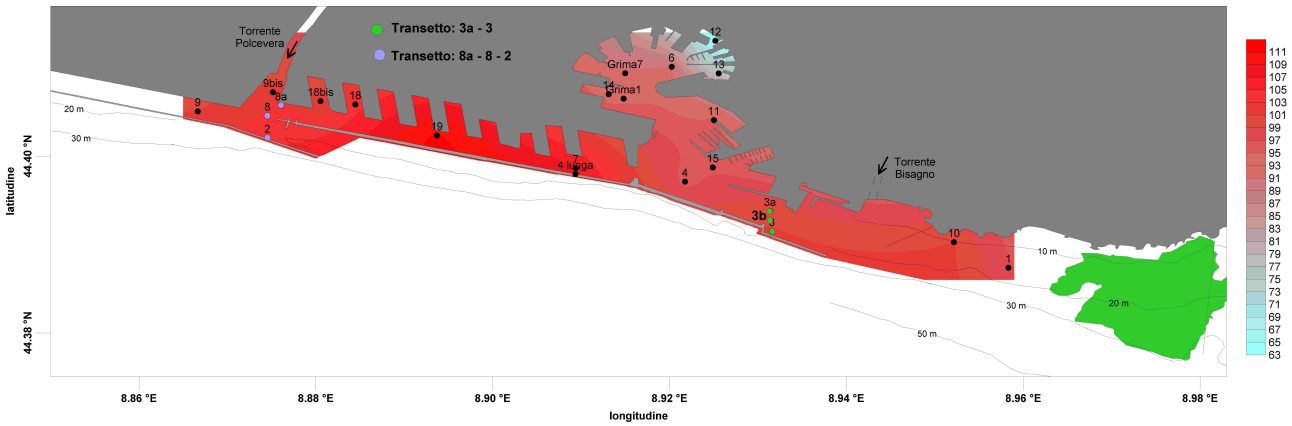


Fig. 4.1.3 – Distribuzione orizzontale dell'Ossigeno disciolto (%) nello strato superficiale Prebianco – 21.03.08.

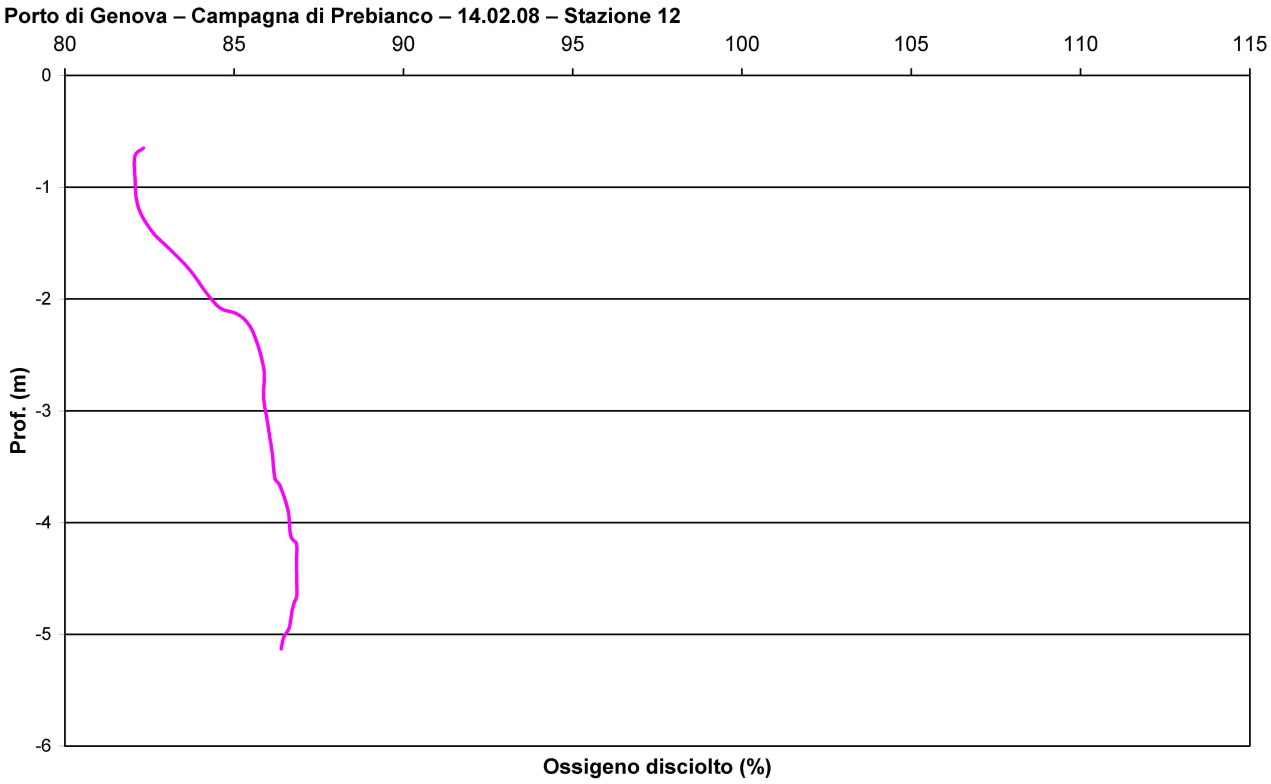


Fig. 4.1.4 - Stazione 12 – Prebianco – 14.02.08 – Profilo di ossigeno disciolto (%).

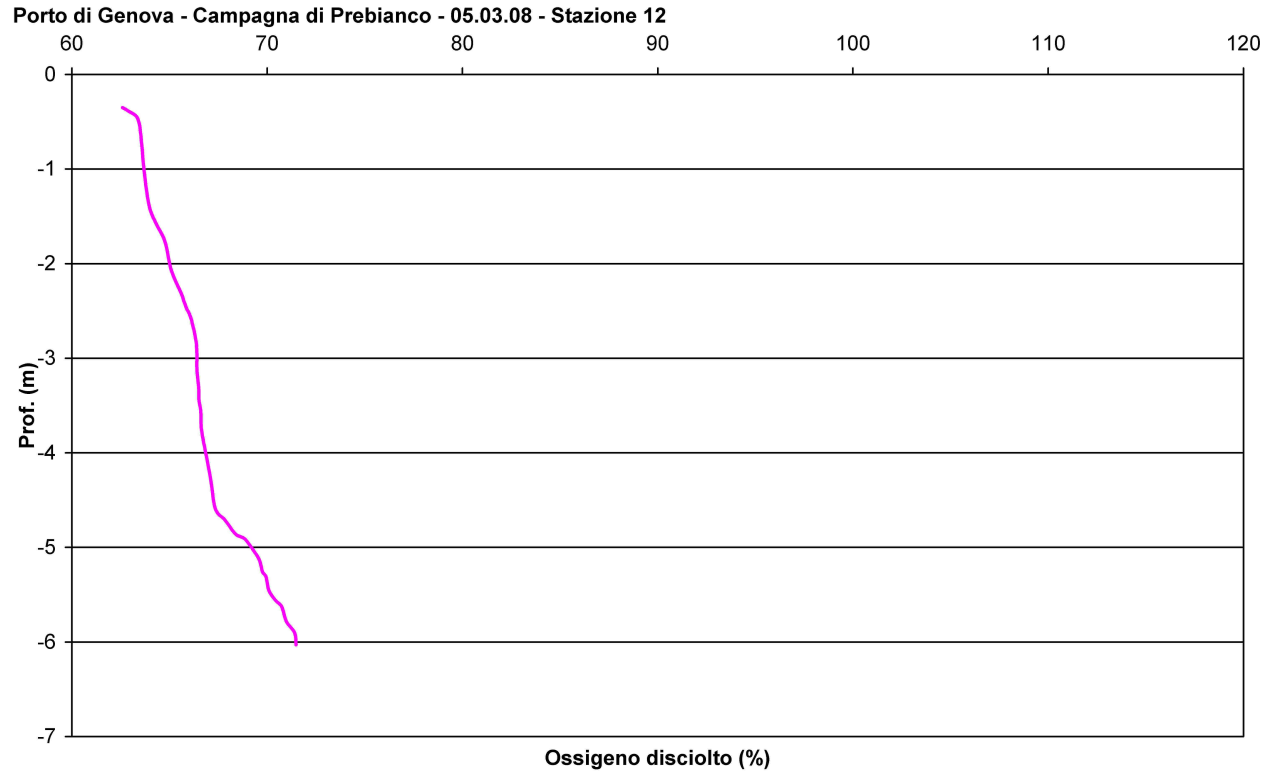


Fig. 4.1.5 - Stazione 12 – Prebianco – 05.03.08 – Profilo di ossigeno disciolto (%).

In prossimità della foce del torrente Polcevera si è rilevata la presenza di una sottile lente superficiale di acqua relativamente dolce dello spessore di 2-3 m. In particolare questa

stratificazione è stata evidenziata dai rilevamenti effettuati nelle campagne del 14 e 20 febbraio e del 05 e 21 marzo. Nella prima campagna, caratterizzata da mare calmo ed assenza di vento, questo strato di acqua relativamente dolce si estendeva in una zona comprendente le stazioni 9, 2 e 8. Nelle giornate di campionamento del 20 febbraio e del 21 marzo, caratterizzate da mare mosso da scirocco, questa lente di acqua dolce è risultata concentrata proprio dalle condizioni meteo-marine e spostata verso ponente (stazioni 9 e 9bis). Il 5 marzo, preceduto da giornate piovose che hanno apportato una massa d'acqua dolce consistente, lo strato superficiale è ben evidente nelle stazioni 2 e 9. Riportiamo di seguito qualche esempio di profilo di salinità in cui si nota questo strato superficiale di acqua poco salina (Figg. 4.1.6 e 4.1.10). Le misure di temperatura, ossigeno disciolto e torbidità in questa lente superficiale non mostrano valori di particolare interesse per la indagine in corso.

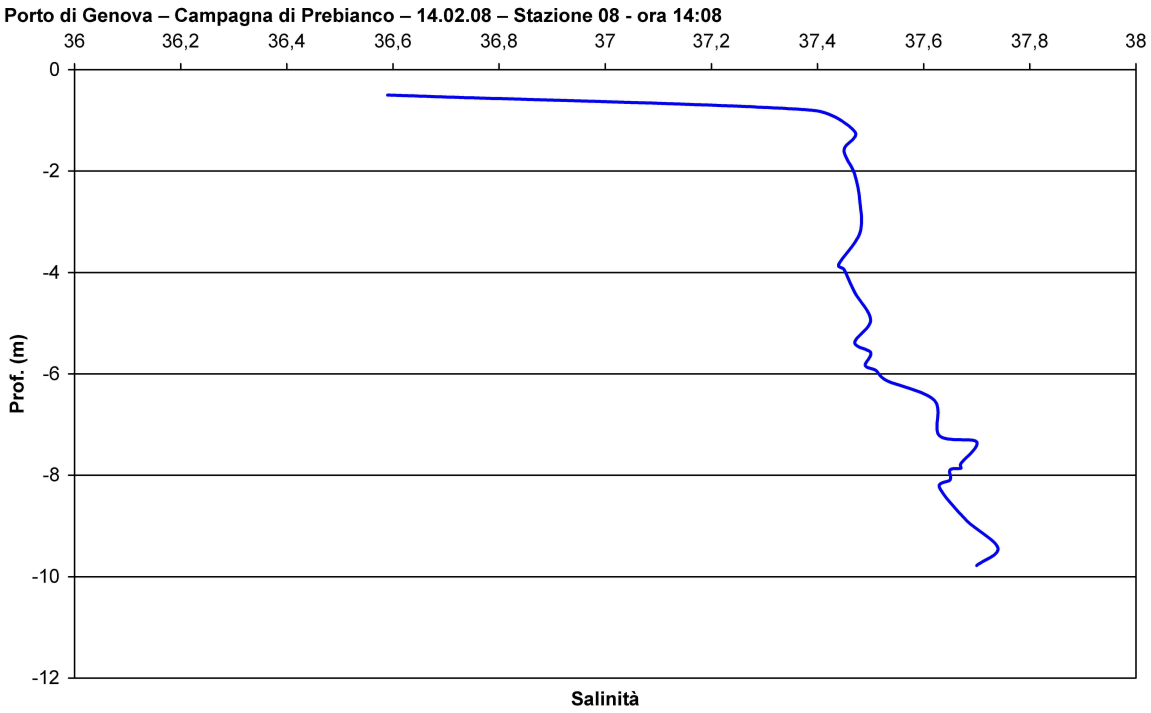


Fig. 4.1.6 - Stazione 8 – Prebianco – 14.02.08 – Profilo di salinità.

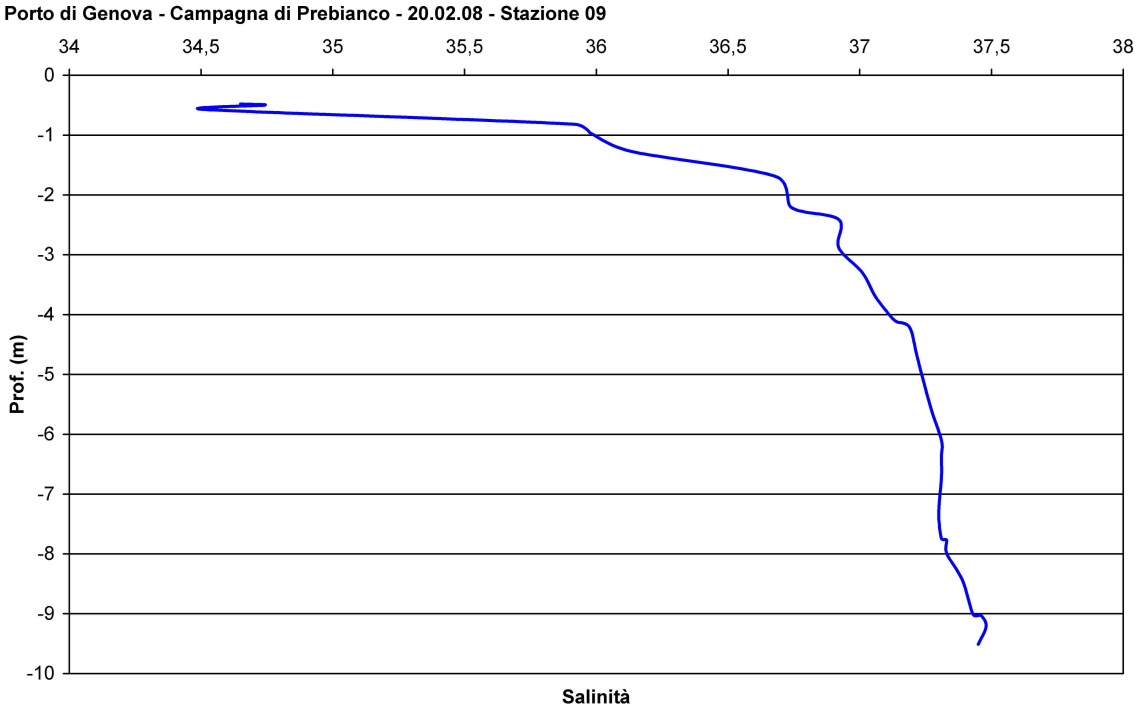


Fig. 4.1.7 - Stazione 9 – Prebianco – 20.02.08 – Profilo di salinità.

