



**Consorzio per la Gestione del Centro  
di Coordinamento delle Attività di Ricerca  
inerenti il Sistema Lagunare di Venezia**

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/6**

**ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL  
MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI  
DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE  
BOCCHIE LAGUNARI**

Contratto n. 102000953

Documento **MATRICE: ACQUA**  
**RAPPORTO FINALE**

Versione **1.0**

Emissione **1 Luglio 2011**

Redazione

Dott. Luca Zaggia  
(ISMAR-CNR)

Verifica

Prof. Giampaolo Di Silvio

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
1.1 Introduzione sulle campagne di misura.....	6
1.2 Sommario delle campagne di misura effettuate.....	8
<b>2. STIMA DELLA PRODUZIONE DI TORBIDA E DEL TRASPORTO DI MATERIALE RILASCIATO DURANTE IL DRAGAGGIO E RILASCIO PIETRAME, MISURE GRANULOMETRICHE DEL PARTICELLATO SOSPESO E MISURE CORRENTOMETRICHE .....</b>	<b>31</b>
2.1 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Lido.....	31
2.1.1 <i>Distribuzione dimensionale dei sedimenti .....</i>	31
2.1.2 <i>Classificazione granulometrica del particellato solido in sospensione .....</i>	32
2.1.3 <i>Concentrazione del particellato solido in sospensione .....</i>	34
2.1.4 <i>Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi .....</i>	35
2.2 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Malamocco.....	41
2.2.1 <i>Distribuzione dimensionale dei sedimenti .....</i>	41
2.2.2 <i>Classificazione granulometrica del particellato solido in sospensione .....</i>	42
2.2.3 <i>Concentrazione del particellato solido in sospensione .....</i>	44
2.2.4 <i>Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi .....</i>	45
2.2.5 <i>Idrodinamica del bacino di evoluzione della conca di navigazione .....</i>	47
2.3 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Chioggia.....	49
2.3.1 <i>Distribuzione dimensionale dei sedimenti .....</i>	49
2.3.2 <i>Classificazione granulometrica del particellato solido in sospensione .....</i>	50
2.3.3 <i>Concentrazione del particellato solido in sospensione .....</i>	50
2.3.4 <i>Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi .....</i>	51
<b>3. INDAGINE DETTAGLIATA SULLA DISTRIBUZIONE E SULLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SOSPESI IN SEZIONI DI INTERESSE .....</b>	<b>54</b>
3.1 Sommario delle campagne di misura effettuate.....	54
3.2 Condizioni mareali durante le attività di misura .....	54
3.3 Condizioni meteorologiche riscontrate durante le attività di misura.....	56
3.4 Caratteristiche granulometriche e concentrazione del particellato solido in sospensione alle bocche di porto di Lido, Chioggia e Malamocco.....	58
3.4.1 <i>Granulometrie campagna ISB6.....</i>	64
3.4.2 <i>Granulometrie campagna ISCB6.....</i>	69
3.4.3 <i>Granulometrie campagna ISB6M.....</i>	71

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

3.5	Caratteristiche del campo di velocità .....	74
3.5.1	<i>Analisi del campo di corrente lungo le sezioni 80-82 (Lido), DN-DS (Malamocco) e C4A-C4B (Chioggia) .....</i>	75
3.6	Studio batimetrico sezioni di interesse DN-DS e 80-82.....	79
<b>4.</b>	<b>INDAGINE DEL MECCANISMO DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE E AL FONDO.....</b>	<b>81</b>
4.1	Attività di misura.....	81
4.2	Bocca di Lido, campagna TFLI, 19 Ottobre 2010 .....	84
4.2.1	<i>Granulometrie del 19 Ottobre: misure in situ .....</i>	85
4.2.2	<i>Studio della distribuzione e caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo. ....</i>	87
4.3	Bocca di Chioggia, campagna TFCH, 19 Gennaio 2011 .....	88
4.3.1	<i>Granulometrie del 19 Gennaio 2011 misure in situ .....</i>	90
4.3.2	<i>Studio della distribuzione e caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo. ....</i>	92
4.4	Bocca di Malamocco, campagna TFB6MA, 3 Febbraio 2011 .....	94
4.4.1	<i>Granulometrie del 3 Febbraio 2011 misure in situ .....</i>	95
4.4.2	<i>Studio della distribuzione e caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo. ....</i>	97
<b>5.</b>	<b>RILEVAZIONE DELLA TORBIDITÀ IN CONTINUO.....</b>	<b>98</b>
5.1	La rete di stazioni fisse .....	98
5.2	Analisi dei dati.....	104
5.3	Serie temporali della torbidità/SPM .....	108
5.4	Analisi dei picchi di torbidità ed effetti delle attività di scavo .....	122
5.5	Attività di scavo nel periodo considerato.....	129
5.6	Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite negli anni di monitoraggio .....	130
5.7	Struttura dell'archivio dei dati .....	148
<b>6.</b>	<b>DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA DELLA TORBIDITA' ALL'INTERNO DELLE BOCHE DI PORTO .....</b>	<b>149</b>
6.1	Definizione del limite della torbidità nel 2005 .....	149
6.2	Ri-definizione del limite della torbidità nel 2011 .....	150
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>156</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>158</b>

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Al presente documento e alle attività di monitoraggio/elaborazione dati hanno collaborato:

C. Dabalà (CORILA)

C. Dall' Angelo (IMAGE - UNIPD)

L. Dametto (ISMAR - CNR, Venezia)

G. Di Silvio (IMAGE - UNIPD)

R. Fiorin (LagunaProject)

G. Lorenzetti (ISMAR - CNR, Venezia)

G. Manfè (ISMAR - CNR, Venezia)

F. Riccato (LagunaProject)

L. Zaggia (ISMAR - CNR, Venezia)

## 1. INTRODUZIONE

Il Disciplinare Tecnico dello Studio B.6.72 B/6, come i precedenti, prevede specifiche attività per la misura della concentrazione e del flusso di particellato solido sospeso generato dalle attività di cantiere dentro e fuori le sezioni del canale di bocca. Tali attività intendono monitorare la torbidità generata dalle operazioni di scavo in relazione ai seguenti parametri:

A) torbidità prodotta direttamente dai sistemi di scavo e di rilascio pietrame;

B) variabilità spaziale e temporale del particellato solido sospeso in condizioni naturali, cioè in assenza di dragaggio.

Nel caso A) le misure servono per determinare la torbidità prodotta direttamente dalle attività di cantiere allo scopo di descrivere le diverse tipologie di “sorgente” in periodi limitati ed in diverse condizioni operative. Nonostante le importanti operazioni di rilascio pietrame nell’area della Bocca di Lido per la costruzione della nuova diga foranea, si è proseguito nell’attività sperimentale dello studio del campo di corrente e delle caratteristiche del materiale solido in sospensione nelle consuete sezioni individuate nelle tre bocche di porto, fra cui anche la granulometria mediante lo strumento LISST (*Laser In Situ Scattering and Trasmisometry*). Questo approfondimento è utile alla caratterizzazione della variabilità spaziale e temporale dell’idrodinamica e delle caratteristiche del particellato conseguenti alla realizzazione delle opere sommerse e a valutare i cambiamenti indotti dalle opere già realizzate e, come anticipato precedentemente, all’ottimizzazione delle procedure di posa dei manufatti da posizionare al fondo delle bocche.

Nel caso B) le acquisizioni si riferiscono, invece, alla misura della torbidità in continuo mediante strumenti fissi (torbidimetri), opportunamente posizionati, nelle aree di pertinenza dei tre canali di bocca, sia entro la laguna sia all’esterno delle bocche. In questo caso la misura puntuale della torbidità fornisce un’indicazione della presenza del particellato sospeso al variare del campo di corrente nei diversi cicli di marea e del moto ondoso in laguna e in mare e forniscono indicazioni sull’andamento della torbidità naturale nel medio e lungo periodo utili alla definizione dei valori di riferimento per il monitoraggio degli effetti delle attività di cantiere e delle trasformazioni determinate dalle opere già realizzate.

Nel Capitolo 2 del presente rapporto sono richiamate in forma sintetica tutte le campagne per la stima della produzione di torbida e del materiale rilasciato durante il dragaggio ed il rilascio pietrame effettuate nel periodo Maggio 2010-Aprile 2011 delle quali era stato peraltro riferito in dettaglio nei Rapporti di campagna. I risultati vengono poi brevemente descritti nei successivi paragrafi, distinguendo rispettivamente quelli relativi alla bocca di porto di Lido, di Malamocco e di Chioggia. Le attività si sono incentrate soprattutto sul monitoraggio delle lavorazioni svolte per la costruzione della nuova diga foranea a Lido.

Il Capitolo 3 tratta delle campagne dedicate all’indagine dettagliata sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali sospesi in sezioni di interesse, mentre il capitolo 4 descrive i risultati delle campagne dedicate all’indagine del meccanismo del trasporto solido in sospensione e al fondo.

Il Capitolo 5 è dedicato alle misure in continuo della torbidità alle bocche di porto, eseguite in tre stazioni fisse (due situate nei canali di accesso alle bocche di Malamocco e Chioggia, una posizionata poco fuori della bocca di Malamocco) nel periodo Maggio 2010-Aprile 2011. Il capitolo fornisce nei diversi paragrafi la descrizione della rete dei torbidimetri fissi e i risultati dell’analisi statistica dei dati registrati. Le serie temporali della torbidità sono analizzate sia in relazione alle condizioni meteorologiche, sia in relazione alle attività di scavo mettendo in evidenza come i superamenti della soglia di 30 mg/l siano quasi invariabilmente da attribuirsi a sole cause naturali.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Sono stati analizzati, inoltre, i dati di concentrazione misurati in continuo dai torbidimetri dal 2005 al 2011 ed i dati relative alle campagne di monitoraggio con ADCP *vessel-mounted* effettuate dal 2005 al 2010 con lo scopo di valutare la variabilità temporale e spaziale delle concentrazioni di solidi sospesi alle bocche di porto e ricalcolare il valore di soglia della concentrazione di tale materiale risospeso durante le attività di scavo.(Capitolo 6).