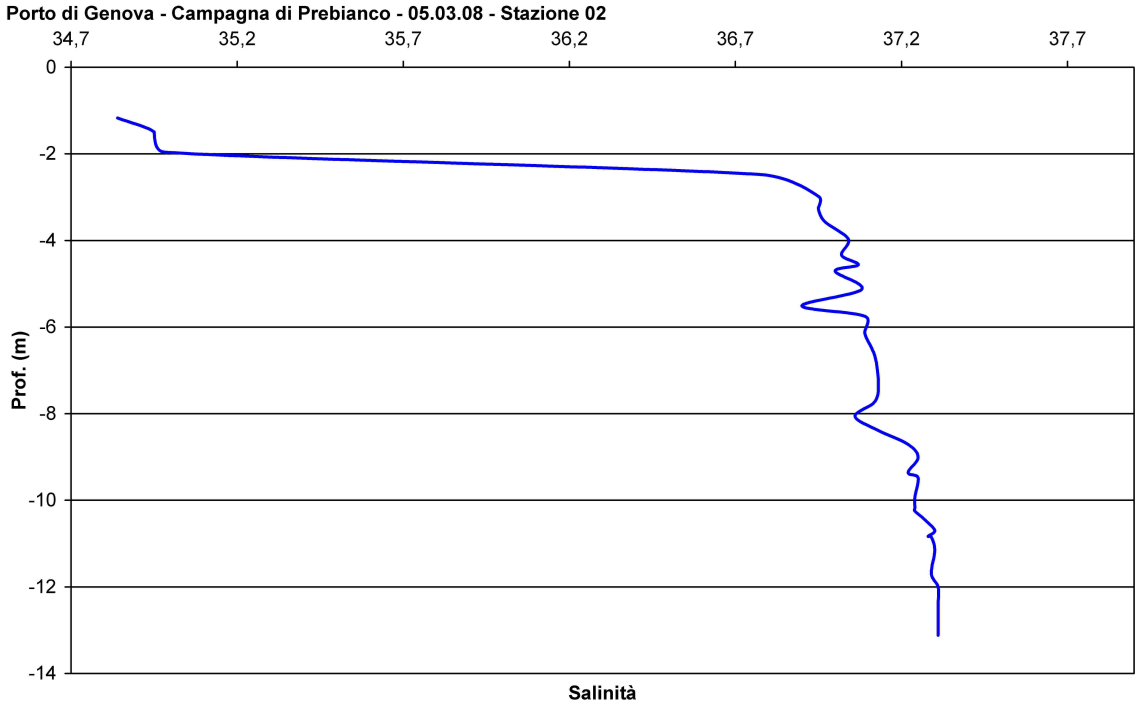


Fig. 4.1.8 - Stazione 2 – Prebianco – 05.03.08 – Profilo di salinità.

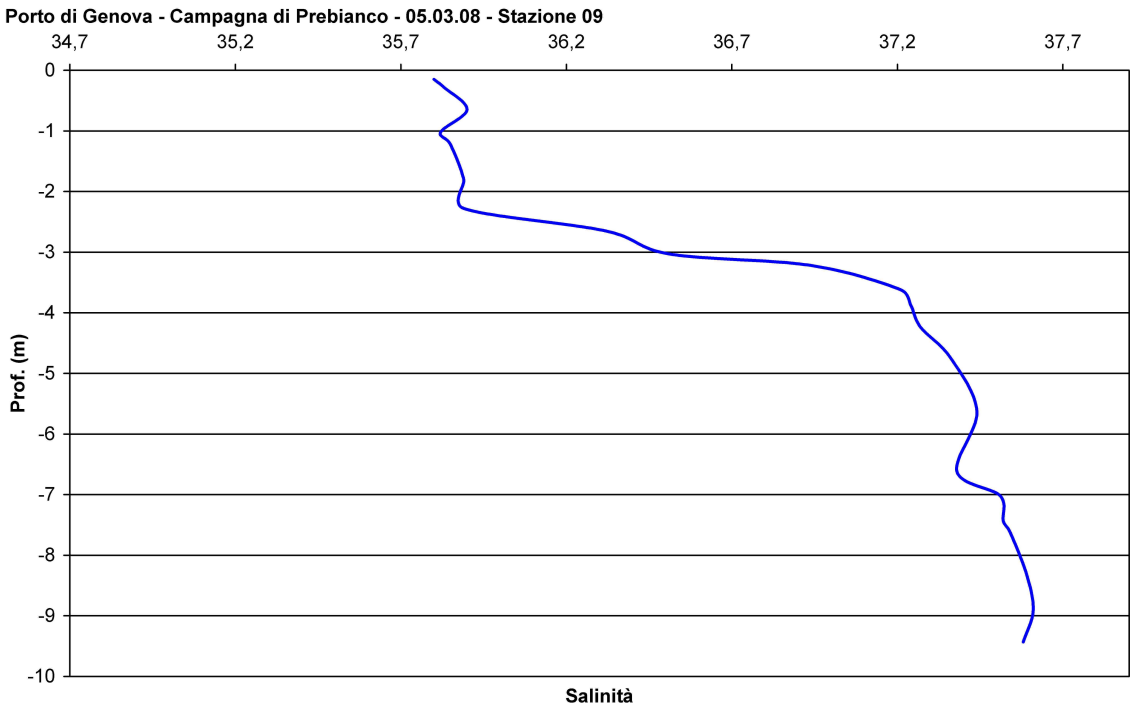


Fig. 4.1.9 - Stazione 9 – Prebianco – 05.03.08 – Profilo di salinità.

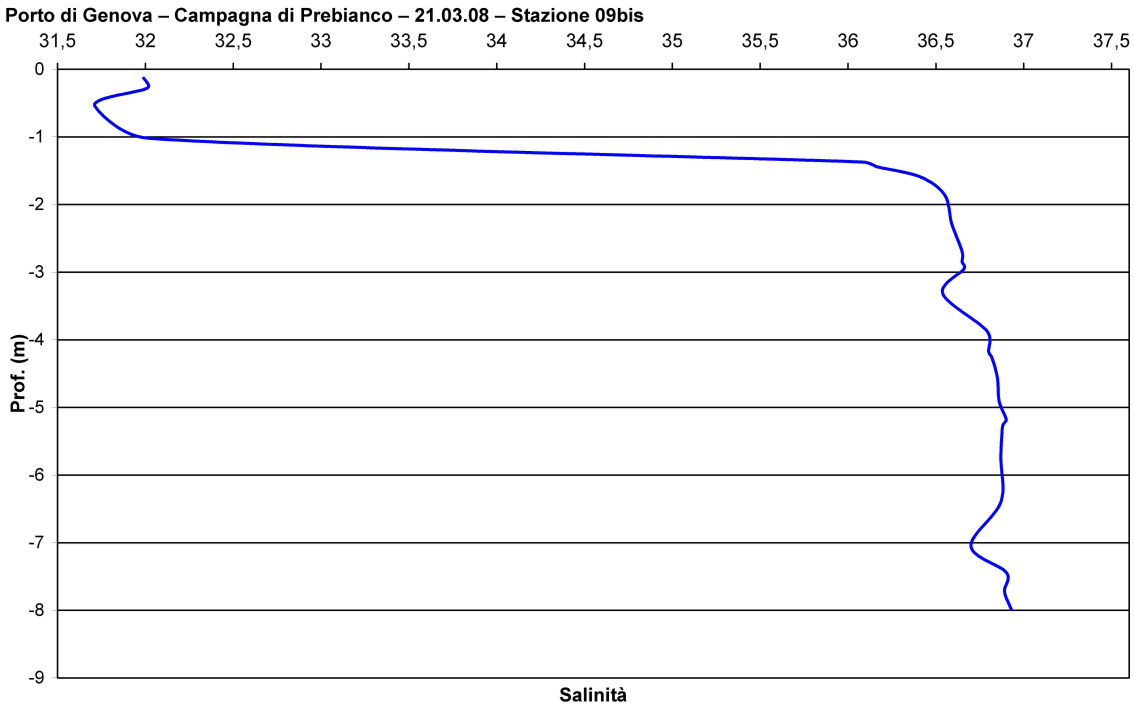


Fig. 4.1.10 - Stazione 9bis – Prebianco – 21.03.08 – Profilo di salinità.

Alla foce del torrente Bisogno si è registrata la presenza di una massa superficiale meno salina, meno calda e più torbida di quelle circostanti.

Rispetto alla variazione di salinità riscontrata alla foce del Polcevera ($\Delta \sim 5$), quella del Bisagno è meno evidente ($\Delta \sim 1.5$-2). In particolare il 14 febbraio questa si estendeva per

tutta l'area antistante la foce, andando a coinvolgere le stazioni 16, 21 ed anche il transetto 3-3l.

In condizioni di mare mosso con fondazione da scirocco si è notato che la massa torbida era schiacciata sulla costa e spinta ad entrare nel porto.

Purtroppo il 5 febbraio (giorno preceduto da piogge) non è stato possibile campionare nella stazione 16-21, per cui non si è potuto determinare l'entità della massa d'acqua trasportata a mare dal Bisagno e l'influenza che il forte vento da NE-N aveva su di essa. Nelle figure 4.1.11-4.1.13 riportiamo alcuni esempi in cui è evidenziata la massa d'acqua superficiale derivante dal torrente Bisagno.

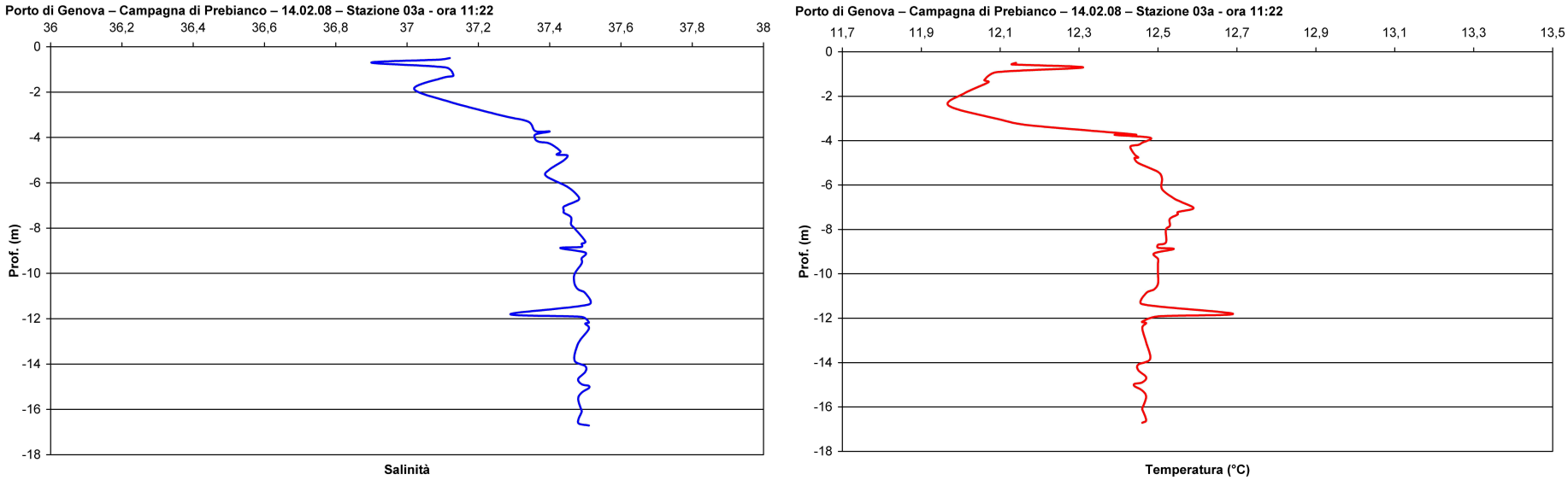
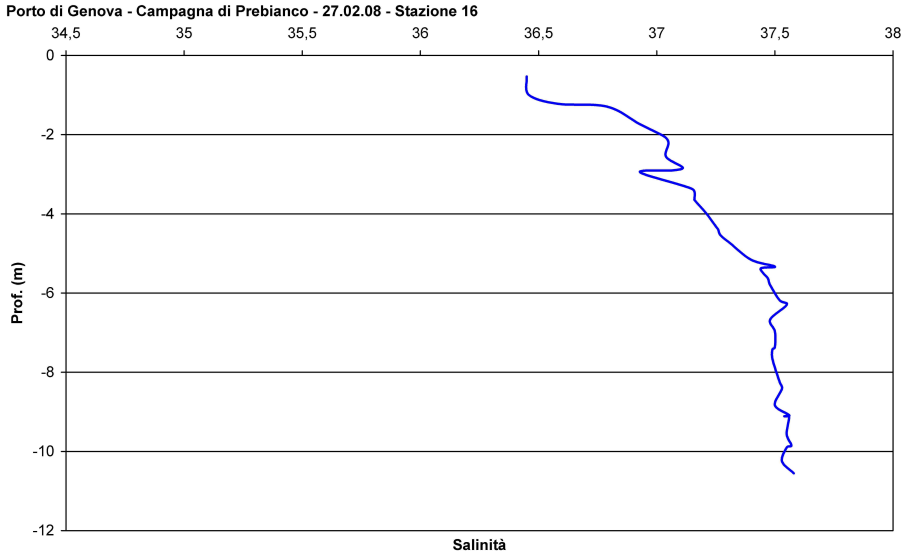
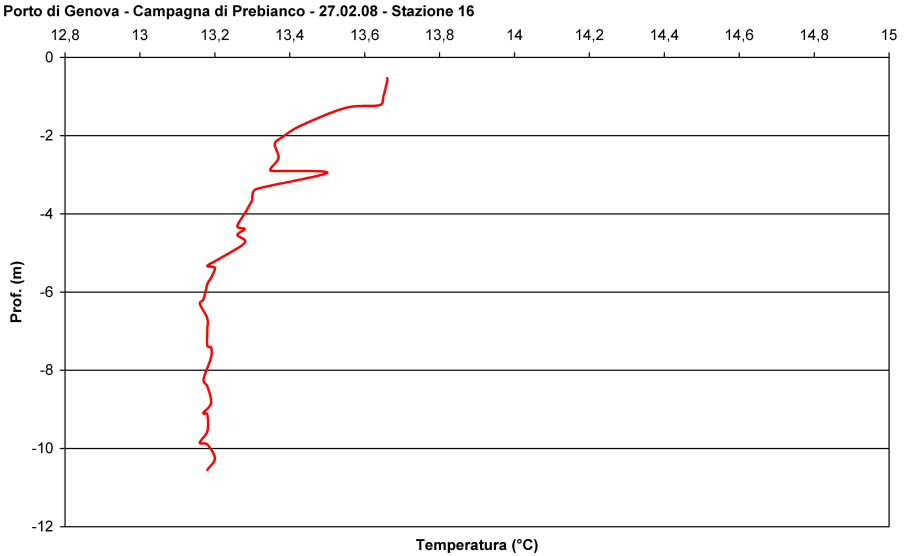


Fig. 4.1.11 - Stazione 3a – Prebianco – 14.02.08 – Profili di salinità e temperatura (°C).





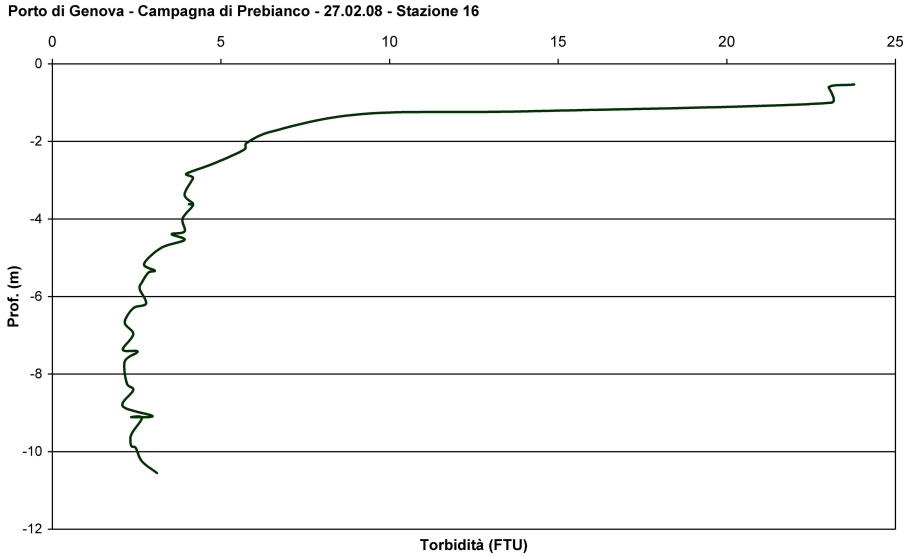


Fig. 4.1.12 - Stazione 16 – Prebianco – 27.02.08 – Profili di salinità, temperatura (°C) e torbidità (FTU).