### 1.1 Introduzione sulle campagne di misura

Nei pressi delle tre bocche di porto della laguna di Venezia sono state effettuate durante il periodo Maggio 2010-Aprile 2011 numerose campagne volte allo studio delle condizioni idrodinamiche e alla caratterizzazione del particellato solido sospeso durante differenti condizioni mareali e meteorologiche.

Le campagne di indagine svolte sono state approntate secondo differenti tipologie focalizzando l'attenzione sui differenti aspetti che in sede di organizzazione dei lavori sono stati evidenziati per interesse e importanza. Tali tipologie si possono schematicamente riassumere in:

1. Campagne di monitoraggio della produzione della torbidità nelle aree prossime ai cantieri e del trasporto solido e dell'idrodinamica in sezioni caratteristiche delle bocche di porto: le attività sperimentali si sono svolte coprendo l'intero spazio marittimo di ciascuna bocca di porto con misurazioni correntometriche lungo più sezioni di interesse ed effettuando lungo di esse le calate di prelievo sui punti notevoli. Di volta in volta si è inoltre puntato l'interesse sulle differenti problematiche e situazioni particolari che durante la campagna si sono manifestate quali ad esempio i lavori presso la nuova lunata a Lido. Si sono evidenziati inoltre, con misure *ad hoc*, fenomeni di interesse emersi durante le indagini come ad esempio il vortice che si instaura in differenti condizioni mareali nel bacino di evoluzione della conca di navigazione presso la bocca di porto di Malamocco. Sono state effettuate 11 campagne del tipo "monitoraggio", ciascuna identificata con una sigla specifica (Tabella 1.1).

Tabella 1.1. Campagne Monitoraggio B6.

Nome Campagna	Bocca di Porto	Data
LB61	Lido	27, 28/07/2010
LB62	Lido	25, 26/08/2010
LB63	Lido	13/10/2010
CB61	Chioggia	3, 4/11/2010
LB64	Lido	22, 24/11/2010
MB61	Malamocco	02/12/2010
LB65	Lido	20, 21/12/2010
CB62	Chioggia	17, 18/01/2011
MB62	Malamocco	31/01/2011 e 01, 04/02/2011
LB66	Lido	23, 24/03/2011
Recesso	Lido	19, 20/04/2011

2. Indagini dettagliate sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali sospesi in sezioni di interesse: le misurazioni effettuate sono state incentrate su una singola sezione all'interno di ciascuna bocca di porto per caratterizzarne al meglio le condizioni idrodinamiche e di trasporto solido. Le campagne effettuate sono state 3 (Tabella 1.2).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tabella 1.2. Campagne Indagine sezioni di interesse.

Nome Campagna	Bocca di Porto	Data
ISB6	Lido	29/11/2010
ISCB6	Chioggia	20/01/2011
ISB6M	Malamocco	02/02/2011

3. Studio della distribuzione e delle caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo: nel corso delle attività sono stati approntati dei campi sperimentali al fine di valutare le caratteristiche del trasporto solido in sospensione ed in prossimità del fondo. Le campagne interessate sono state tre (Tabella 1.3).

Tabella 1.3. Campagne Studio della distribuzione e delle caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo.

Nome Campagna	Bocca di Porto	Data
TFLI	Lido	19/10/2010
TFCH	Chioggia	19/01/2011
TFB6M	Malamocco	03/02/2011

Le attività di campagna “monitoraggio” e “sezioni di interesse” sono state svolte utilizzando la strumentazione ADCP *vessel-mounted* per la registrazione delle caratteristiche idrodinamiche delle correnti (magnitudo e direzione) e per la rilevazione del *backscatter*. La misurazione dei parametri fondamentali per la caratterizzazione chimico-fisica del mezzo investigato (temperatura, salinità, conducibilità e torbidità) è avvenuta mediante sonda multiparametrica Idronaut® CTD OS 316 *Plus* fissata solidalmente al campionatore Rosette per mezzo del quale sono stati raccolti i campioni alle differenti profondità utili per la calibrazione del segnale di *backscatter*.

Le attività di laboratorio, necessarie per caratterizzare i campioni dal punto di vista della concentrazione del particolato sospeso e delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti, sono state espletate utilizzando rispettivamente le tecniche consuete quali la perdita di peso dopo essiccazione a 105 °C e lo strumento LISST-100X (*Laser In-Situ Scattering and Transmissometry*).

Per quanto riguarda le attività di misura effettuate durante le campagne per la determinazione del “trasporto al fondo”, è stata utilizzata una metodologia di indagine particolare. L’attività di campagna è stata condotta utilizzando: il profilatore acustico ADCP 600 kHz montato su imbarcazione CORILA (*vessel-mounted*), per la misurazione dell’intensità della corrente idrica lungo la colonna d’acqua; le trappole di campionamento *Helley-Smith* per la raccolta del sedimento calate dall’imbarcazione CORILA; la strumentazione LISST-100X utilizzata *in situ* per la determinazione delle caratteristiche granulometriche del particolato solido in sospensione montata anch’essa su imbarcazione CORILA; il profilatore acustico ADCP 1200 kHz calato dall’imbarcazione LITUS e posizionato su una struttura metallica in prossimità del fondo, per l’acquisizione del *bottom tracking* per registrare l’eventuale movimento relativo dello strato superficiale del sedimento del fondo.

## **1.2 Sommario delle campagne di misura effettuate**

Di seguito, in Tabella 1.4, 1.5 e 1.6, vengono riportati il numero di transetti effettuati, i profili eseguiti mediante sonda multiparametrica, il numero di prelievi d'acqua e, nel caso del trasporto al fondo, anche il numero di acquisizioni mediante le due strumentazioni ADCP e mediante il LISST effettuati durante lo svolgersi di tutte le attività eseguite nelle tre bocche di porto relativamente allo studio B.6.72 B/6.

I numeri che caratterizzano le attività di campagna (Tabella 1.7) sono particolarmente importanti e rispecchiano un notevole sforzo sia in termini di lavoro, con 177 ore-uomo di effettiva operatività in campo, sia in termini di quantità di informazioni scientifiche raccolte: 254 transetti ADCP, 171 profili CTD, 20 profili con trappole *Helley-Smith* utilizzate durante le campagne dedicate al trasporto solido, 480 campioni d'acqua e 80 di sedimento raccolti per le analisi granulometriche e per la stima dei solidi sospesi. In totale sono stati indagati 24 calanti di marea, 22 crescenti.

Il numero delle rilevazioni ed i molteplici scenari indagati hanno permesso di ricostruire almeno in parte le dinamiche che di volta in volta si manifestano all'interno delle bocche di porto in relazione alle importanti attività di cantieristica legate al progetto MOSE che attualmente le interessa.

## CORILA

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI  
 Tabella 1.4. Attività svolte durante le campagne di monitoraggio presso le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.

Data	Ora UT	Transetti ADCP	Profili CTD	Campioni	Marea
<b>Campagna LB61</b>					
27/07/2010	07.00 - 15.30	19	7	23	Crescente (CR)
28/07/2010	08.00 - 15.30	12	-	5	Crescente (CR)
<b>Campagna LB62</b>					
25/08/2010	07.30 - 16.30	17	13	35	Crescente (CR) - Calante(CL)
26/08/2010	07.00 - 13.30	6	9	32	Crescente (CR)
<b>Campagna LB63</b>					
13/10/2010	08.00-14.00	9	8	24	Crescente (CR) - Calante(CL)
<b>Campagna CB61</b>					
03/11/2010	08.00 - 15.00	24	13	41	Calante(CL)
04/11/2010	08.00 - 15.00	13	8	24	Calante(CL)
<b>Campagna LB64</b>					
22/11/2010	10.00 - 15.00	9	8	23	Calante (CL)
24/11/2010	11.00 - 15.30	7	6	20	Calante (CL)
<b>Campagna MB61</b>					
02/12/2010	07:30 - 14:30	21	11	46	Crescente (CR)
<b>Campagna LB65</b>					
20/12/2010	08.00 - 16.00	13	13	34	Crescente (CR) - Calante(CL)
21/12/2010	08.30 - 15.30	9	11	32	Calante(CL)
<b>Campagna CB62</b>					
17/01/2011	09.00 - 14.00	20	7	19	Calante(CL)
18/01/2011	08.00 - 14.00	17	5	14	Calante(CL)
<b>Campagna MB62</b>					
31/01/2011	08.00 - 14.00	27	9	25	Calante(CL)
01/02/2011	08.00 - 15.00	33	9	26	Calante(CL)
04/02/2011	08.00 - 11.00	15	6	16	Calante(CL)

## CORILA

## ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Data	Ora UT	Transetti ADCP	Profili CTD	Campioni	Marea
<b>Campagna LB66</b>					
23/03/2011	08.30 - 14.00	7	5	14	Crescente (CR)
24/03/2011	08.00 - 14.00	5	5	13	Crescente (CR)
<b>Campagna Recesso</b>					
19/04/2011	16.30 - 00.00	4	7 CTD	21 Rosette	Calante (CL)
20/04/2011	00.00 - 06.00		4 Halley - Smith	16 Halley - Smith 7 Fondale	

Tabella 1.5. Attività svolte durante le campagne di indagine sezioni di interesse presso le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.

Data	Ora UT	Transetti ADCP	Profili CTD	Campioni	Marea
<b>Campagna ISB6</b>					
29/11/2010	09.00 - 16.00	6	12	39	Calante (CL) - Inversione
<b>Campagna ISCB6</b>					
20/01/2011	09.00 - 12.00	7	3	9	Calante(CL)
<b>Campagna ISB6M</b>					
02/02/2011	09.00 - 14.00	18	6	18	Calante (CL)

## CORILA

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 1.6 Attività svolte durante le campagne di indagine del trasporto solido al fondo presso le bocche di porto di Lido, Chioggia e Malamocco.

Data	Ora UT	N. Acquisizioni	N. Profili con trappole Helley-Smith	N. Campioni	Marea
<b>Campagna TFLI</b>					
19/10/2010	09.00 - 15.00	1 acq. ADCP 600 kHz 1 acq. ADCP 1200kHz 1 acq. LISST real time	4 completi (16 lanci)	16 campioni (trappole) 8 campioni (calibrazione) 10 campioni (campionatore)	Calante (CL)
<b>Campagna TFCH</b>					
19/01/2011	10.00 - 15.00	1 acq. ADCP 600kHz 1 acq. ADCP 1200 kHz 1 acq. LISST real time	3 completi (12 lanci)	12 campioni (trappole) 9 campioni (campionatore)	Calante (CL)
<b>Campagna TFB6MA</b>					
03/02/2011	10.00 - 15.00	1 acq. ADCP 600kHz 1 acq. ADCP 1200 kHz 1 acq. LISST real time	3 completi (12 lanci)	12 campioni (trappole) 4 campioni (campionatore)	Calante (CL)

Tabella 1.7. Sintesi delle attività sperimentali effettuate durante le attività inerenti al progetto B.6.72 B/6.

Data	Ora UT	Transetti ADCP	Profili CTD	Campioni	Marea
<b>Totale</b>	158 ore-uomo di misura	318 transetti	197 profili CTD 10 profili trappole Helley-Smith	574 campioni d'acqua 63 campioni di sedimento	20 Calanti 9 Crescenti

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Nelle Figure 1.1 - 1.18 sono riportate le mappe in cui sono indicati le sezioni, i punti notevoli e i transetti effettuati durante ciascuna campagna, al fine di raccogliere le informazioni necessarie alla comprensione dell'idrodinamica delle correnti mareali e dei suoi effetti sul trasporto del particolato solido. In particolare, per quanto riguarda le campagne di monitoraggio della produzione di torbida (Tabella 1.8):

Tabella 1.8. Campagne monitoraggio produzione torbida.

<b>Campagna</b>	<b>Data</b>	<b>Figura</b>
LB61	27 - 28 Luglio 2010	1.1 e 1.2
LB62	25 - 26 Agosto 2010	1.3 e 1.4
LB63	13 Ottobre 2010	1.5
CB61	03 e 04 Novembre 2	1.6
LB64	22 e 24 Novembre 2010	1.7
MB61	02 Dicembre 2	1.8
LB65	20 e 21 Dicembre 2010	1.9
CB62	17 e 18 Gennaio 2011	1.10
MB62	31 Gennaio, 01 e 04 Febbraio 2011	1.11
LB66	23 e 24 Marzo 2011	1.12

Per quanto concerne le campagne di studio delle sezioni di interesse (Tabella 1.9):

Tabella 1.9. Campagne studio delle sezioni di interesse.

<b>Campagna</b>	<b>Data</b>	<b>Figura</b>
ISB6	29 Novembre 2010	1.13
ISCB6	20 Gennaio 2011	1.14
ISB6M	02 Febbraio 2011	1.15

Infine, per quanto riguarda le indagini della distribuzione e delle caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo (Tabella 1.10):

Tabella 1.10. Campagne indagine della distribuzione e delle caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo.

<b>Campagna</b>	<b>Data</b>	<b>Figura</b>
TFLI	19 Ottobre 2010	1.16
TFCH	19 Gennaio 2011	1.17
TFB6MA	03 Febbraio 2011	1.18



Figura 1.1. Posizione dei punti notevoli, sezioni d'interesse e transetti della campagna di monitoraggio (LB61) effettuata nella bocca di porto di Lido il 27 - 28 Luglio 2010.



Figura 1.2. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (LB61) effettuata nella bocca di porto di Lido il 27 - 28 Luglio 2010.

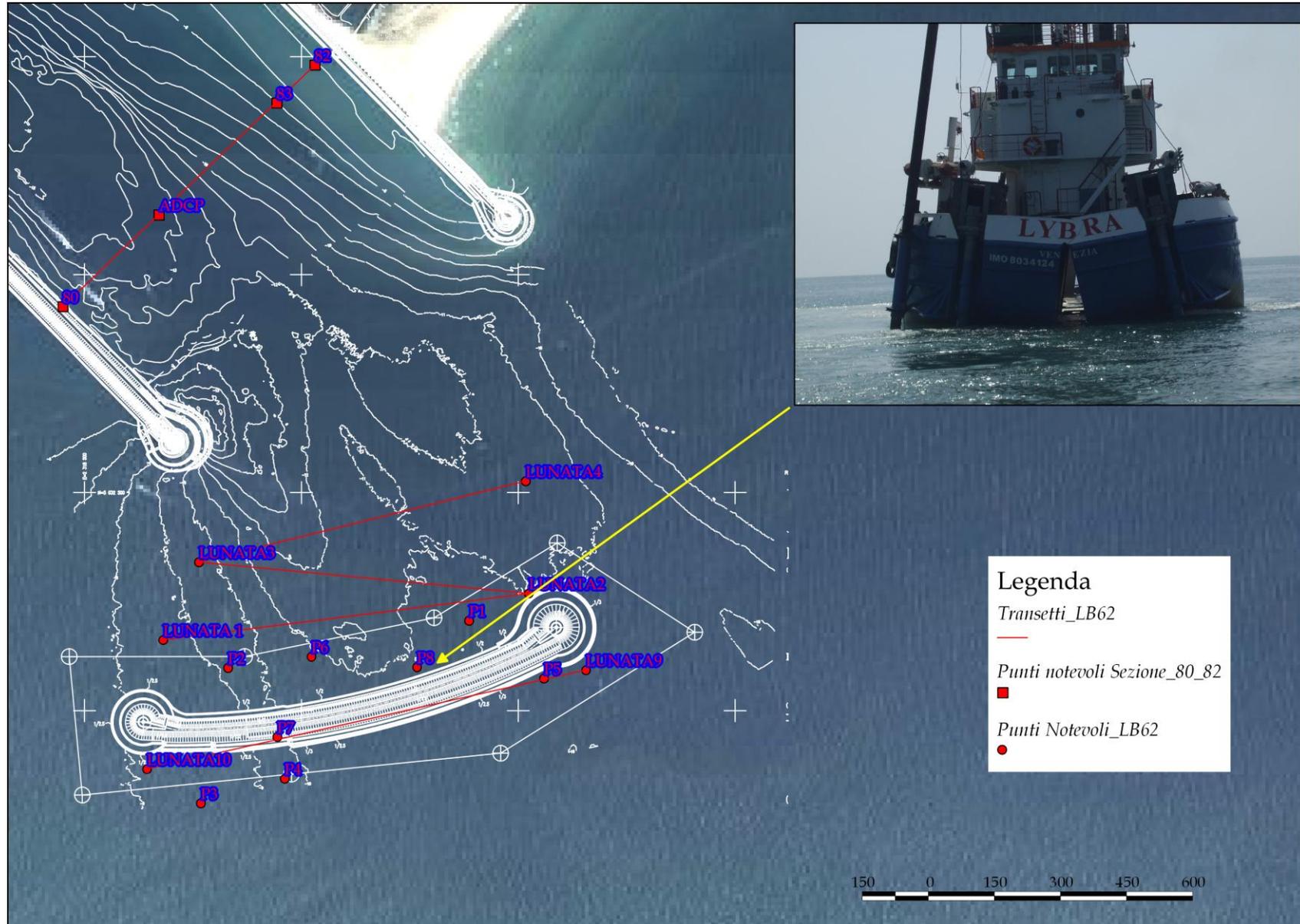


Figura 1.3. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio LB62 effettuata nella bocca di porto di Lido il 25-26 Agosto 2010.