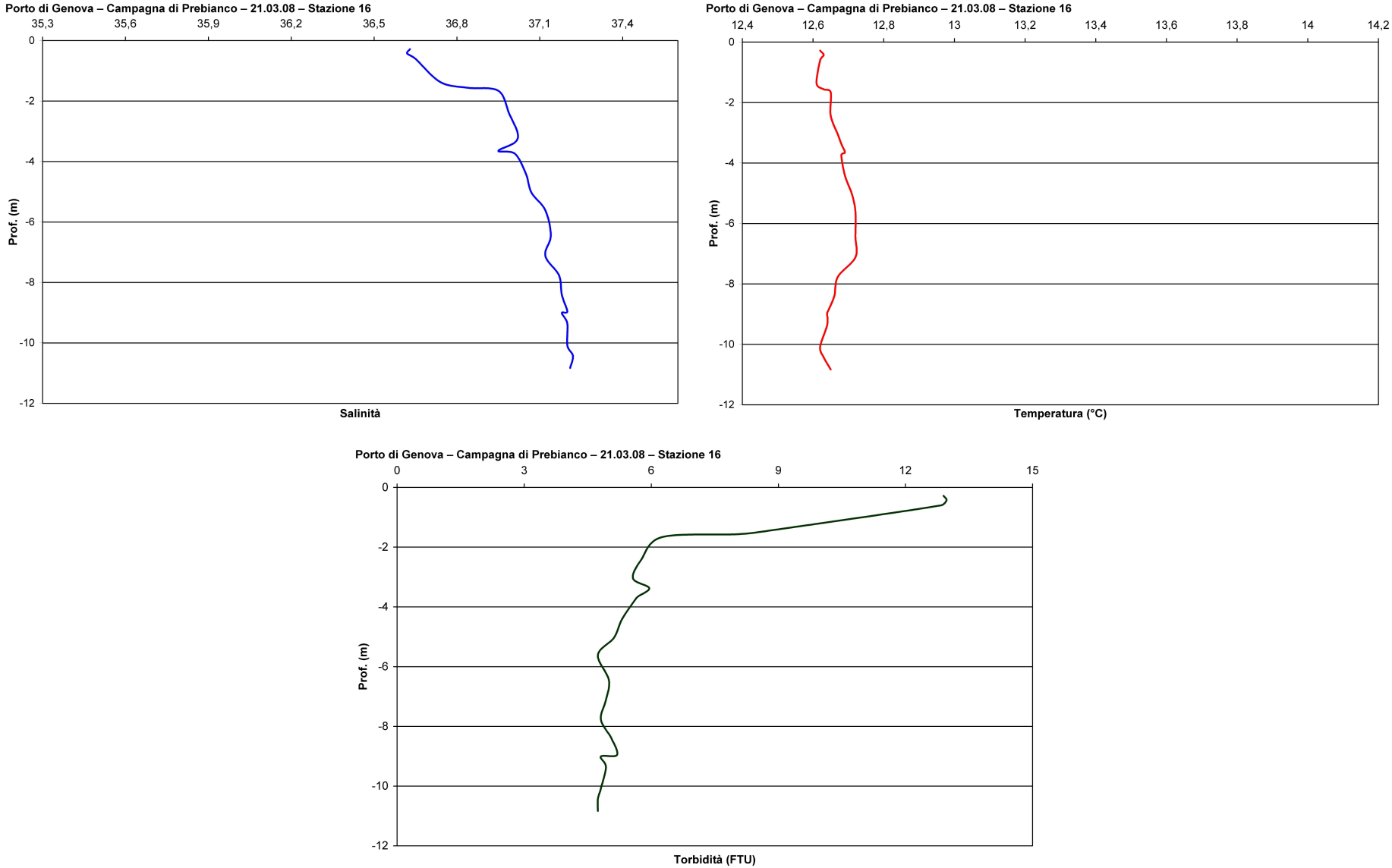


Fig. 4.1.13 - Stazione 16 – Prebianco – 21.03.08 – Profili di salinità, temperatura (℃) e torbidità (FTU).

Valori relativamente bassi di salinità si sono registrati anche all'interno della Darsena dove sfociano numerosi rii e reti fognarie (Figg. 4.1.14 e 4.1.15).

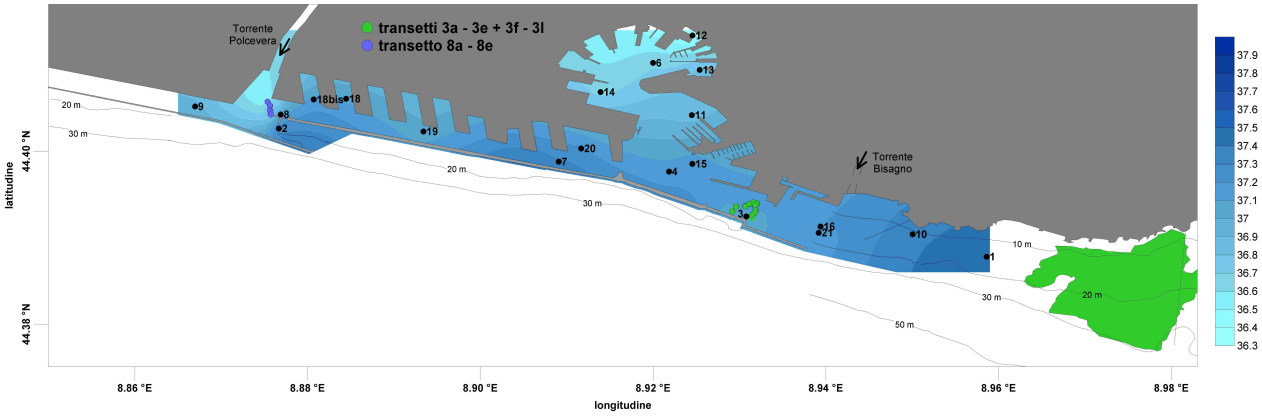


Fig. 4.1.14 – Distribuzione orizzontale della salinità nello strato superficiale – Prebianco – 14.02.08.

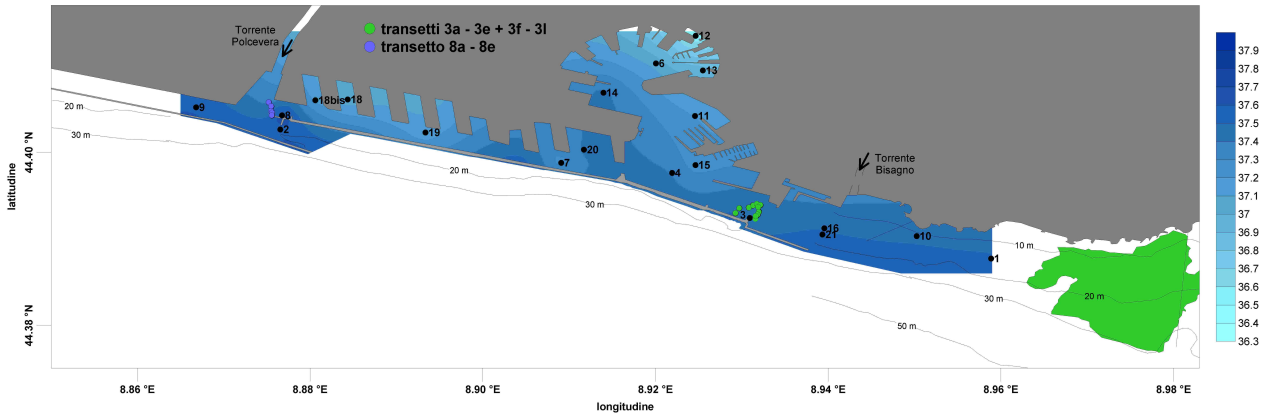


Fig. 4.1.15 – Distribuzione orizzontale della salinità nello strato di fondo – Prebianco – 14.02.08.

Riportato in figura 4.1.16 il diagramma TS complessivo delle misure effettuate durante le cinque giornate di campionamento.

Risultano evidenti le variazioni riscontrate nelle varie giornate (colori diversi) e quindi il tasso di variabilità in questo bacino artificiale che risulta ben chiaro per le misure di salinità che sono quasi tutte comprese tra 36 e 37 con l'evidenza delle acque apportate dai torrenti.

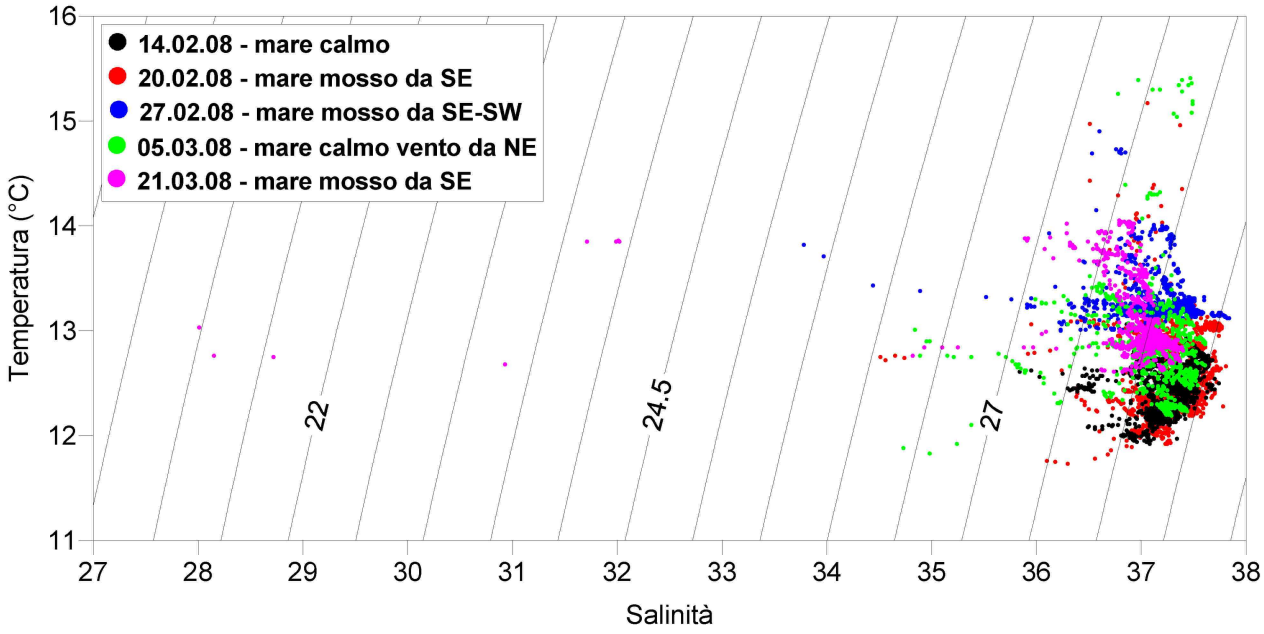


Fig. 4.1.16 - Diagramma θ/S (temperatura/salinità) dei campioni delle cinque campagne effettuate.

4.2 CARATTERISTICHE DINAMICHE DELLE CORRENTI

Dalle misure effettuate tramite l'ADCP, si è potuto notare che nella parte più interna dell'area portuale, indipendentemente dalle condizioni meteo-marine, direzione ed intensità delle correnti sono notevolmente influenzate dalla complicata geometria dell'area, caratterizzata dalla presenta di moli e calate di diversa forma, grandezza ed orientamento.
Il risultato che si ottiene è composto da una serie di vettori di corrente orientati in tutte le direzioni con diverse intensità, come nel dettaglio di figura 4.2.1 riferito alle correnti misurate il 21 marzo (per ragioni grafiche i vettori sono stati amplificati per riportare anche quelli di minore entità). Si può notare che i vettori di maggiore intensità tendono a orientarsi verso la parte esterna dell'area portuale mentre sono quasi inesistenti i flussi diretti verso l'area più interna del porto e questo induce un ricambio limitato e lento in questa cella di circolazione con il risultato di creare un'area confinata che è stata resa evidente dal contenuto in ossigeno. Questa area già in condizioni di forte sofferenza potrebbe essere condizionata pesantemente dall'attività di dragaggio.



Fig. 4.2.1 – Vettori di corrente ottenuti dai dati ADCP e visualizzati in Google Earth – 2.5 m - Prebianco - 21.03.05 (la lunghezza della frecce, pur amplificata per ragioni grafiche, è indicativa della velocità della corrente).

In presenza di vento e mare da scirocco si sono registrate, nei primi metri di massa d'acqua superficiale, correnti dirette parallelamente alla costa verso ponente e quindi entranti nel Porto dalla Bocca di Levante e fluenti da quella di Ponente in direzione del Canale di Calma. Queste correnti risultano avere intensità ≤ 10 cm s^{-1}. In particolare si è riscontrato che le acque del torrente Bisagno, cariche di sedimento sospeso, vengono spinte all'interno del Porto attraverso la Bocca di Levante, e che le acque del torrente Polcevera vengono inizialmente trattenute all'interno della Diga Foranea per poi fluire lungo il Canale di Calma dell'Aeroporto (Fig. 4.2.2).

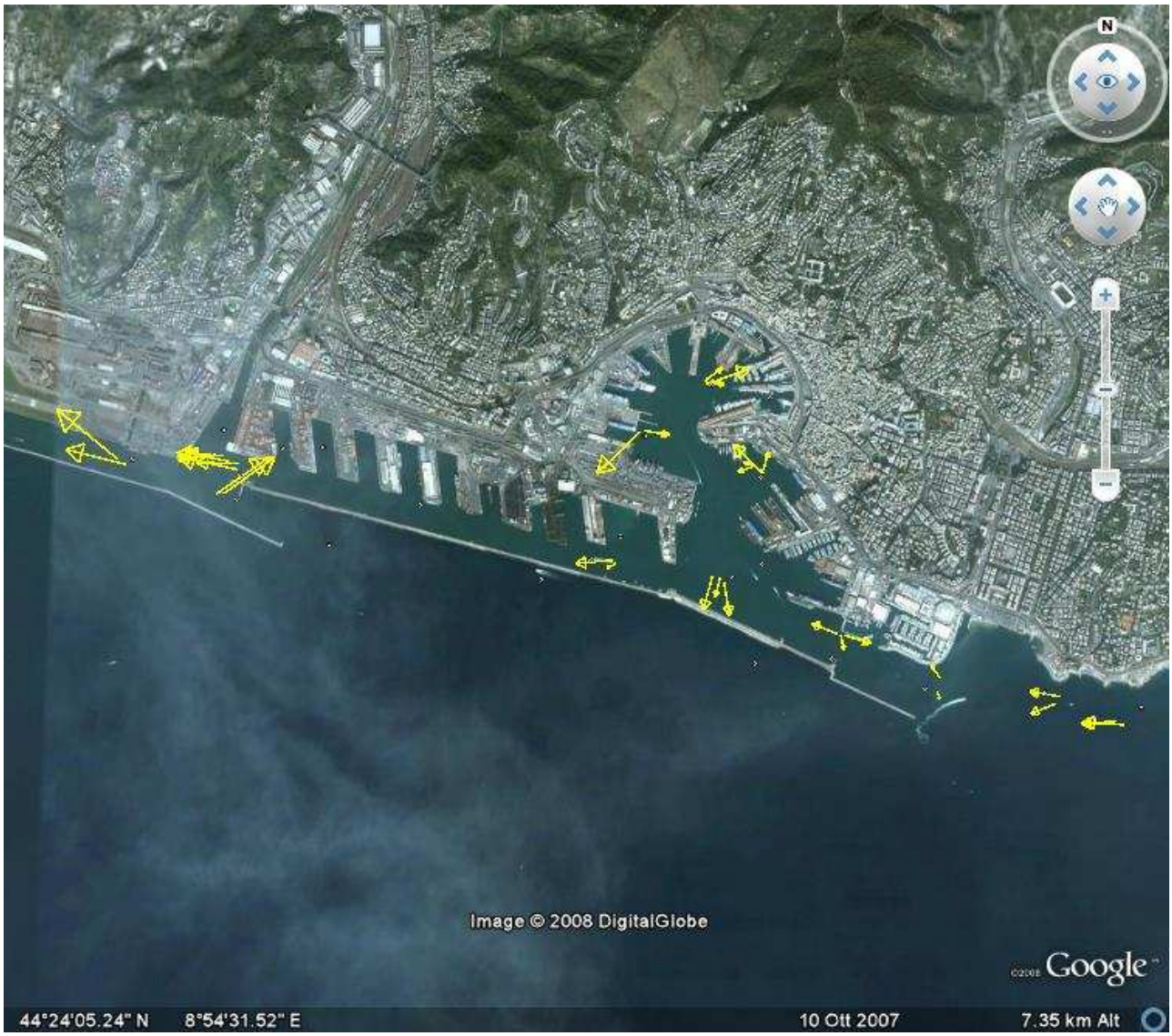


Fig. 4.2.2 – Vettori di corrente ottenuti dai dati ADCP e visualizzati in Google Earth – 2.5 m – Prebianco – 27.02.08 (la lunghezza della frecce, pur amplificata per ragioni grafiche, è indicativa della velocità della corrente).

Le correnti degli strati in prossimità del fondo tendenzialmente seguono la direzione di quelle superficiali, mentre in alcuni casi hanno tendenza opposta come per esempio nella stazione 2, alla Bocca di Ponente, dove in superficie la direzione predominante è S, mentre sul fondo è NE-NW (Figg. 4.2.3 e 4.2.4).

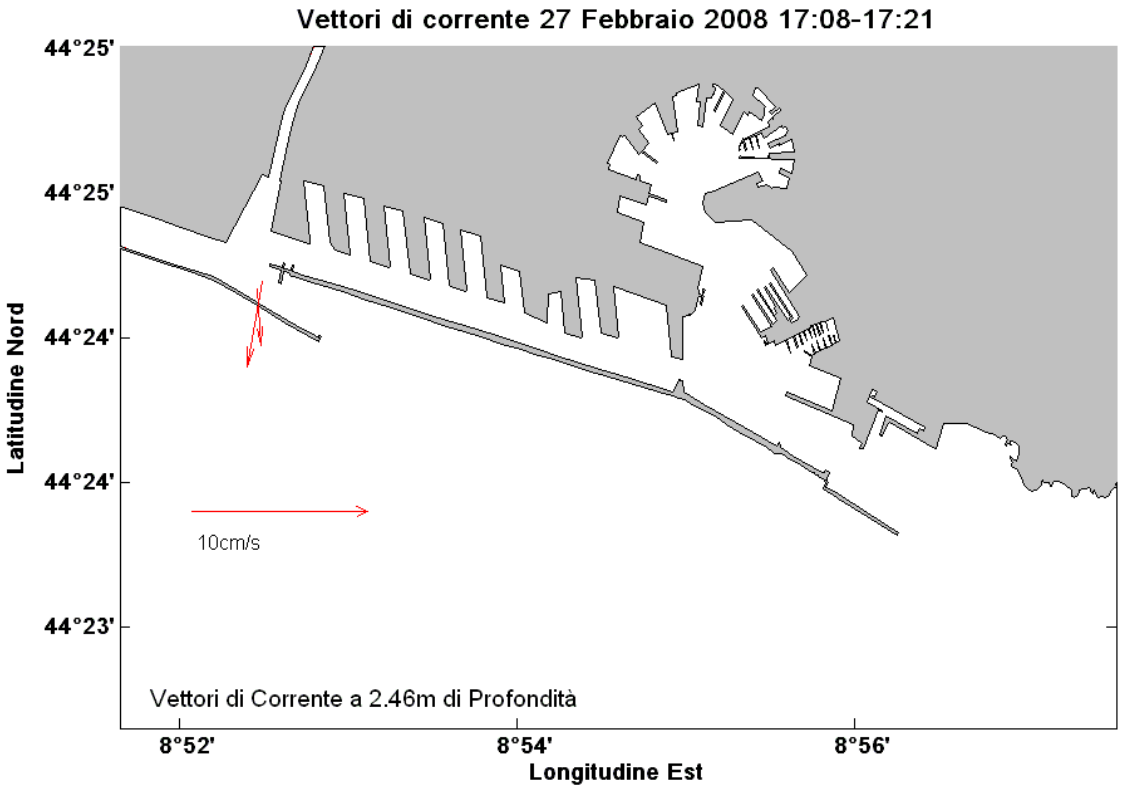


Fig. 4.2.3 – Dettaglio delle correnti in superficie nella stazione 2 – Prebianco 27.02.08.

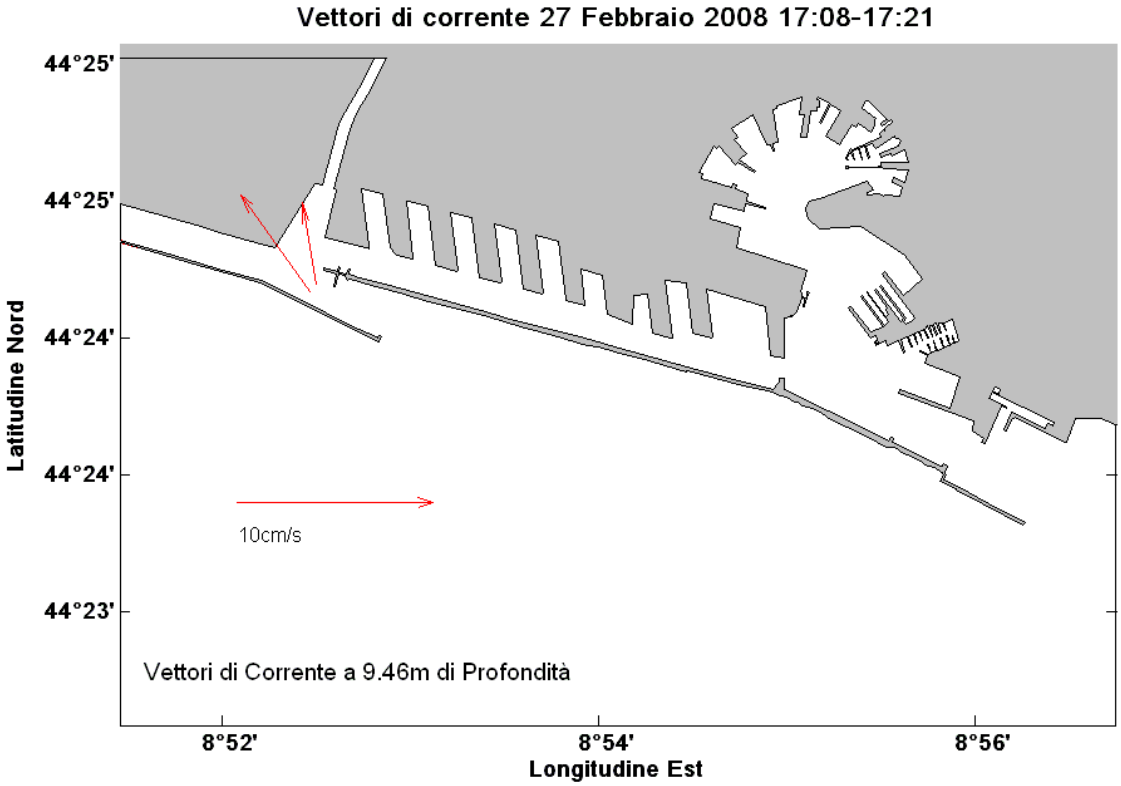


Fig. 4.2.4 – Dettaglio delle correnti sul fondo nella stazione 2 – Prebianco 27.02.08.

In presenza di vento da N–NE sono state registrate correnti che tendenzialmente sono dirette a Sud-SudOvest nel settore occidentale del porto; nel settore orientale la massa d'acqua viene spinta verso la parte interna della diga foranea e quindi fluisce nel tratto di levante del Canale fini ad uscire dall'area portuale; in uscita dalla Bocca di Levante si è registrata una corrente diretta verso SudEst. Di conseguenza la massa d'acqua derivante dal Bisagno non è spinta all'interno del Porto, ma viene dispersa al largo.



Fig. 4.2.3 – Vettori di corrente ottenuti dai dati ADCP e visualizzati in Google Earth – 2.5 m – Prebianco – 05.03.08 (la lunghezza della frecce, pur amplificata per ragioni grafiche, è indicativa della velocità della corrente).

4.3 CARATTERISTICHE NATURALI DEL PARTICELLATO

I valori di torbidità nella colonna d'acqua sono risultati relativamente costanti intorno a 1.5-4 FTU (Fig. 4.3.1) e sono dovuti alla presenza in sospensione di particelle di piccole dimensioni. Questa caratteristica dell'acqua all'interno del porto ha come conseguenza che ai valori di FTU riscontrati corrispondono valori di TPM in mg l^{-1} poco più alti di quanto riscontriamo in in condizioni di mare aperto. Al contrario, a valori in FTU elevati, riscontrati durante gli esperimenti "Grima" che hanno misurato la risospensione indotta, corrispondono valori in mg l^{-1} molto elevati poiché le manovre di ormeggio dei traghetti inducono una risospensione anche di un gran numero di particelle di non grande dimensione ma molto pesanti. Questo ha come conseguenza che la concentrazione di materiale nelle acque può rapidamente passare da valori bassi a valori altissimi.

In condizioni "normali" nelle acque del porto solo in prossimità della foce del torrente Bisagno si riscontrano valori relativamente alti di FTU nello strato superficiale, con un picco di circa 24 FTU registrato il 27 febbraio (Fig. 4.3.2).

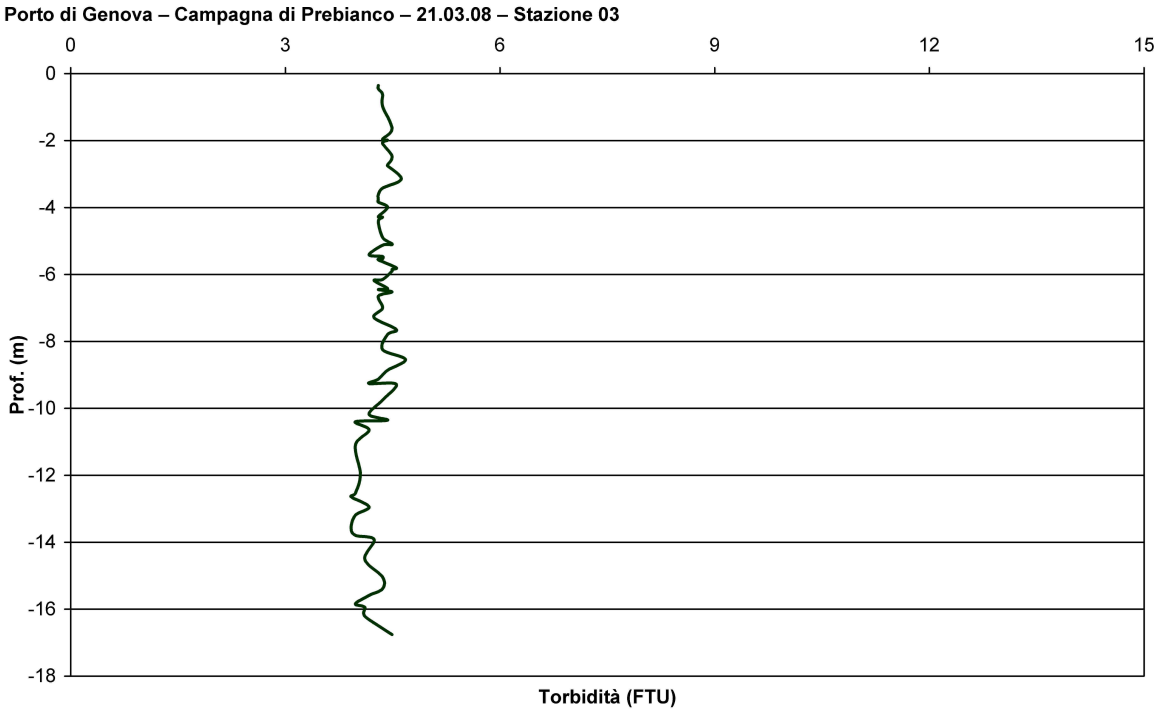


Fig. 4.3.1 - Stazione 3 – Prebianco – 21.03.08 – Profilo di torbidità (FTU).

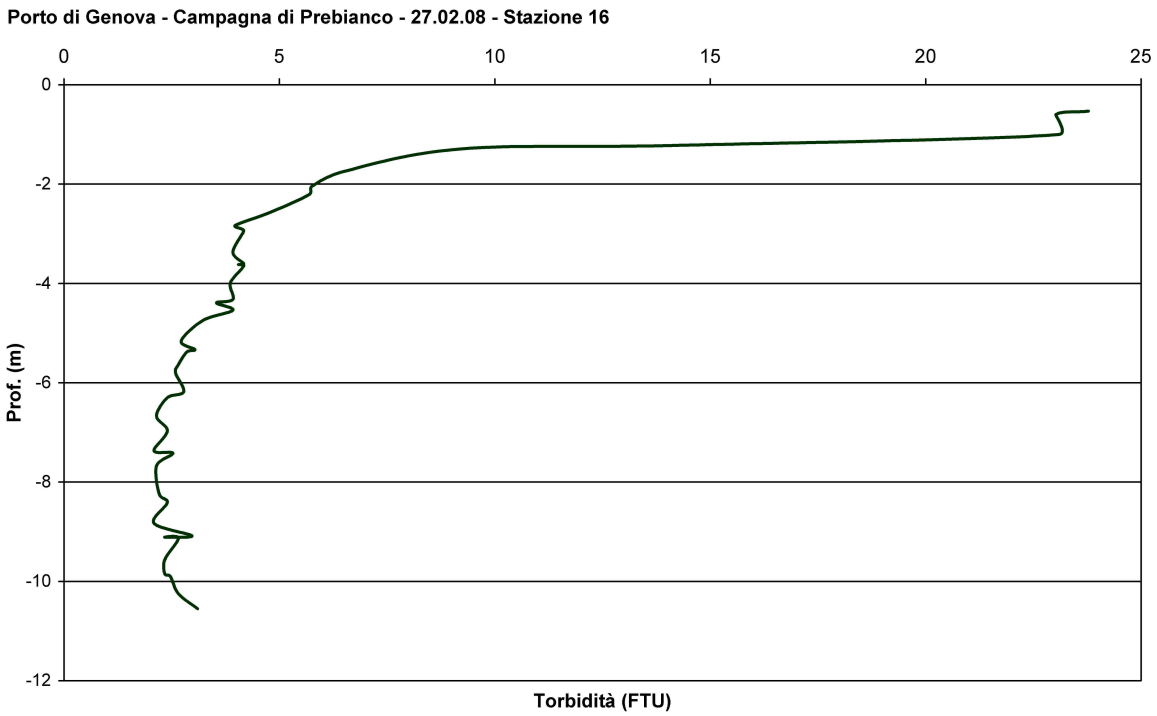


Fig. 4.3.2 - Stazione 16 – Prebianco – 27.02.08 – Profilo di torbidità (FTU).

La situazione tipica che si rileva nell'intera area portuale è quella rappresentata nelle distribuzioni orizzontali del 27 febbraio, dove chiaramente si vede che è presente una omogeneità in tutta l'area portuale nei valori sia nello strato superficiale sia in quello di fondo, con un lieve aumento nella stazione 14 (~ 10 FTU), che risente nello strato superficiale degli apporti del Bisagno (Figg. 4.3.3 e 4.3.4).

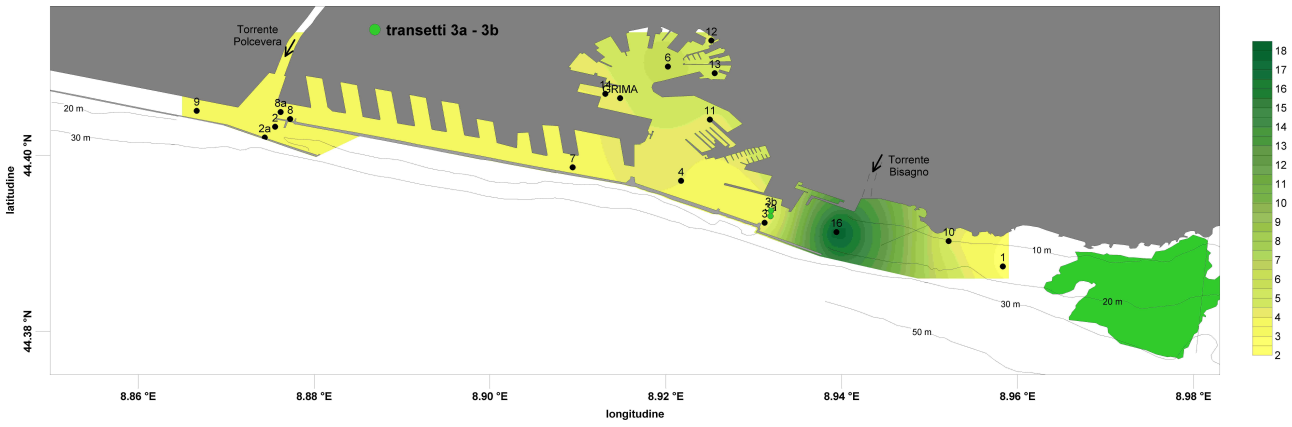


Fig. 4.3.3 – Distribuzione orizzontale della torbidità (FTU) nello strato superficiali Prebianco – 27.02.08.