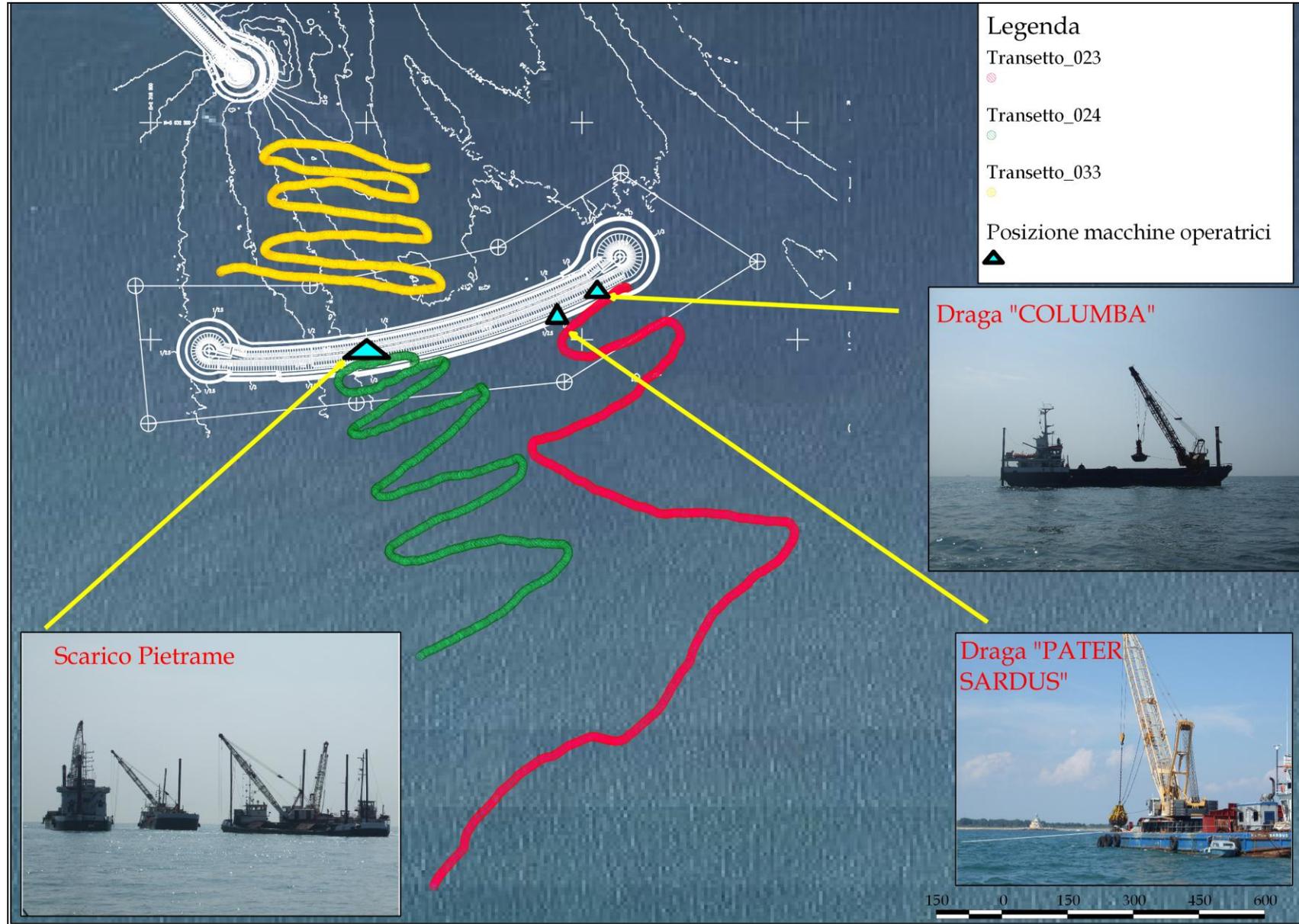


Figura 1.4. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (LB62) effettuata nella bocca di porto di Lido il 25-26 Agosto 2010.

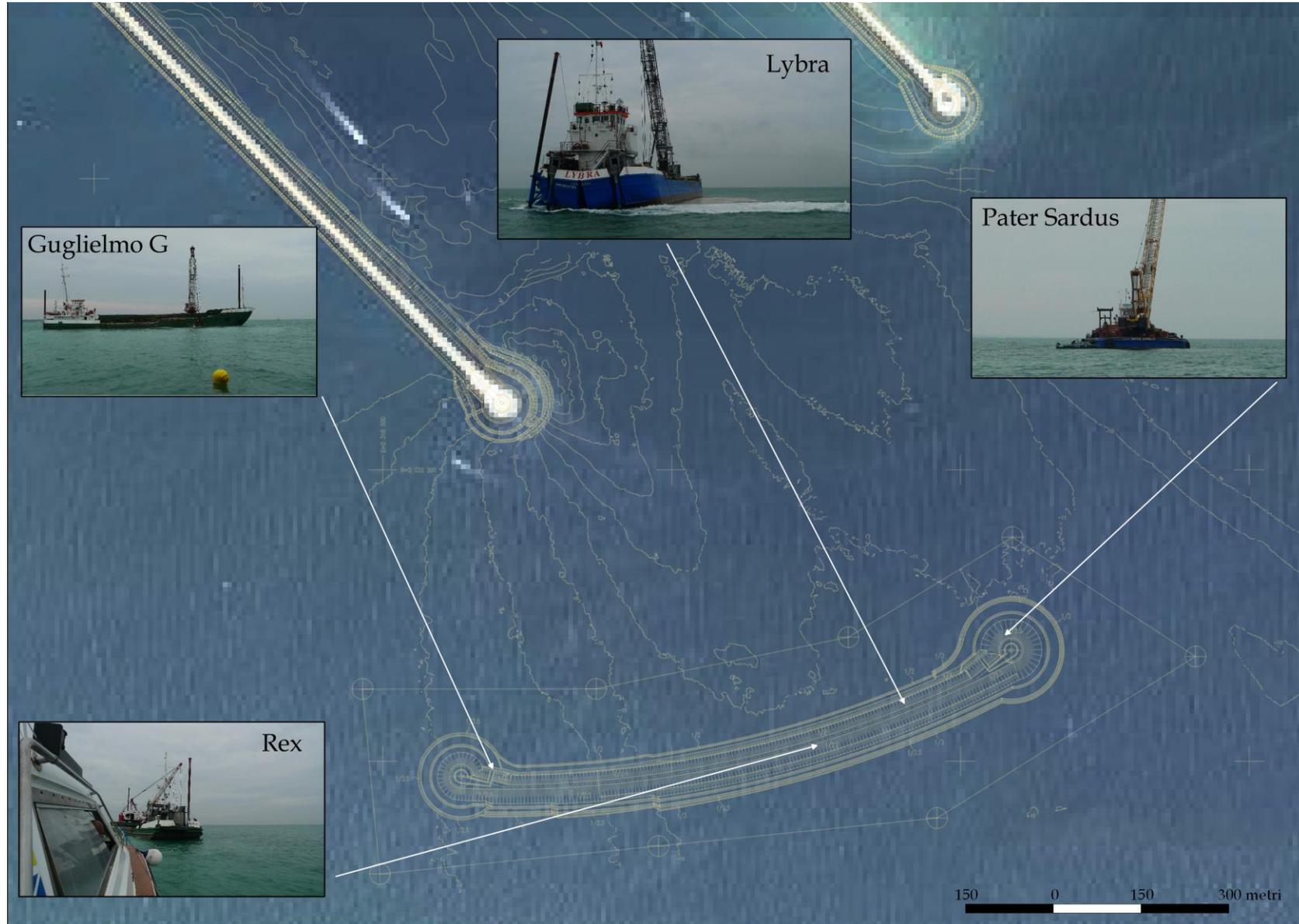


Figura 1.5. Posizione delle macchine operatrici durante la campagna di monitoraggio (LB63) effettuata nella bocca di porto di Lido il 13 Ottobre 2010.



Figura 1.6. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (CB61) effettuata alla bocca di porto di Chioggia il 03 e 04 Novembre 2010.

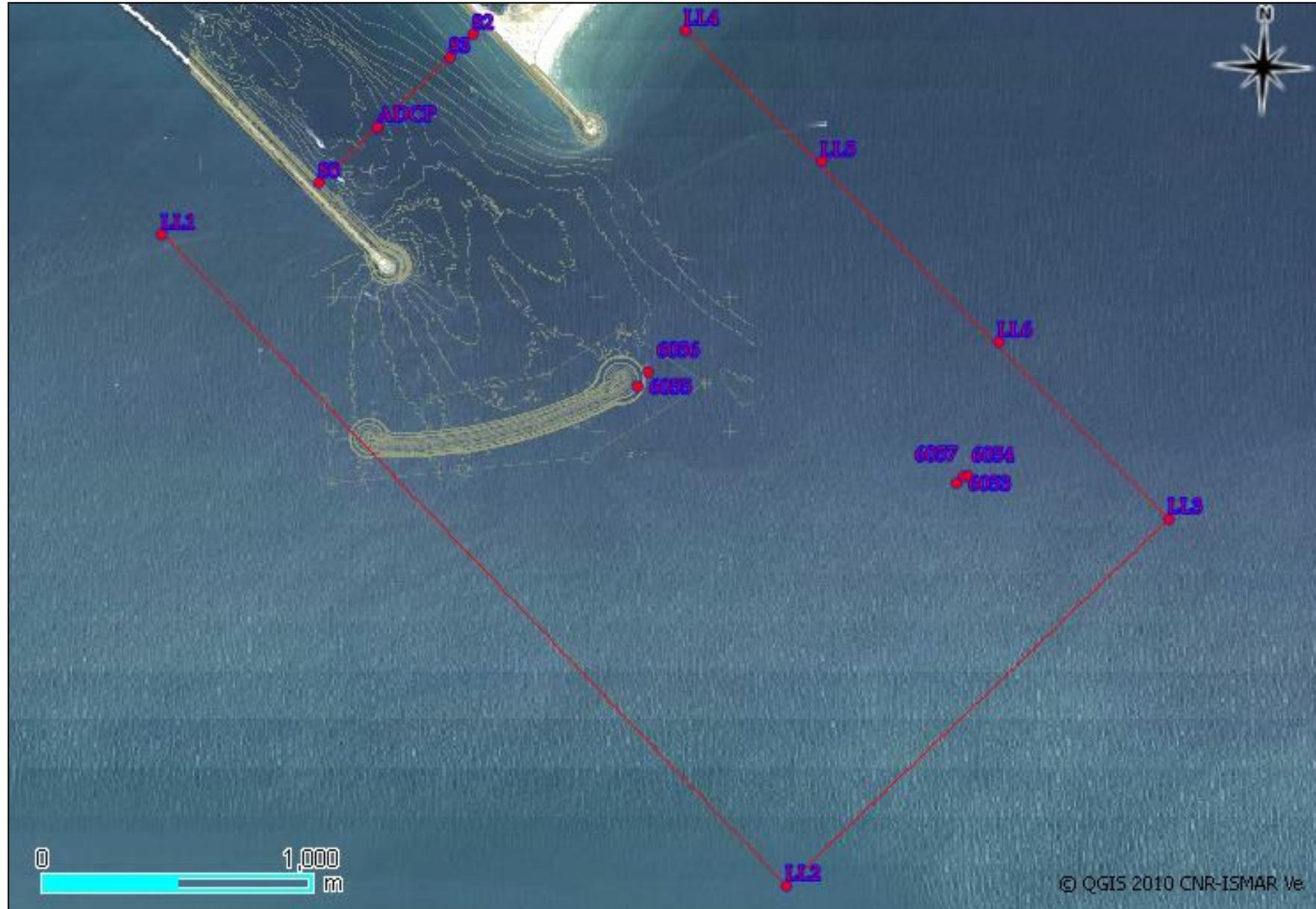


Figura 1.7. Posizione dei punti notevoli e transesti della campagna di monitoraggio (LB64) effettuata alla bocca di porto di Lido il 22 e 24 Novembre 2010.