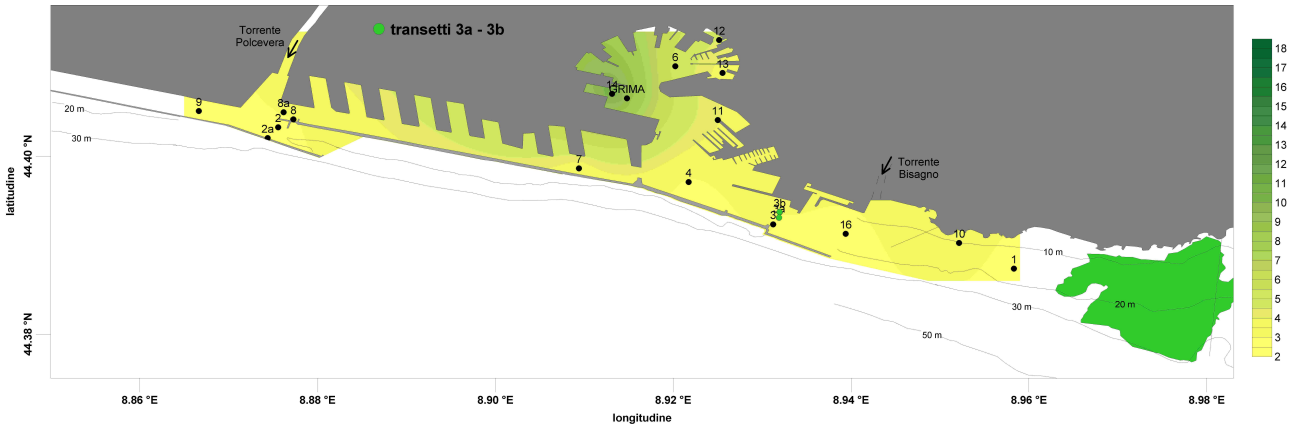


Fig. 4.3.4 – Distribuzione orizzontale della torbidità (FTU) nello strato di fondo Prebianco – 27.02.08.

Si è notato che in condizioni di vento da SE e ondazione da scirocco la plume superficiale derivante dal Bisagno viene spinta ad entrare all'interno del porto fluendo lungo le banchine della bocca di levante, come si può vedere anche nella fotografia sotto riportata scattata durante i campionamenti (Fig. 4.3.5).



Fig. 4.3.5 – Plume del Bisagno entrante nel Porto spinta dallo scirocco (la linea tratteggiata evidenzia le due masse d'acqua).

L'analisi dimensionale delle particelle ha mostrato numeri di particelle per litro "normalmente" bassi, compresi tra 0.2 e 1.6 10^6, nei giorni 5 e 21 marzo, mentre numeri relativamente più alti il giorno 27 febbraio, compresi tra 3.4 e 13.0 10^6 particelle l^{-1}.

Nel campione d'acqua prelevato in prossimità della foce del Bisagno il giorno 27 febbraio (stazione 21) si sono trovate 32.5 10^6 particelle l^{-1}, valore superiore a quelli trovati nei campioni prelevati nella nuvola torbida sollevata dai traghetti, che non superavano i 20.2 10^6 particelle l^{-1}. Questo ci indica che nell'area antistante il Bisagno si verificano spesso situazioni simili a quelle indotte da mezzi nautici in attività all'interno del porto.

Riportiamo di seguito i grafici relativi all'analisi dimensionale del campione prelevato nello strato superficiale della stazione 21 posta nella plume del Bisagno (Fig. 4.3.6 numero di particelle e 4.3.7 volume delle particelle).

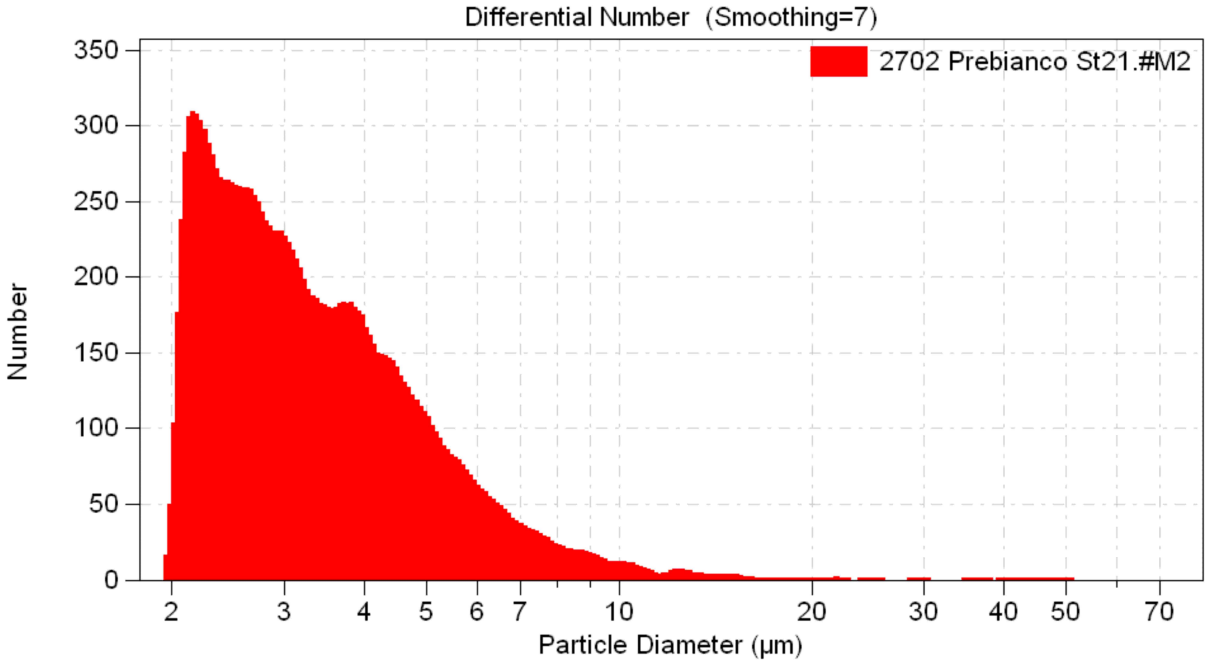


Fig. 4.3.6 – Grafico del numero di particelle presenti nel campione di acqua superficiale, preso alla foce del Bisagno – Stazione 21 – Prebianco – 27.02.08.

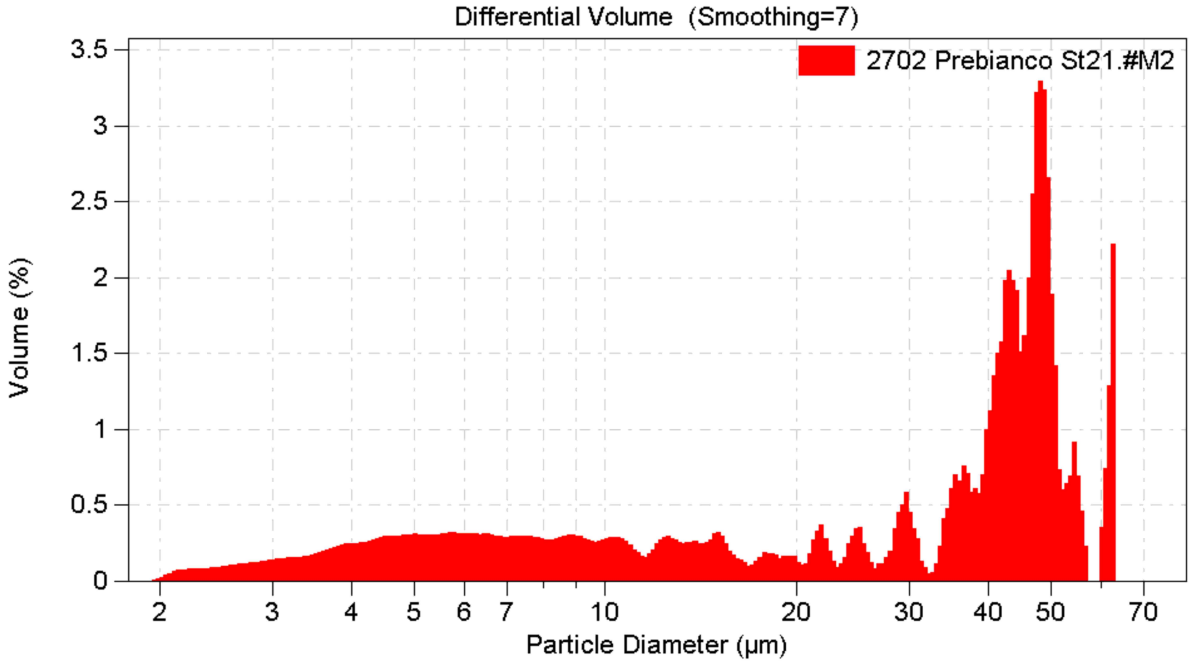


Fig. 4.3.7 – Grafico del volume % delle particelle presenti nel campione di acqua superficiale, preso alla foce del Bisagno – Stazione 21 – Prebianco – 27.02.08.

4.4 CARATTERIZZAZIONE VERTICALE DELLE MASSE D'ACQUA

Per meglio evidenziare la presenza del materiale particellato nell'ambito portuale, sono stati realizzati profili verticali lungo una ipotetica linea congiungente le due stazioni più lontane (St. 1 e 9) passando per il canale centrale del porto (Fig. 4.4.1).

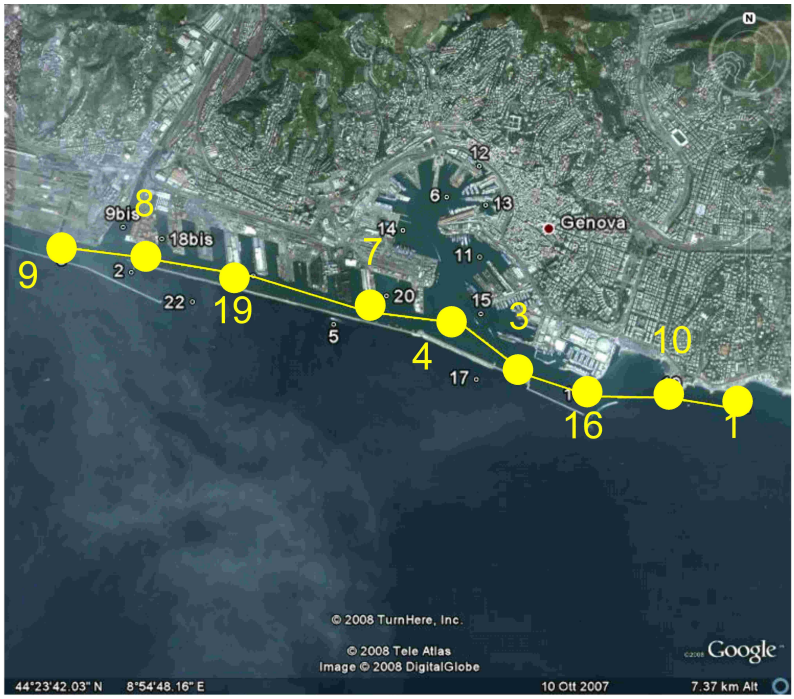


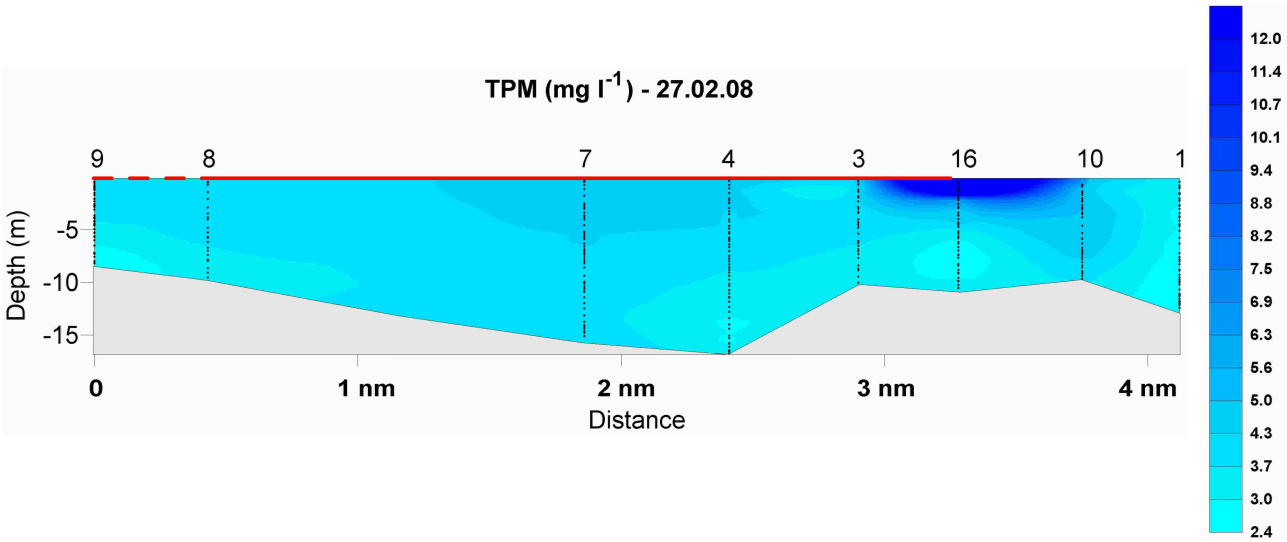
Fig. 4.4.1 - Localizzazione del profilo e delle stazioni di campionamento.

I profili sono stati effettuati in tre diverse condizioni meteo-marine per analizzare il comportamento del particellato in queste differenti situazioni; nelle figure che seguono abbiamo esposto i risultati.

27.02.2008 - Vento da SE in rotazione da SW.

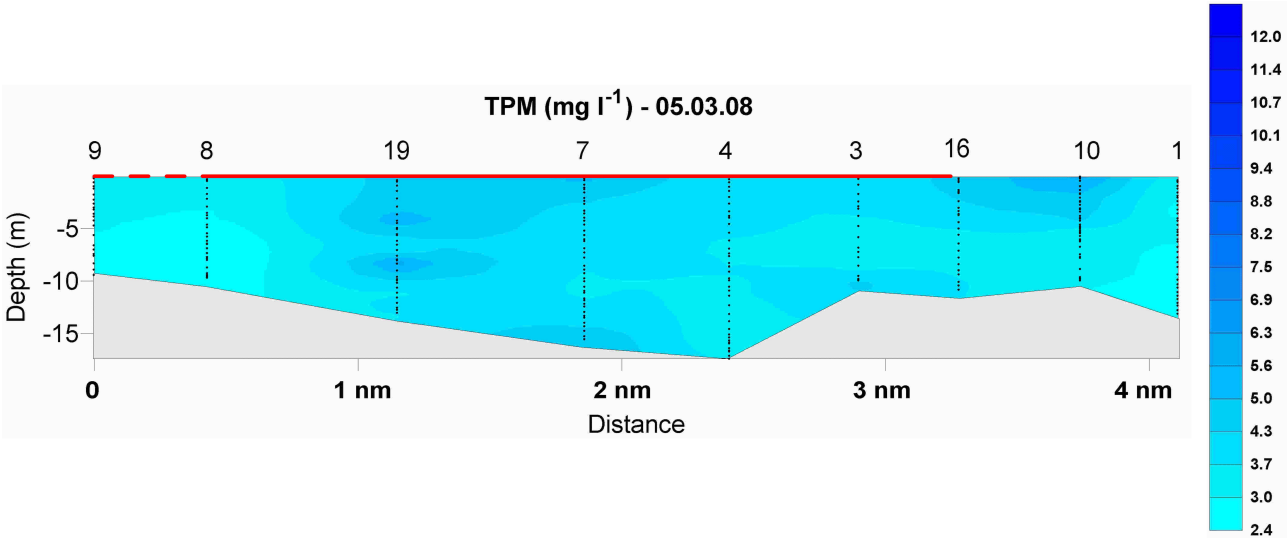
Il profilo (lungo circa 4 miglia nautiche) evidenzia come la plume del Bisagno (Stazione 16, al di fuori della diga foranea, evidenziata con la linea rossa), sia caratterizzata da elevate quantità di TPM (10-12 mg l^{-1}), tenda ad entrare nel porto ed a restare confinata in superficie. Le altre stazioni evidenziano valori di TPM relativamente bassi (compresi tra 2.4 e 5 mg l^{-1}).

In prossimità delle stazioni 9 e 8 (Foce del Polcevera) non è evidente la presenza di una plume (la linea rossa è tratteggiata perché in quel punto è localizzata l'entrata di ponente del porto.



05.03.2008 - Vento da NE in rotazione da N.

In questa situazione di vento la distribuzione del TPM è abbastanza uniforme. Non sono presenti accumuli di alcun tipo e la plume del Bisagno non è particolarmente pronunciata e si sposta verso E, al di fuori del porto.