Figura 1.8. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (MB 61) effettuata alla bocca di porto di Malamocco il 02 Dicembre 2010.



Figura 1.9. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (LB65) effettuata alla bocca di porto di Lido il 20 e 21 Dicembre 2010.



Figura 1.10. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (CB62) effettuata alla bocca di porto di Chioggia il 17 e 18 Gennaio 2011.

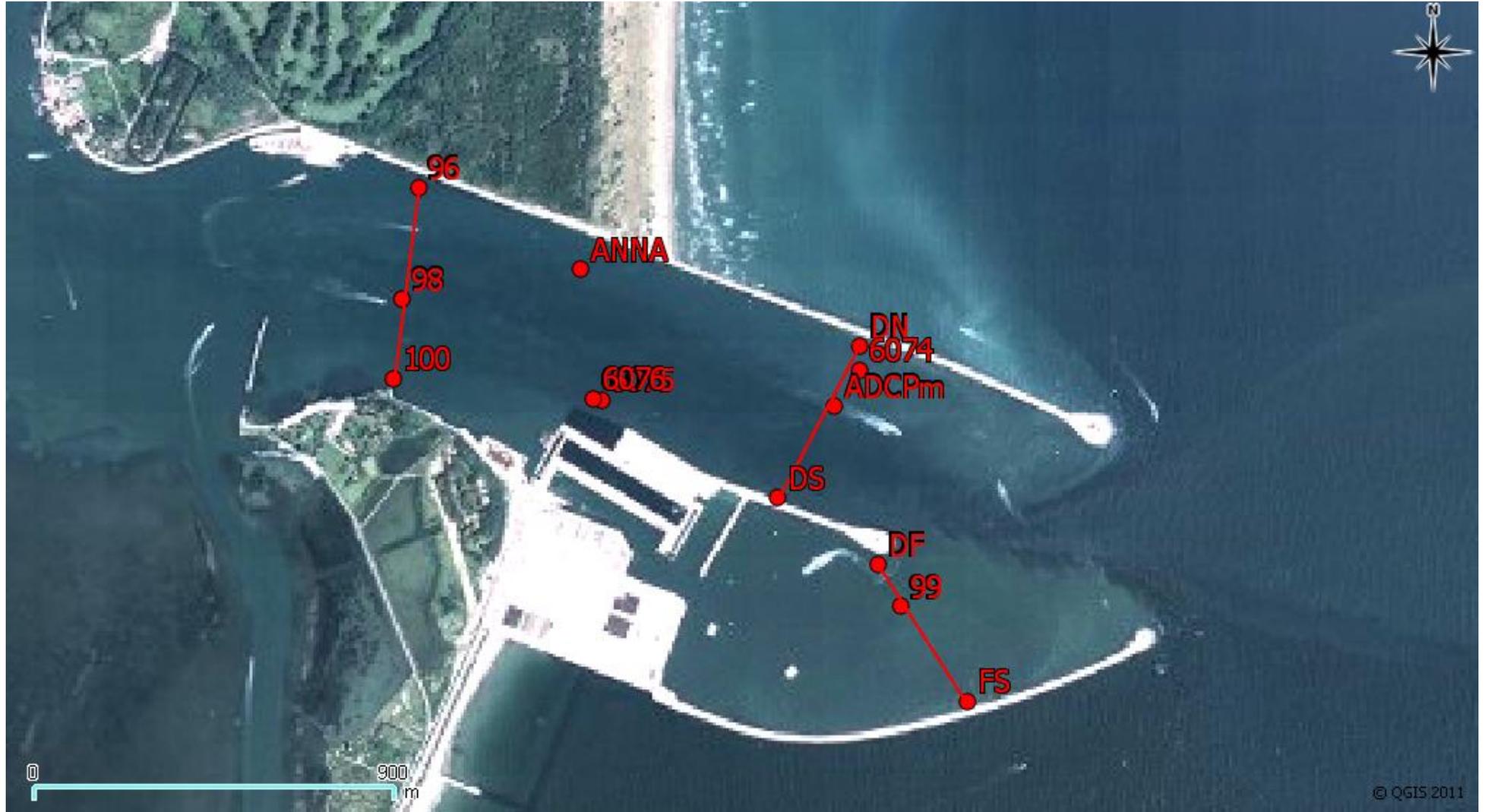


Figura 1.11. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (MB62) effettuata alla bocca di porto di Malamocco nei giorni 31 Gennaio, 01 e 04 Febbraio 2011.



Figura 1.12. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna di monitoraggio (LB66) effettuata alla bocca di porto di Lido il 23 e 24 Marzo 2011.



Figura 1.13. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna indagine sezione di interesse (ISB6) effettuata alla bocca di porto di Lido il 29 Novembre 2010.



Figura 1.14. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna indagine sezione di interesse (ISCB6) effettuata alla bocca di porto di Chioggia il 20 Gennaio 2011.



Figura 1.15. Posizione dei punti notevoli e transetti della campagna indagine sezione di interesse (ISB6M) effettuata alla bocca di porto di Malamocco il 02 Febbraio 2011.



Figura 1.16. Posizione dei punti notevoli della campagna studio del trasporto solido in sospensione e al fondo (TFLI) effettuata alla bocca di porto di Lido il 19 Ottobre 2010.



Figura 1.17. Posizione dei punti notevoli della campagna di studio del trasporto solido in sospensione e al fondo (TFCH) effettuata alla bocca di porto di Chioggia il 19 Gennaio 2011.



Figura 1.18. Posizione dei punti notevoli della campagna di studio del trasporto solido in sospensione e al fondo (TFB6MA) effettuata alla bocca di porto di Malamocco il 3 Febbraio 2011.

## 2. STIMA DELLA PRODUZIONE DI TORBIDA E DEL TRASPORTO DI MATERIALE RILASCIATO DURANTE IL DRAGAGGIO E RILASCIO PIETREME, MISURE GRANULOMETRICHE DEL PARTICELLATO SOSPESO E MISURE CORRENTOMETRICHE

### 2.1 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Lido

Data la sua complessità idrodinamica, ulteriormente influenzata della presenza dell'Isola Nuova, la bocca di porto di Lido (Figure 1.2 e 1.6) è stata investigata con una serie numerosa di sezioni di indagine con strumentazione ADCP *vessel-mounted* e con i relativi prelievi di campioni d'acqua e materiale sospeso.

#### 2.1.1 Distribuzione dimensionale dei sedimenti

Negli istogrammi rappresentati in Figura 2.1 e 2.2 si possono confrontare i valori caratteristici del  $d_{50}$  ricavato per le due distinte fasi mareali investigate durante le campagne di monitoraggio. Si può osservare come la distribuzione dei valori sia perturbata da valori anomali superiori a circa  $60 \mu\text{m}$ , i quali derivano dalle misure effettuate sui materiali campionati nei pressi delle macchine operatrici impegnate nella costruzione della diga foranea. Le due distribuzioni risultano avere una mediana molto simile.  $39.21 \mu\text{m}$  per i campioni prelevati durante il crescente di marea e  $34.76 \mu\text{m}$  per quelli prelevati durante il calante.

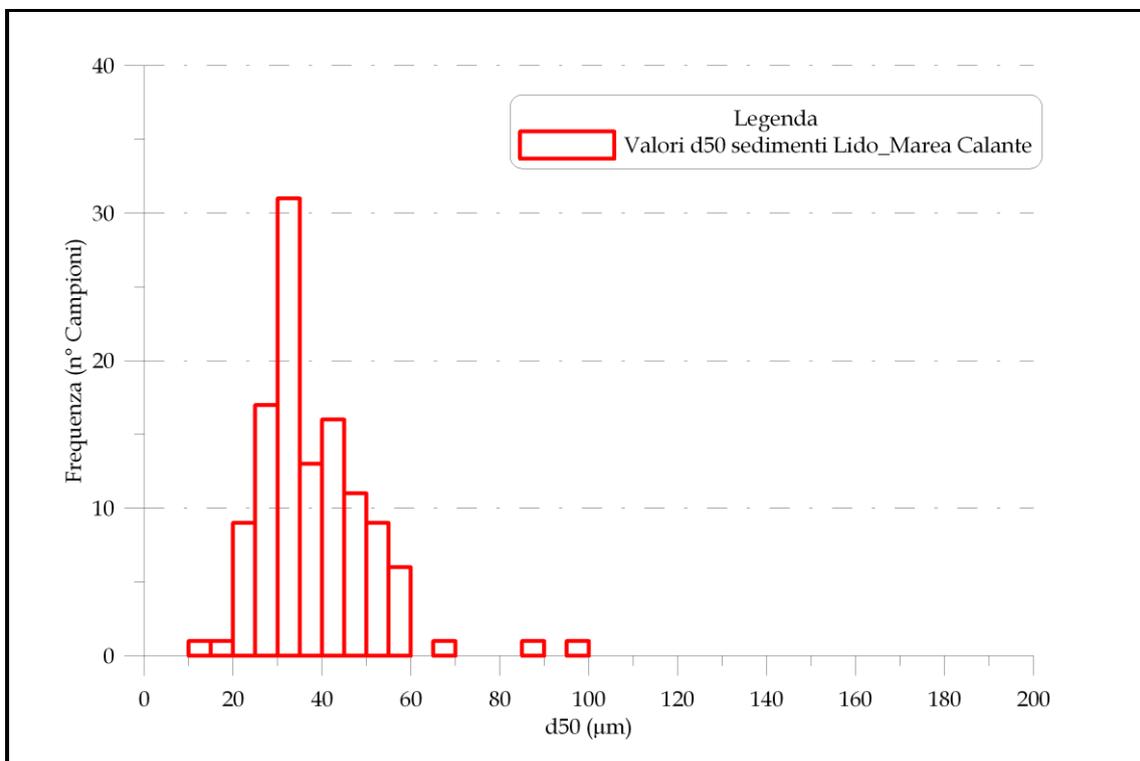


Figura 2.1. Istogramma di frequenza dei valori di  $d_{50}$  caratteristici misurati sui campioni prelevati durante le campagne monitoraggio effettuate nei pressi della Bocca di porto Lido. Condizioni di marea calante.