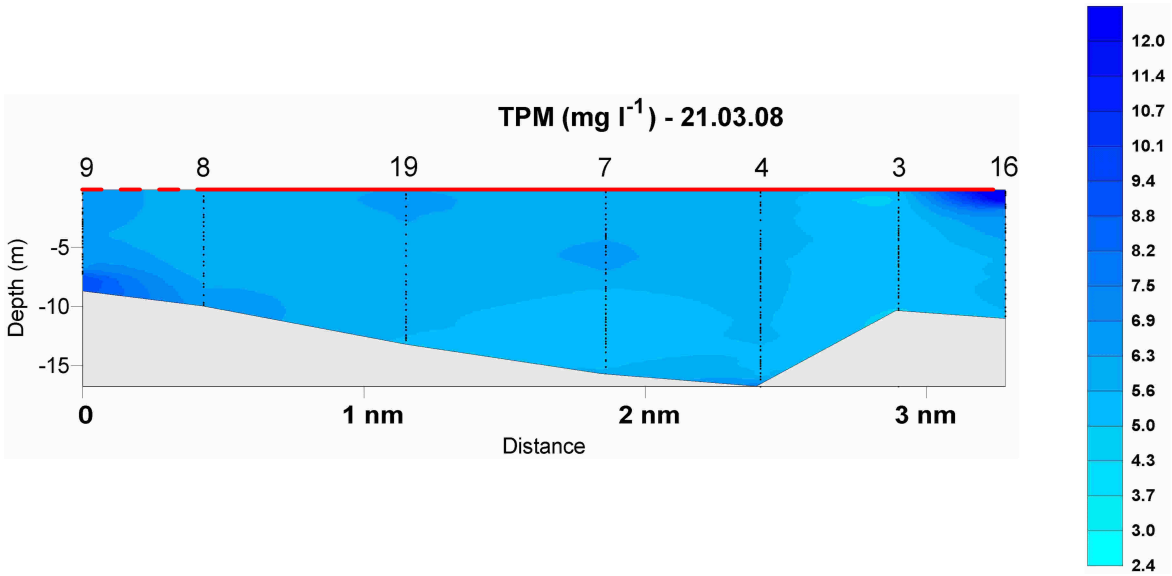


21.03.2008 - Vento da SE.

Per quanto riguarda questo profilo verticale, non sono stati eseguiti campionamenti sulle stazioni esterne alla diga foranea a causa delle decisamente avverse condizioni meteo-marine tipiche del mare molto mosso da scirocco.

Il profilo mostra comunque una maggiore concentrazione di TPM nelle acque, rispetto ai risultati precedenti, con valori maggiori di 5.6 mg l^{-1}; è presente, come per il primo profilo di questa serie, la plume del Bisagno che fluisce nella parte estrema del porto.

Anche nella zona di ponente è evidente una plume di fondo (generata dal Polcevera) che non può fluire all'esterno a causa della conformazione dell'ingresso di ponente del porto.



Oltre alle considerazioni sulla concentrazione di Particellato nelle acque si può anche notares che, se escludiamo gli apporti saltuari dei torrenti, la situazione è nel complesso omogenea si dal punto di vista spaziale sia lungo la colonna d'acqua e questo, insieme ai risultati riscontrati con l'indagine sulle caratteristiche fisiche della massa d'acqua ci permette di ottenere una corretta caratterizzazione della massa d'acqua utilizzando un solo campione che potrà essere posto ad una profondità intermedia.

4.5 CARATTERISTICHE, PERSISTENZA ED ESTENSIONE DELLA TORBIDA SOLLEVATA DA UN TRAGHETTO IN MANOVRA

Evidenziato il fatto che un traghetto in manovra nel porto riesce a sollevare una nuvola torbida che raggiunge la superficie, sono stati condotti esperimenti per caratterizzare la plume, e determinare l'area di estensione ed il tempo di rideposizione del sedimento. Questo ci è parso quanto di più vicino al dragaggio si potesse trovare per studiare la nuvola torbida indotta. Dopo il passaggio di un traghetto, si sono effettuate una serie di calate di CTD ravvicinate nel tempo, si è campionata l'acqua e si è proceduto a misurare correnti e particellato con l'ADCP fino alla conclusione dell'evento.

Durante le attività si è provveduto alla calibrazione del torbidimetro per la trasformazione in mg l^{-1} dei dati in FTU, questa nuova calibrazione è risultata necessaria poiché i sedimenti risospesi sono risultati nettamente più pesanti (forte contenuto di ossidi di ferro) di quelli riscontrati normalmente nelle acque portuali (Tab. 4.5.1.).

Torbidità (FTU)	TPM (mg l^{-1})
5	5,86
6	13,19
7	20,52
8	27,85
9	35,19
10	42,52
20	115,83
30	189,15
40	262,46
50	335,77
100	702,34
200	1435,48
300	2168,62

Tab. 4.5.1 – Tabella di conversione Torbidità-TPM (FTU-mgl^{-1}).

Dalle calate del CTD si è potuto determinare che la nuvola torbida non diffonde al di fuori dell'area coinvolta dalle manovre del traghetto, infatti anche con un minimo spostamento dell'imbarcazione dovuto allo scarroccio dal punto dove veniva individuata la torbida, il profilo della torbidità non segnalava cambiamenti rispetto alla "normale" torbidità riscontrata prima della creazione della nuvola (Figg. 4.5.1 e 4.5.2).

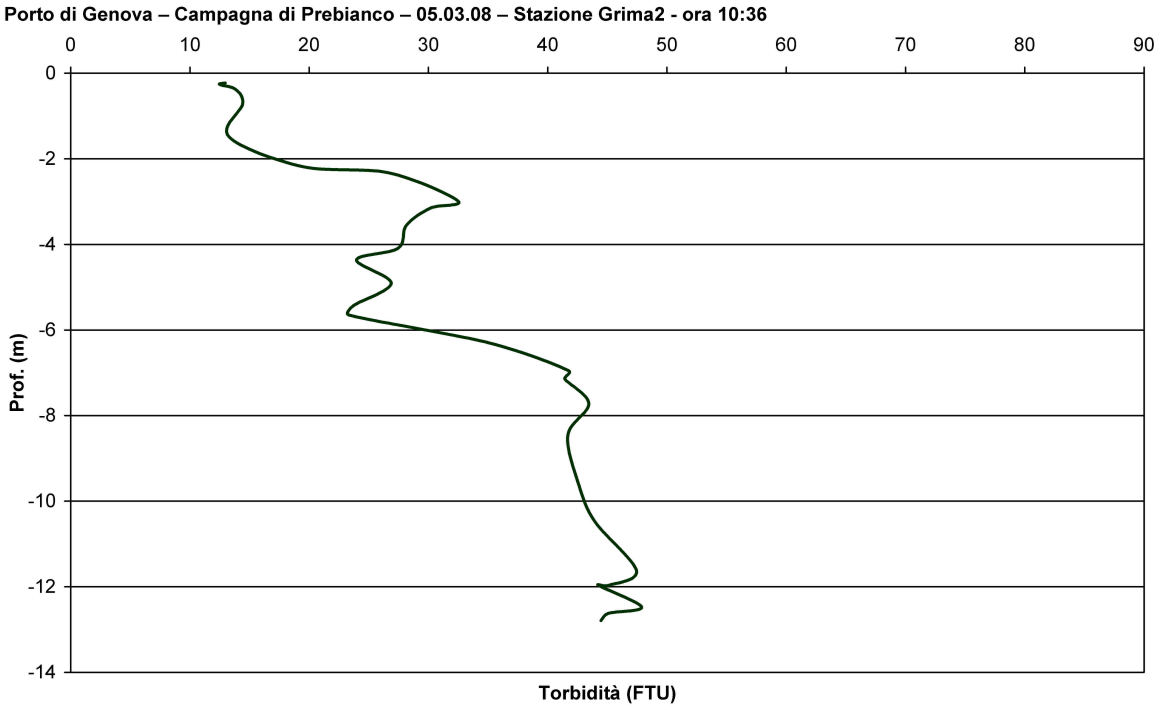


Fig. 4.5.1 - Stazione Grima2 – Prebianco – 05.03.08 – Profilo di torbidità (FTU).

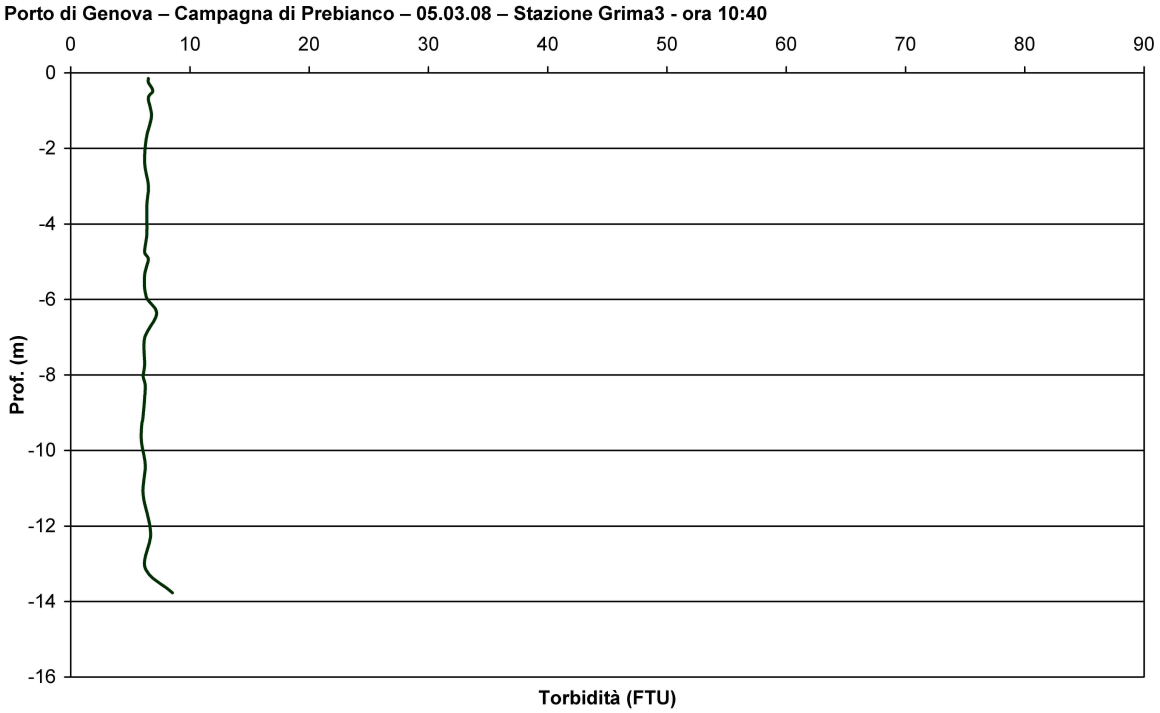
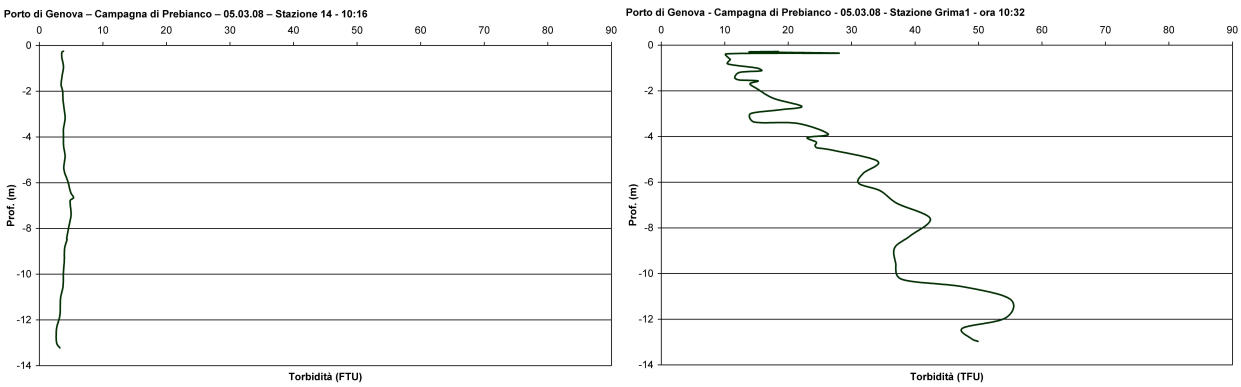


Fig. 4.5.2 - Stazione Grima3 – Prebianco – 05.03.08 – Profilo di torbidità (FTU).

Dai profili verticali di torbidità in sequenza ottenuti con le ripetute calate del CTD si può notare come la nuvola torbida scenda verso il fondo rapidamente e diminuisca fino quasi a scomparire dopo circa 20 minuti, riportando la situazione della colonna d'acqua a quella "normale". Riportiamo come esempio i profili eseguiti in sequenza dal torbidimetro il 05 marzo (Fig. 4.5.3).

Questa situazione è ben evidenziata nella sezione verticale ottenuta dall'unione dei profili di torbidità in successione temporale (Fig. 4.5.4).



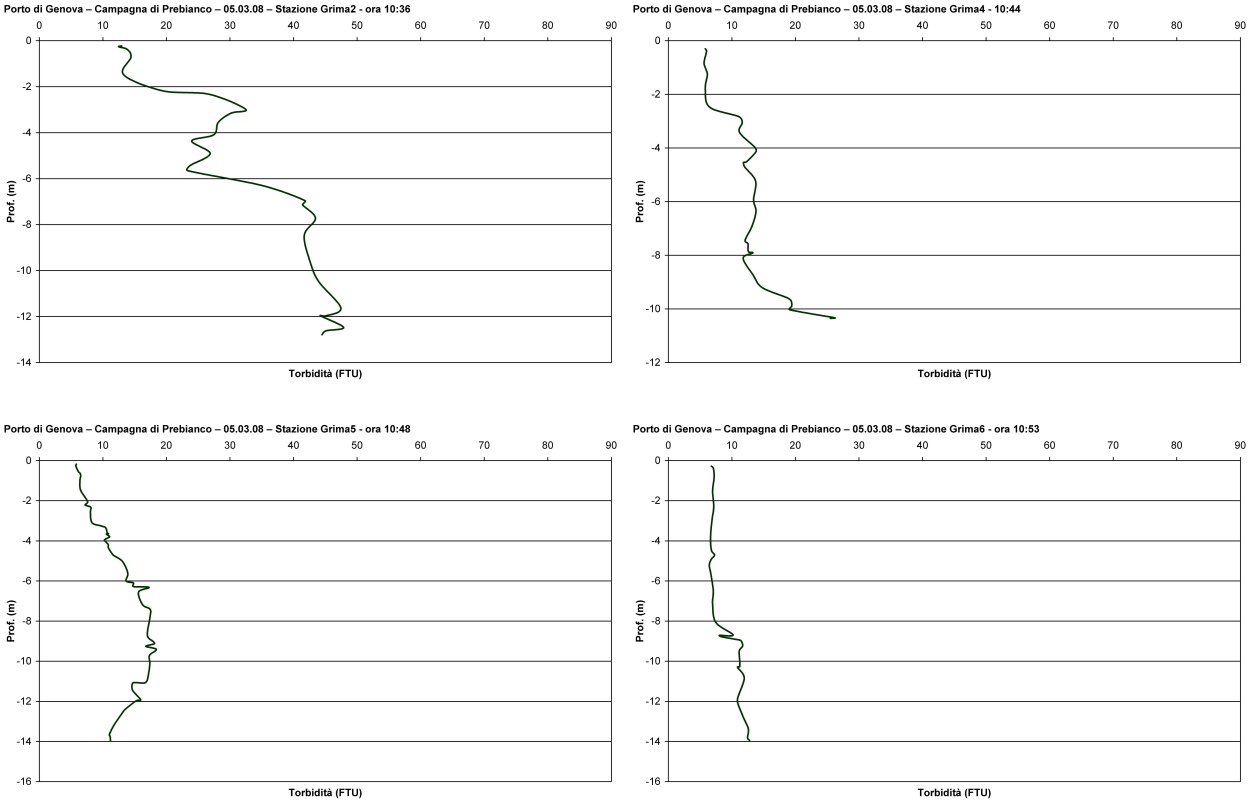


Fig. 4.5.3 - Sequenza di CTD nella stazione Grima dopo il passaggio di un traghetto (pescaggio ~7m) - Prebianco - 05.03.08

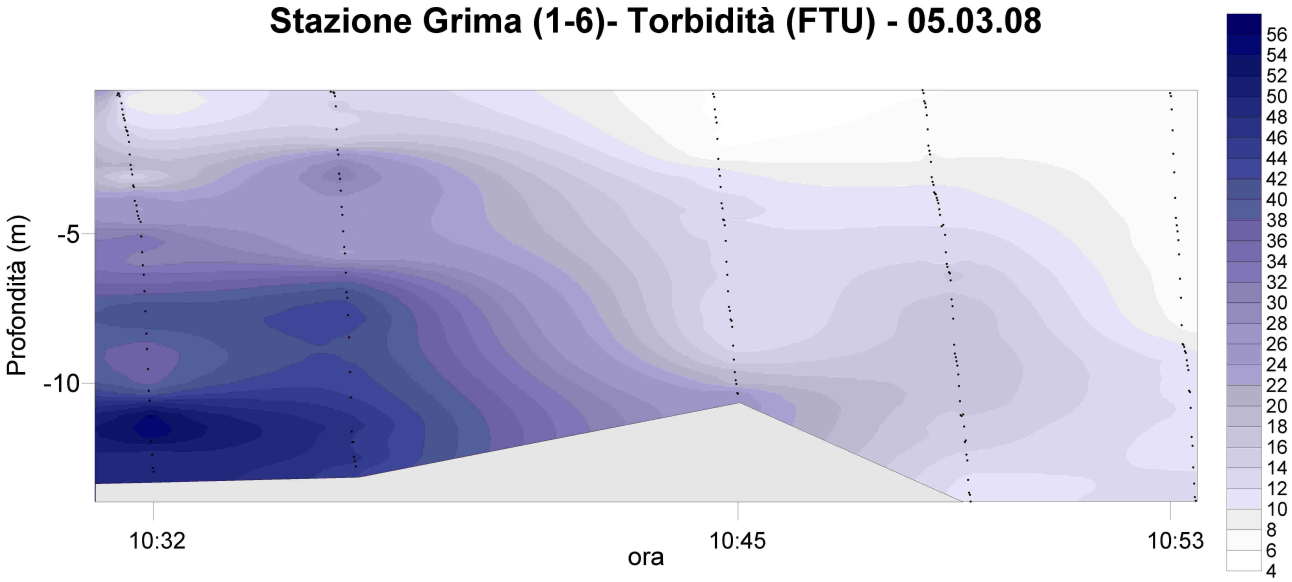


Fig. 4.5.4 – Sezione verticale nella stazione Grima – Prebianco – 5.03.08

Profilo di torbidità (FTU).

Alle 10,16 in tutto lo strato d'acqua risulta una concentrazione di circa 5 FTU e questo caratterizza il sito prima dell'evento che si verifica alle 10,32 con la creazione di una risospensione forte sul fondo con 50 FTU che rapidamente (in circa 4 minuti) tende ad

influenzare anche le acque soprastanti; da questo momento la risospensione comincia a sedimentare rapidamente e dopo altri 8 minuti le concentrazioni si sono praticamente dimezzate; alle 10,53 e quindi dopo una 21 minuti la colonna d'acqua mostra per i primi 8 metri (più superficiali) un ripristino delle condizioni iniziali mentre nella parte più profonda della colonna d'acqua ancora ancora si misurano 10 FTU che rapidamente diminuiranno fino a 5 FTU.

Abbiamo analizzato questo evento utilizzando strumentazione e metodica di analisi diversa ed abbiamo ottenuto lo stesso risultato con l'elaborazione, tramite SediView, delle misure effettuate dall'ADCP dalle 10:31 alle 10:43 per un periodo di tempo di 12 minuti. Il risultato ottenuto ci indica che in questo lasso di tempo la torbida risulta quasi completamente risedimentata (Fig. 4.5.5).

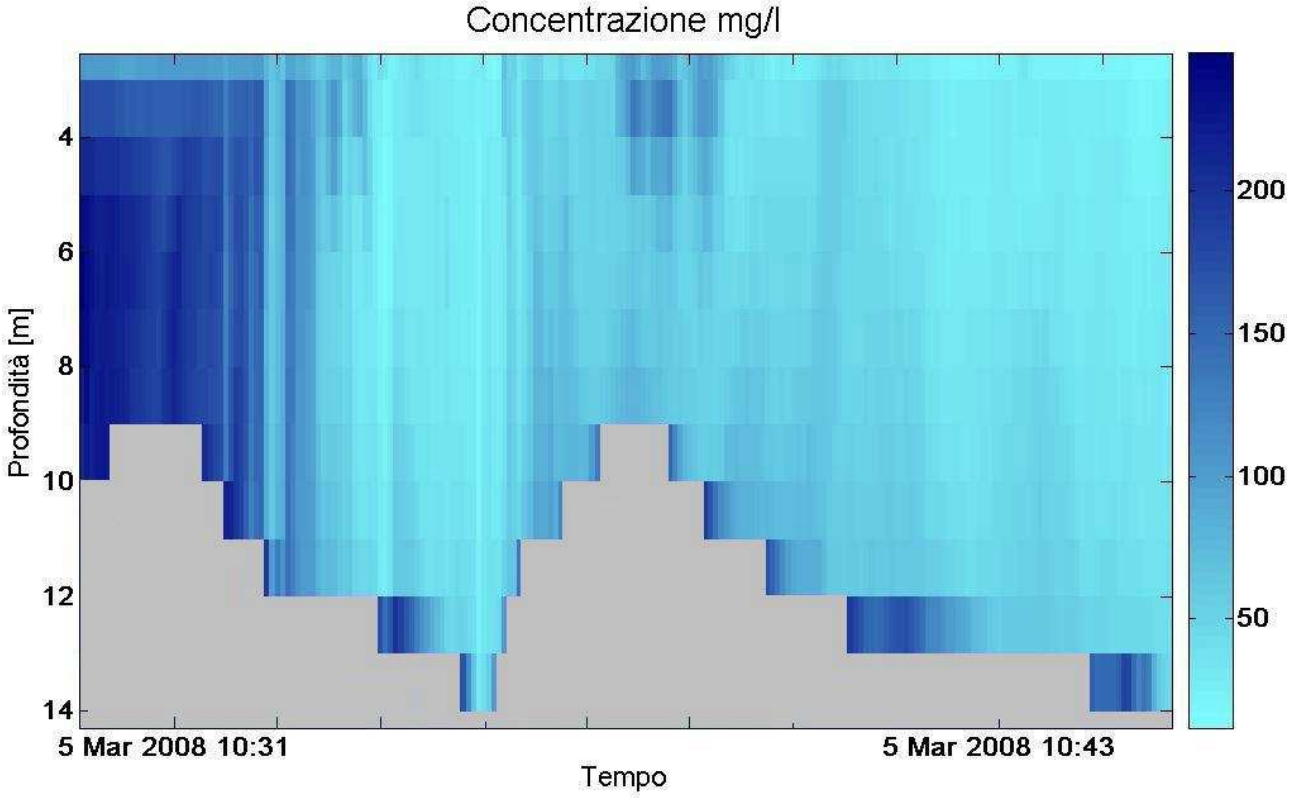


Fig. 4.5.5 – Sezione verticale nella stazione Grima – Prebianco – 5.03.08
Profilo della concentrazione di materiale particellato sospeso (mg l^{-1}).

Anche gli esperimenti condotti nelle altre giornate, hanno prodotto risultati simili: la nuvola torbida generata dall'influenza del traghetto sul fondale, sedimenta entro un massimo di 30 minuti ripristinando la condizione "normale" di torbidità. Riportiamo come esempio la distribuzione verticale del materiale particellato sospeso ottenuta con SediView il giorno 21 marzo (Fig. 4.5.6).

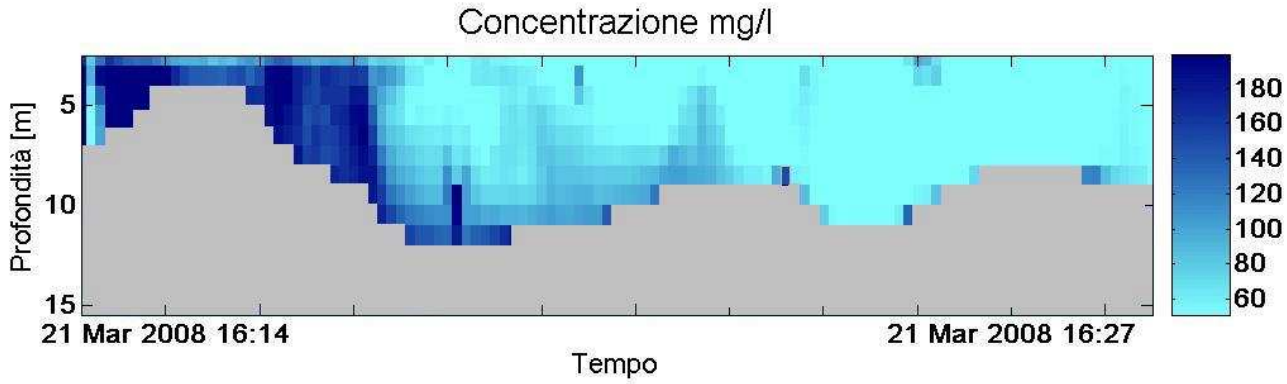


Fig. 4.5.6 – Sezione verticale nella stazione Grima – Prebianco – 21.03.08 Profilo della concentrazione di materiale particellato sospeso (mg l^{-1}).

Seguita l'evoluzione della torbida indotta abbiamo analizzato i campioni prelevati per effettuare una analisi dimensionale delle particelle e si è potuto notare che si risospendono un numero elevato di particelle comprese tra 5 e 20 μm (Fig. 4.5.7) ma anche un buon numero di particelle di dimensione relativamente grande, superiore ai 100 μm (Fig.4.5.8) che condizionano pesantemente i volumi di materiale risollevato e che poi sedimentano rapidamente portandosi dietro anche particelle di piccola dimensione.

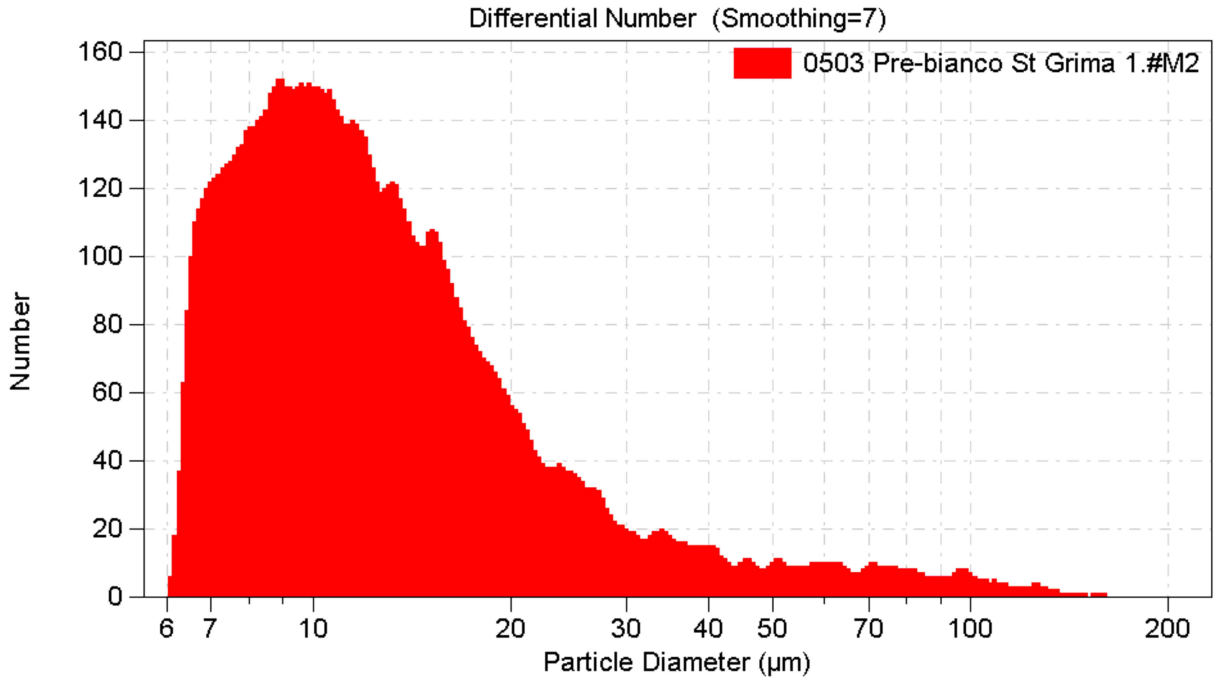


Fig. 4.5.7 – Grafico del numero di particelle presenti nel campione di acqua preso a 12 m di profondità nella Stazione Grima1 – Prebianco – 05.0308.

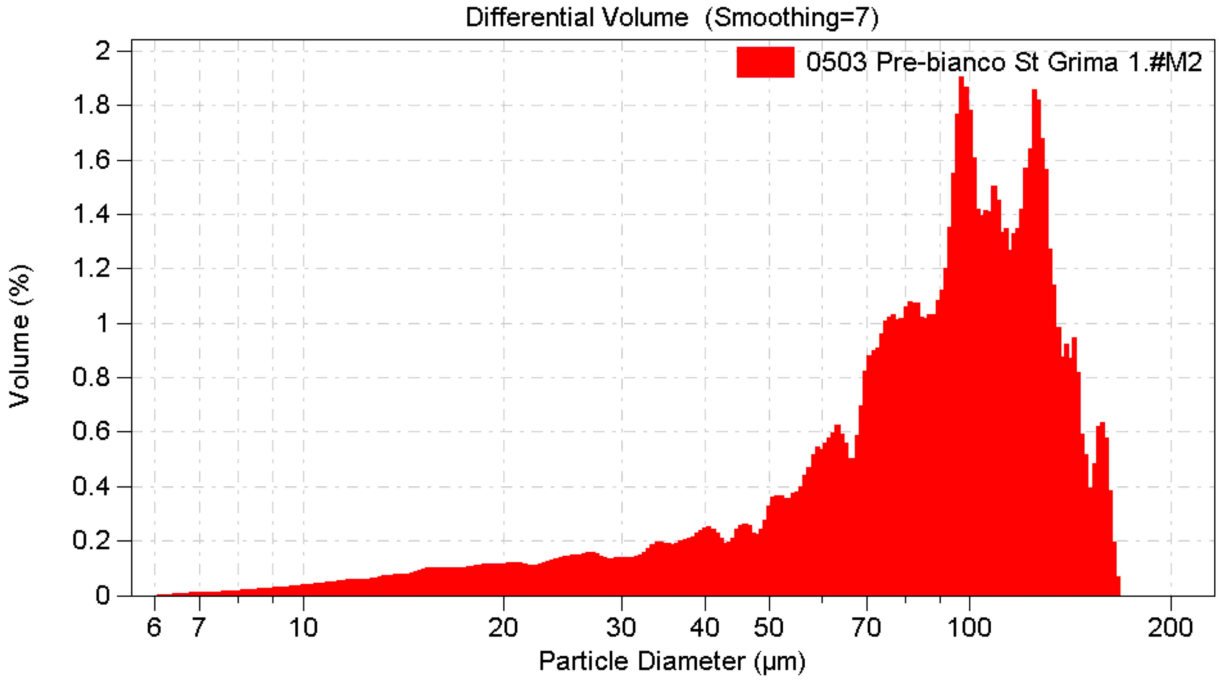


Fig. 4.5.8 – Grafico del volume % delle particelle presenti nel campione di acqua preso a 12 m di profondità nella Stazione Grima1 – Prebianco – 05.03.08.

Il numero di particelle trovato in questi campioni d'acqua è notevolmente superiore a quello delle condizioni "normali" del porto, con valore minimo di 1.4 10^6 particelle l^{-1} trovato il 21 marzo nella stazione Grima4 e valore massimo di 20.2 10^6 particelle l^{-1} trovato il 27 febbraio nella stazione Grima.

Poiché risulta importante per i futuri lavori di dragaggio evidenziare il tempo di residenza delle particelle nella nuvola torbida è stato effettuato un esperimento sulle dimensioni delle particelle.

Sono stati analizzati diversi campioni di acqua prelevati in momenti differenti per capire come si muovessero le particelle verso il fondo.

Nel grafico di Fig. 4.5.9 abbiamo riportato gli spettri dimensionali dei campioni prelevati in tempi diversi: il campione rosso, prelevato prima dell'inizio della manovra di ormeggio, è caratterizzato da 10^6 particelle l^{-1} di piccole dimensioni; la sequenza temporale poi evidenzia un aumento delle particelle e delle dimensioni delle stesse al termine della manovra (maximum disturbance) con più di 6 10^6 particelle l^{-1}. Col passare del tempo diminuisce il numero di particelle fino al completo ristabilirsi delle condizioni iniziali. Questa sequenza si è completata in circa 60 minuti.