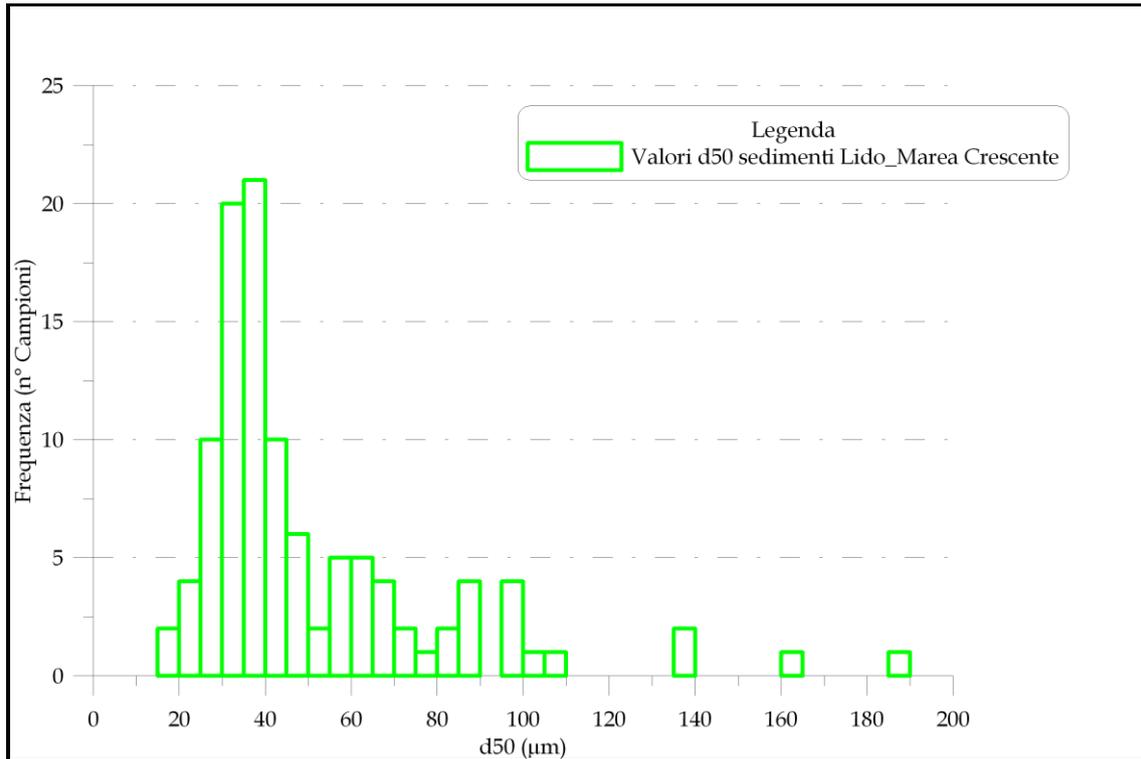


Figura 2.2. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici misurati sui campioni prelevati durante le campagne monitoraggio effettuate nei pressi della Bocca di porto Lido. Condizioni di marea crescente.

### 2.1.2 Classificazione granulometrica del particolato solido in sospensione

I materiali campionati durante le campagne di monitoraggio risultano molto simili tra di loro considerando le due fasi mareali indagate (Figure 2.3 e 2.4). Si può osservare solamente un leggero aumento della frazione sabbiosa in corrispondenza alla fase crescente di marea sebbene questi valori siano fortemente condizionati dal rilascio pietrame delle macchine operatrici che erano impegnate nella realizzazione della nuova lunata foranea. Si sottolinea inoltre la totale assenza della frazione argillosa ad eccezione di due campioni, uno per fase mareale, prelevati direttamente nella zona di scarico di una imbarcazione impegnata nel rilascio pietrame. Probabilmente il materiale più fine risulta dalla sospensione di sedimenti adesi al materiale lapideo posto in opera per la realizzazione della lunata.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

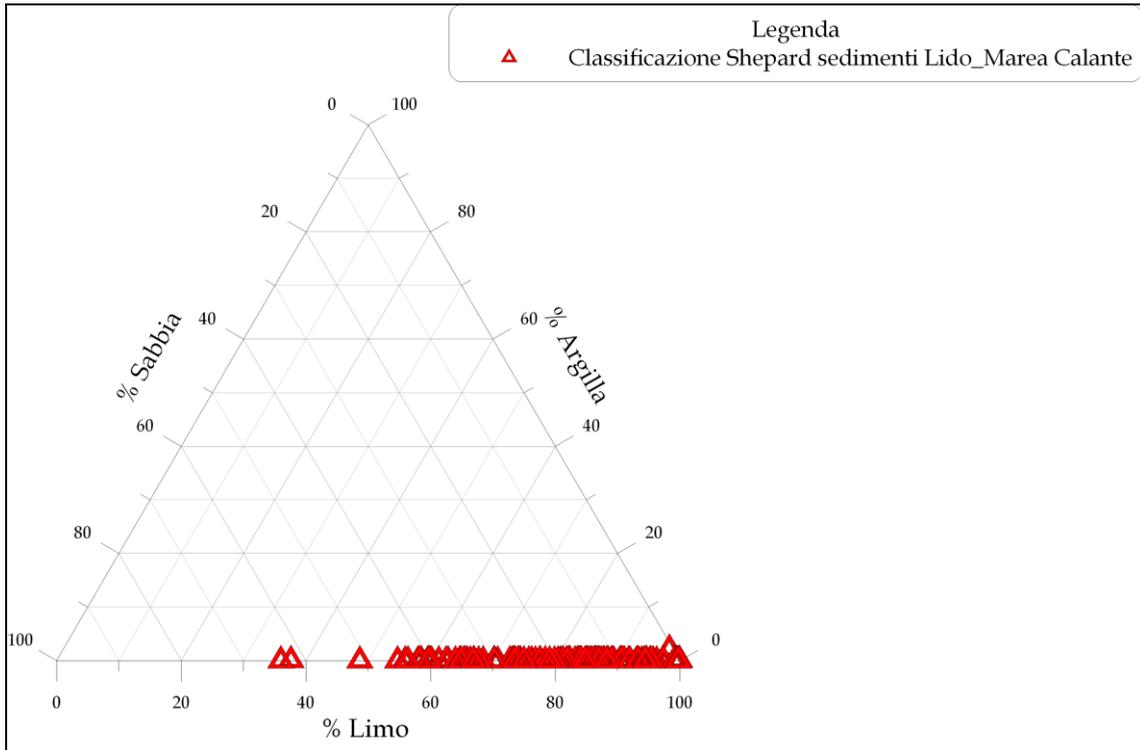


Figura 2.3. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni raccolti nei pressi della bocca di porto di Lido. Condizioni di marea calante.

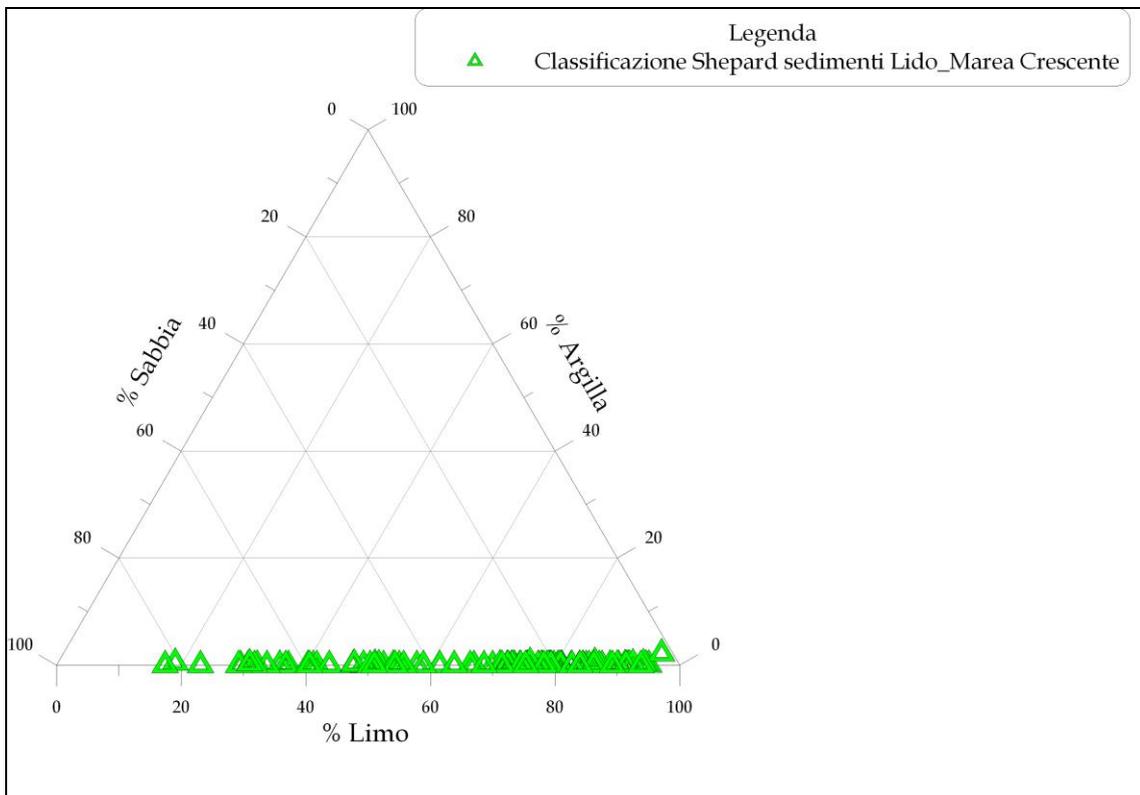


Figura 2.4. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni raccolti nei pressi della bocca di porto di Lido. Condizioni di marea crescente.