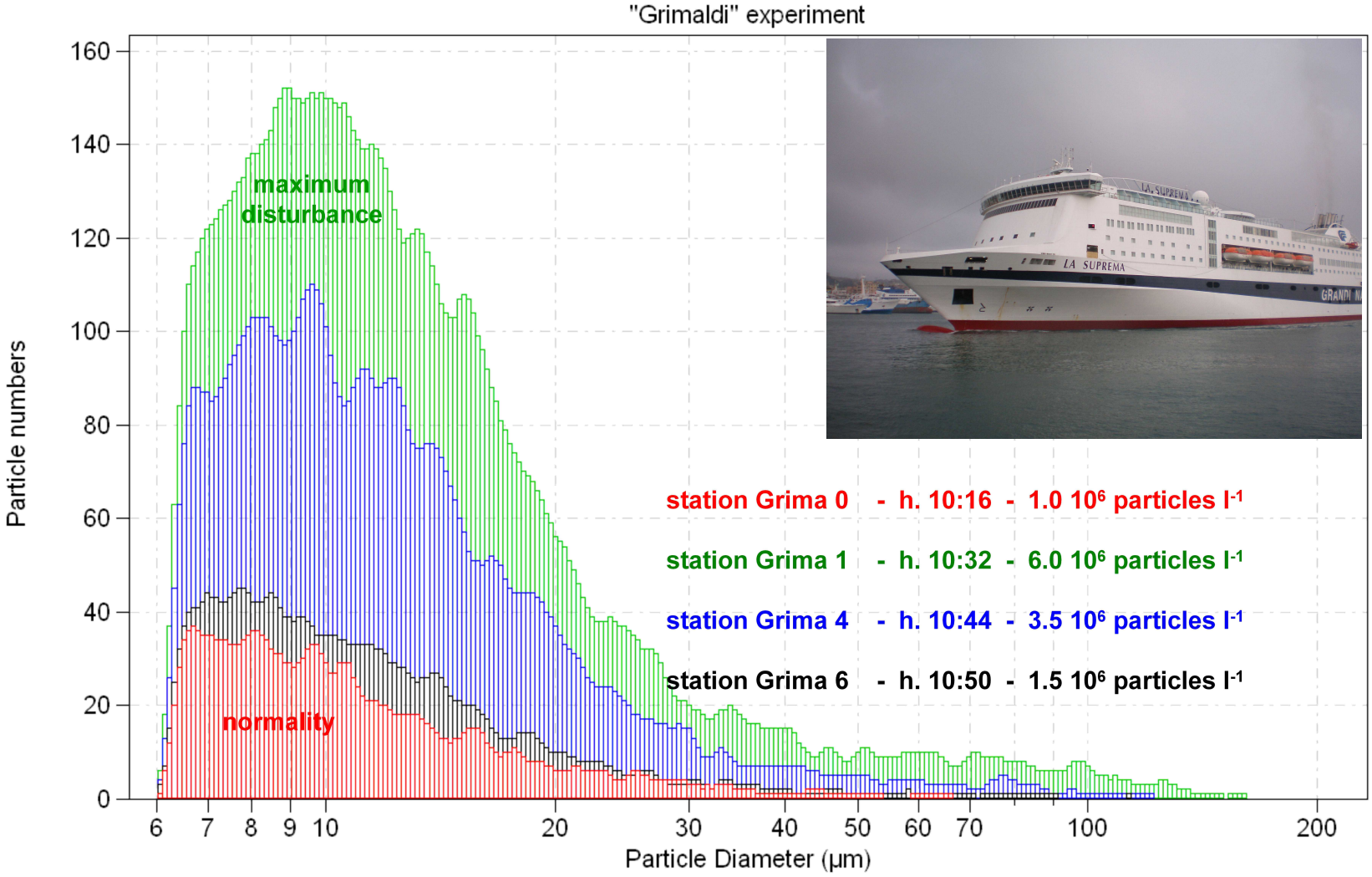


Fig. 4.5.9 - Esperimento "Grima" per il calcolo dei tempi di residenza delle particelle nella colonna d'acqua.

5 CONSIDERAZIONI

Alla luce di quanto ricavato dalle indagini effettuate possiamo fare le seguenti considerazioni:

Misure fisiche: Le caratteristiche della massa d'acqua alle due imboccature sono risultate condizionate dagli apporti dei corsi d'acqua; in particolare il torrente Bisagno influenza in modo evidente l'apertura portuale di levante con condizioni meteo marine provenienti dai primi due quadranti, mentre la parte più interna dell'area portuale è influenzata dagli scarichi che si riversano in questo specchio acqueo. In caso di mare calmo e assenza di vento, si sono registrate temperature comprese tra 11.92 e 13.06 °C, salinità comprese tra 36.30 e 37.74 e valori di ossigeno disciolto compresi tra 82 e 113 %; con presenza di mare mosso da scirocco e vento da SE invece le temperature variavano tra 11.73 e 15.17°C, la salinità tra 31.71 e 37.77, e l'ossigeno disciolto tra 82 e 128 %; in condizioni di mare mosso da libeccio invece i valori di temperatura oscillavano tra 13.01 e 14.90 °C, quelli di salinità tra 33.78 e 37.58 e di ossigeno disciolto tra 71 e 113 %; nel caso di mare calmo con forte vento da NE-N la temperatura era compresa tra 11.83 e 15.41 °C, la salinità tra 34.64 e 37.61 e l'ossigeno disciolto tra 63 e 118 %.

La distribuzione della temperatura ha indicato sostanzialmente un sistema omogeneo che solo nello strato più superficiale mostra qualche variazione. Anche i profili di salinità confermano che sotto uno strato variabile, dello spessore di 2-3 m, si riscontra una massa d'acqua omogenea.

In generale si è osservato che i tenori minori di ossigeno disciolto (minimo assoluto pari al 63 %) si trovano nello strato superficiale delle acque della vecchia Darsena e questo è da addebitare alla ridotta dinamica d'acqua ed alla presenza di scarichi all'interno di questo settore del porto. Nel complesso le acque di tutta la parte più interna del porto risultano avere temperature maggiori ed una quantità ridotta di ossigeno disciolto.

Correnti: La dinamica delle acque all'interno del porto risulta limitata con valori di velocità in genere <10 cm s^{-1} che, in occasione di forti venti da nord raggiungono i 25 cm s^{-1}; velocità comprese tra 3 e 20 cm s^{-1} caratterizzano anche le acque del canale della diga foranea mentre solo nel settore ovest del porto si sono riscontrate velocità di corrente maggiori che hanno raggiunto i 50 cm s^{-1} nel tratto di mare del canale di calma dell'aeroporto in concomitanza di una ondazione di forte intensità da SE (Fig. 5.1).

Sempre nella parte interna del porto si è riscontrata una estrema variabilità della direzione delle correnti in virtù di una complessità morfologica del bacino con pontili aggettanti in tutte le direzioni. Questo induce una serie di flussi e vortici lungo i pontili senza una

specifica direzione preferenziale delle acque che, solo con venti da N, sono spinte a fluire verso la parte esterna del porto e giungono infine a scorrere lungo la diga foranea per muoversi lateralmente; questo avviene in modo più evidente nella parte orientale del porto ove spesso abbiamo riscontrato deboli correnti in uscita lungo la diga foranea (Fig. 5.2); le misure effettuate proprio in questa area hanno permesso di ubicare correttamente le stazioni fisse. In questa area è anche risultato evidente l'influsso delle acque del torrente Bisagno che, con vento e mare provenienti dal primo e secondo quadrante, tendono ad entrare nel porto fluendo lungo costa.



Fig. 5.1. Sintesi delle velocità di corrente riscontrate durante le indagini.

Più complicata la dinamica delle acque nel settore occidentale poiché si sono alternati momenti di flusso delle acque verso l'esterno ad altri che indicavano un flusso entrante; il tutto complicato dalle acque del torrente Polcevera che tendono a fluire verso l'esterno dell'area portuale; i vettori complessivi rendono evidente una dinamica nel canale di calma dell'aeroporto con vettori di corrente che raggiungono i 30-50 cm s^{-1}. Ci possiamo quindi aspettare in questa apertura di ponente del porto una dinamica più vorticosa e variabile che dovrebbe essere correttamente letta dalla strumentazione fissa posta in opera.



Fig. 5.2. Sintesi dei vettori di corrente riscontrati durante le indagini.

Particellato: nelle condizioni normali del Porto da noi osservate nella fase di Prebianco, il bacino portuale è caratterizzato da una torbidità di 2÷4 FTU con un massimo di 10 FTU,

che corrispondono a circa 6-8 mg l^{-1} di materiale particellato sospeso totale; il numero di particelle risulta variabile tra 1÷13 10^6 particelle l^{-1} con i valori maggiori (20-30 10^6 particelle l^{-1}) in corrispondenza della torbida del torrente Bisagno con mare proveniente dal secondo quadrante. Naturalmente i sensori posti alla imboccatura di levante permetteranno di misurare salinità e la direzione delle acque differenziando quindi eventuali alte concentrazioni di particellato dovute alla torbida fluviale da alte concentrazioni causate dal dragaggio.

Considerate tutte le concentrazioni riscontrate alla imboccatura una condizione di attenzione (limite di attenzione per acque in uscita) potrebbe attuarsi con una misura di 20-25 FTU.

In condizioni di "disturbo" legato principalmente al transito ed alla manovra dei traghetti e dei rimorchiatori la torbidità raggiunge il limite di 60 FTU che corrispondono a concentrazioni massime di 600 mg l^{-1} (questo valore è molto alto, rispetto al valore relativamente alto della torbidità, ma è dovuto al particolare tipo di particelle presenti sul fondo, e cioè ossidi di ferro molto pesanti), con 6.5 10^6 particelle l^{-1}; il tempo di residenza delle particelle nella nuvola torbida è variabile tra 45' e 60', dopo di che si ristabiliscono le condizioni iniziali.

Estensione e persistenza della torbida: la nuvola torbida non diffonde al di fuori dell'area coinvolta dalle manovre della nave e tende a scendere verso il fondo rapidamente fino a scomparire dopo circa 30-40 minuti, riportando la situazione della colonna d'acqua a quella "normale". Gli spettri dimensionali dei campioni prelevati in tempi diversi indicano che prima dell'inizio della manovra di ormeggio le acque sono caratterizzate da concentrazioni di 1 10^6 particelle l^{-1} di piccole dimensioni. La risospensione indotta dalle eliche crea un aumento delle particelle e delle dimensioni delle stesse ed al termine della manovra (maximum disturbance) si misurano più di 6 10^6 particelle l^{-1} con un incremento di particelle di grossa dimensione (100 μm). Col passare del tempo diminuisce il numero di particelle fino al completo ristabilirsi delle condizioni iniziali che avviene in un massimo di 60 minuti; in genere la nuvola torbida raggiunge un diametro di 200 m. Con le correnti misurate l'evento estremo che si può verificare è la possibilità che si formi una nuvola torbida con una estensione di circa 900 m lungo la direzione della corrente.

6 CONCLUSIONI

Con il dragaggio al centro dell'area portuale (area di dragaggio F) e con venti da N la torbida sarà sarebbe trasportata con velocità di circa 25 cm s^{-1} verso la diga foranea raggiungendola in circa un'ora per poi diffondersi a contatto con la diga con la stessa velocità e questo porterebbe la torbida ad essere misurata nella stazione fissa di levante dopo circa tre ore dall'inizio dell'evento; se invece la diffusione avvenisse verso la bocca di ponente la torbida sarebbe resa evidente dalla strumentazione fissa dopo più di 4 ore.

Analizziamo ora gli eventi che prospettano una uscita di sedimento sospeso dalla bocca di levante: come abbiamo visto la torbida comincia a muoversi sul fondo e nella massa d'acqua mentre la parte superficiale viene intercettata dalle panne ed indotta a sedimentare. Ipotizziamo che il ciclo di dragaggio duri due ore (tempo di riempimento della draga per le attività svolte con draghe analoghe a quelle previste in Lazio): in queste condizioni il sedimento non riesce a raggiungere l'imboccatura di levante se si stanno dragando i sedimenti dell'area centrale del porto (area F) mentre giungeranno i primi segnali di torbida se si sta dragando lungo la parte interna della diga foranea (area F1). **Quindi l'interruzione dei lavori dopo due ore dovrebbe portare a non superare i limiti critici imposti per la torbidità in uscita dal porto**.

Avendo poi constatato che la torbida tende a sedimentare in circa 30 minuti, una volta concluse le operazioni di dragaggio, al massimo il sedimento dovrebbe arrivare alla imboccatura portuale. Si può quindi ipotizzare che il limite di due ore di lavoro continuativo possa essere accettabile in condizioni di corrente non superiori a 25 cm s^{-1} . Ricordiamo anche che una nuvola torbida persistente, con le velocità di corrente riscontrate durante le campagne di Prebianco, potrebbe raggiungere la prateria di *Posidonia o.* posta a levante in circa 4 ore. Si può quindi considerare che, ove fossero superati i limiti critici di particellato alla imboccatura ed i lavori di dragaggio fossero interrotti in quel momento la nuvola torbida potrà continuare a passare ed estendersi verso est per circa due ore prima di esaurirsi; questo naturalmente ipotizzando la mancata sedimentazione della stessa nuvola in area portuale; questo ci indica che **in caso di valori elevati alla imboccatura abbiamo un tempo compreso tra una e due ore per decidere un provvedimento di mitigazione**. Naturalmente se il dragaggio continuasse la nuvola torbida continuerebbe ad essere alimentata diffondendosi verso la prateria di *Posidonia*. Considerando comunque le modellizzazioni sviluppate a Montalto di Castro (Lazio) per valutare la percentuale di materiale fine che può raggiungere l'area da proteggere queste ci indicano che dopo 3 ore dall'inizio della diffusione la concentrazione diminuisce di un ordine di misura e dopo 6 ore

di due ordini di misura. Questo vuol dire che se si riscontrasse una torbida in uscita di 60 FTU (Max valore riscontrato) dopo tre ore sarebbero misurati all'inizio della prateria di posidonia 6 FTU di sedimenti sospesi pari ad un valore vicino a quello naturale.

Naturalmente per l'imboccatura di ponente, posta a maggiore distanza dall'area di massimo dragaggio i problemi saranno inferiori e diventeranno di interesse invece quando si svilupperà il dragaggio delle aree poste davanti a Ronco Canepa oppure per il controllo dell'eventuale tracimazione dall'area di colmata delle acque contenenti sedimento. In questo caso non si possono fare ipotesi al momento attuale, ma si metterà in atto un controllo con il mezzo mobile per valutare tempi e concentrazioni di sedimento durante le attività. Per il movimento di materiale in uscita dalla bocca di ponente occorre notare che questo, una volta superata l'apertura potrà muoversi con velocità nettamente superiori avendo riscontrato anche velocità di 50 cm s^{-1}all'interno del canale di calma dell'aeroporto.

Una particolare attenzione dovrà essere posta per il dragaggio da effettuare all'esterno della diga foranea fino a Punta Vagno essendo questa attività molto più vicina (circa 1 miglio) alla zona sensibile; durante le attività di valutazione del bianco si caratterizzerà anche questa area per definire le possibilità di trasporto della torbida.

BIBLIOGRAFIA

Capello M., Gabellini M., Nicoletti L., Budillon G., Di Prospero A., Arghittu F., Cutroneo L. & Tucci S. (2005 Abstract-Poster). The management of sedimentary dynamic in areas to be subjected to dredging for artificial nourishment: a predictive model applied to Gaeta, Montalto di Castro and Anzio. Spoleto, GeoItalia 2005.

Coulter® Electronics Ltd. (1998). Fine Particle Application for Coulter Multisizer II. Reference Manual for Coulter® Counter Instruments. Issue. Luton, England.

Gartner J.W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology*, 211, pp. 169-187.

Krank K. (1980). Variability of particulate matter in a small coastal inlet. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 1209-1215.

Piccazzo M. & Tucci S. (1983). "Distribuzione e trasporto di materiale particolato sospeso nei canyons di Genova". *Atti 5° Congr. Ass. It. Oceanol. Limnol* ., Stresa (1982), pp 675-690.

Pierce J.W., Tucci S. & Fierro G. (1981). "Assessing variation in suspensates, Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean)". *Geo-Marine Letters,* pp. 149 – 154.

Strikland J.D.H. & Parson T.R. (1968). "A practical handbook of seawater analysis." *Bull.Fish.Res.Board of Canada,* pp 167 - 311.