2.1.3 Concentrazione del particolato solido in sospensione

Per quanto concerne le concentrazioni misurate sui campioni d'acqua prelevati, il valore caratteristico medio durante la fase calante di marea risulta pari a 10.2 mg/l mentre quello relativo alla fase crescente è di 16.1 mg/l. In Figura 2.5 è riportato l'istogramma frequenza - concentrazione per i dati raccolti durante le campagne.

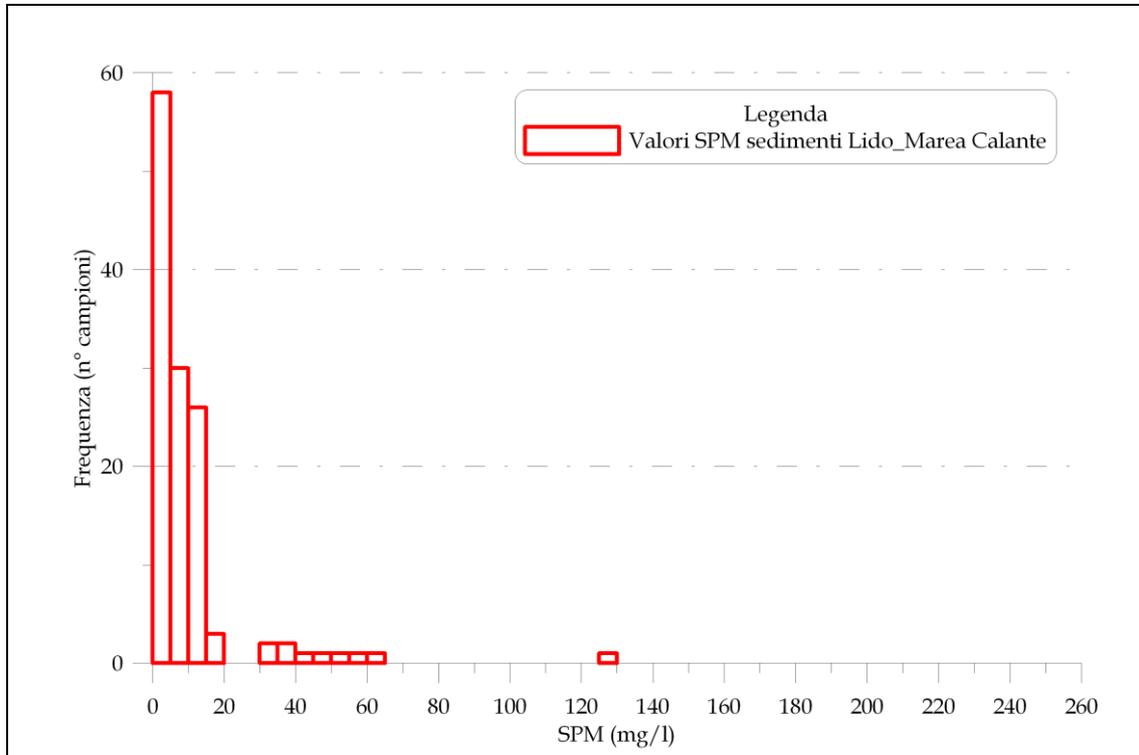


Figura 2.5. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione caratteristici della bocca di porto di Lido. Condizioni di marea calante.

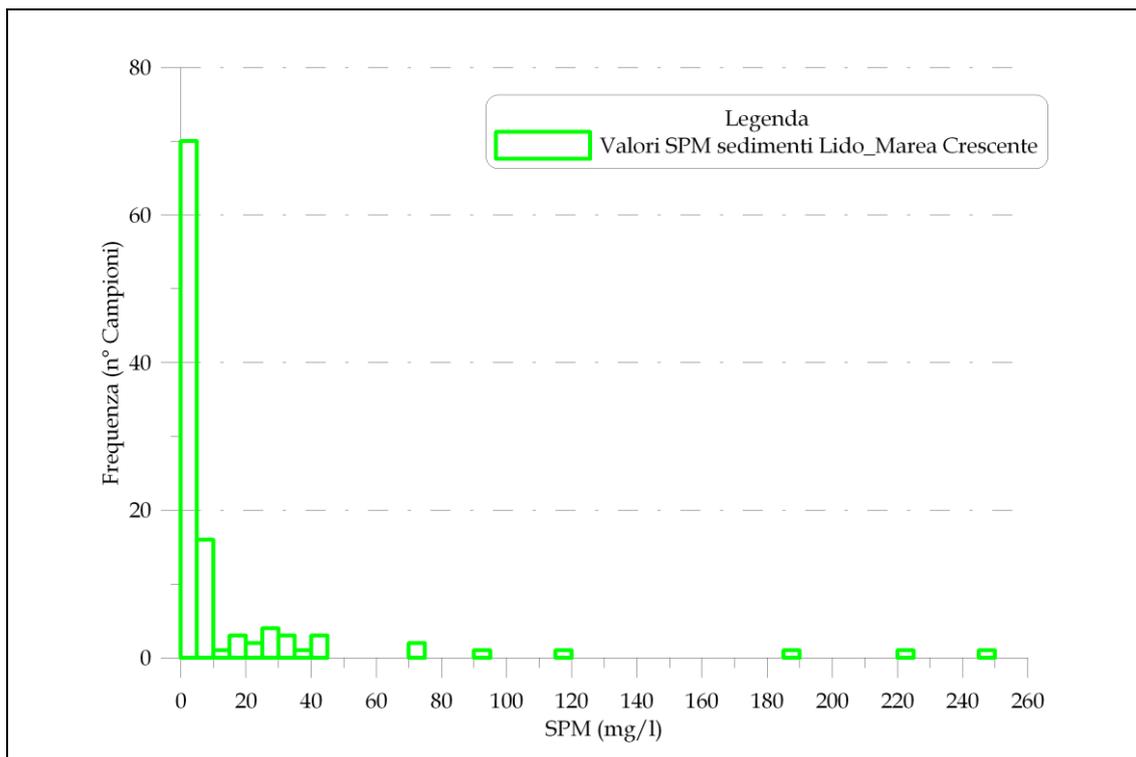


Figura 2.6. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione caratteristici della bocca di porto di Lido. Condizioni di marea crescente.

#### 2.1.4 Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi

Durante le sette campagne di monitoraggio effettuate nei pressi della bocca di porto di Lido (LB61 - LB66 e "Recesso") sono stati effettuati numerosi transetti con strumentazione ADCP *vessel-mounted* al fine di misurare le caratteristiche idrodinamiche delle correnti durante le differenti condizioni mareali. A titolo di esempio (si rimanda ai relativi rapporti per una esauriente presentazione dei dati) nelle Figure 2.7 e 2.8 sono riportati rispettivamente i profili di velocità e direzione ricavati per il punto notevole ADCP durante la campagne LB65 del 20-21 Dicembre 2010. Come è evidente, la variabilità dei profili di velocità in relazione alle differenti fasi mareali investigate è piuttosto sensibile, mentre risultano più stabili le direzioni (300 - 310° N per la fase crescente e 120 - 140° N per quella calante).

Nella figura 2.9 sono invece riportati, per lo stesso punto, i profili di concentrazione ricavati dalla calibrazione dei dati di *backscatter* misurati dalla strumentazione ADCP. Le concentrazioni in questo caso variano da un minimo di 2.0 mg/l, ottenuto per la parte più superficiale della colonna d'acqua in condizioni di inversione mareale, ai 27 mg/ del fondo ottenuti in condizioni di marea crescente.

Inoltre in Figura 2.10 e 2.11 è rappresentato un esempio di studio della torbidità prodotta durante le attività di rilascio pietrame per la costruzione della diga foranea, tra i tanti effettuati durante il monitoraggio ai cantieri della bocca di porto di Lido. In particolare si propone lo studio realizzato durante la campagna LB65 dell'impatto generato dall'imbarcazione Lybra. Nelle figure è possibile riconoscere la posizione esatta dell'imbarcazione durante il monitoraggio, l'area di impatto totale individuata sulla base delle caratteristiche idrodinamiche del campo di corrente, il transetto effettuato e le sezioni studio nelle quali si è studiata la propagazione del pennacchio di torbida.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

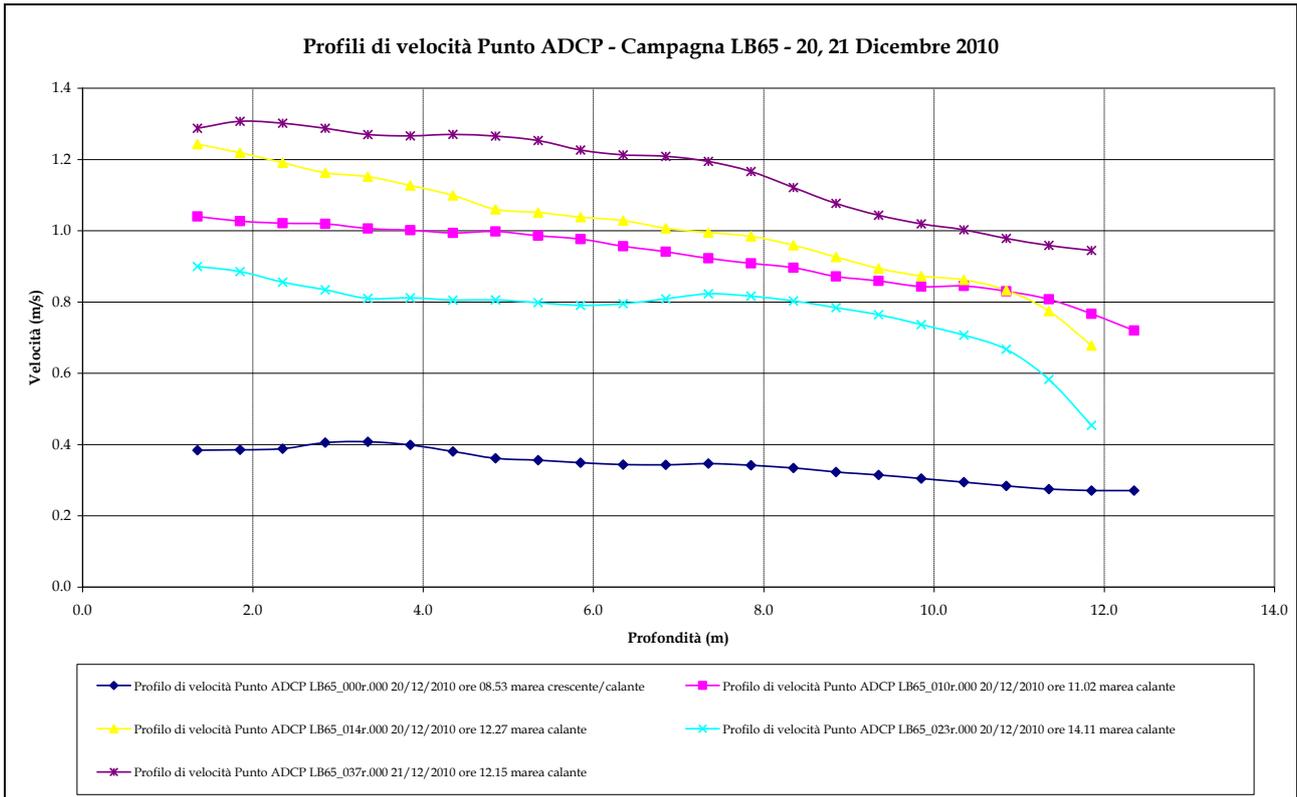


Figura 2.7. Profili di velocità ricavati durante la campagna LB65 (Dicembre 2010) nei pressi del punto notevole ADCP.

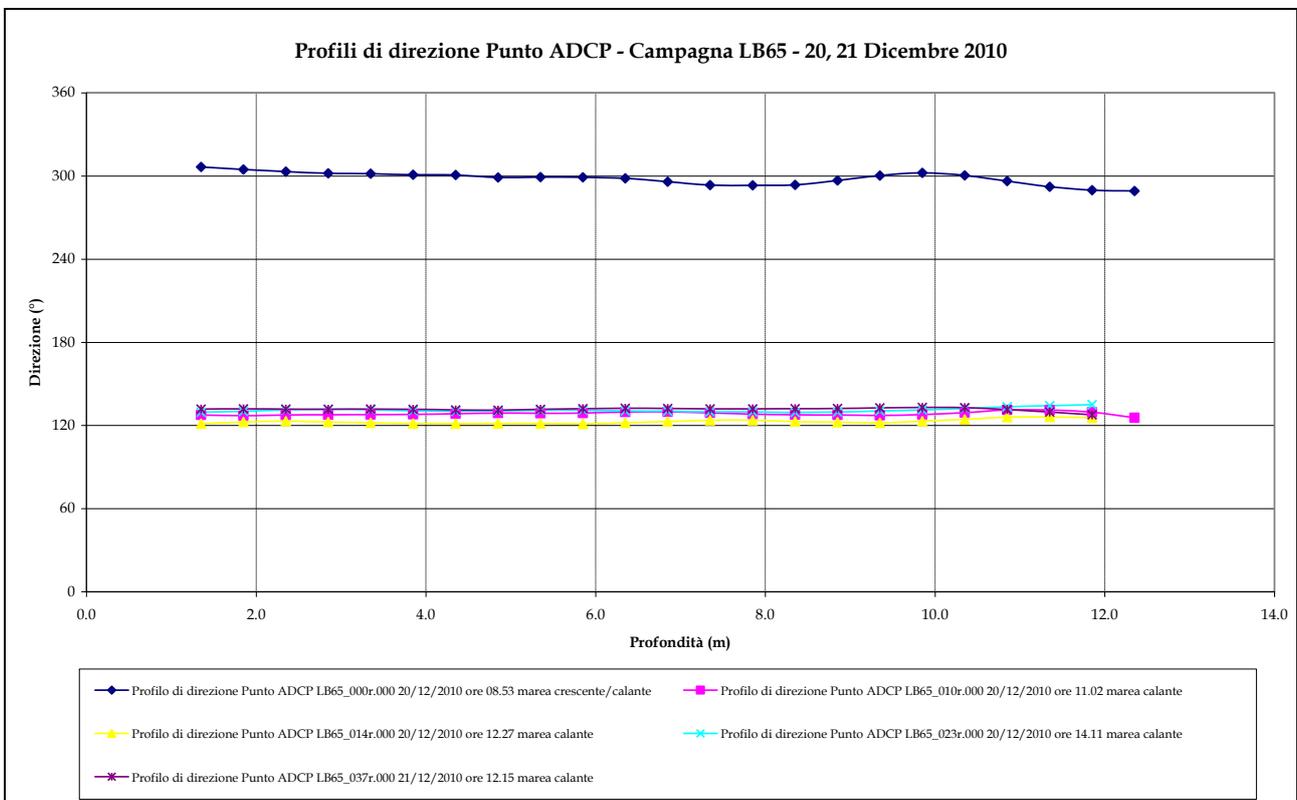


Figura 2.8. Profili di direzione ricavati durante la campagna LB65 (Dicembre 2010) nei pressi del punto notevole ADCP.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

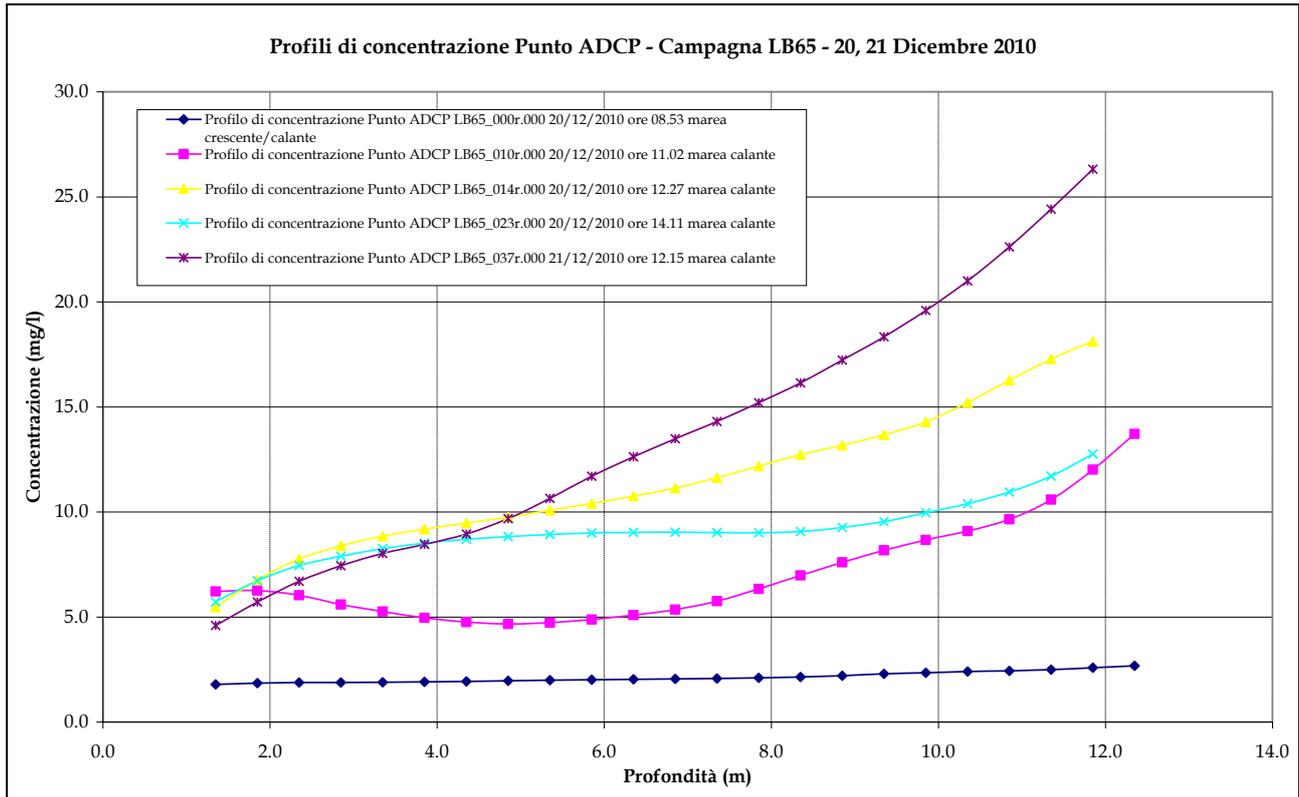


Figura 2.9. Profili di concentrazione ricavati durante la campagna LB65 (Dicembre 2010) nei pressi del punto notevole ADCP.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

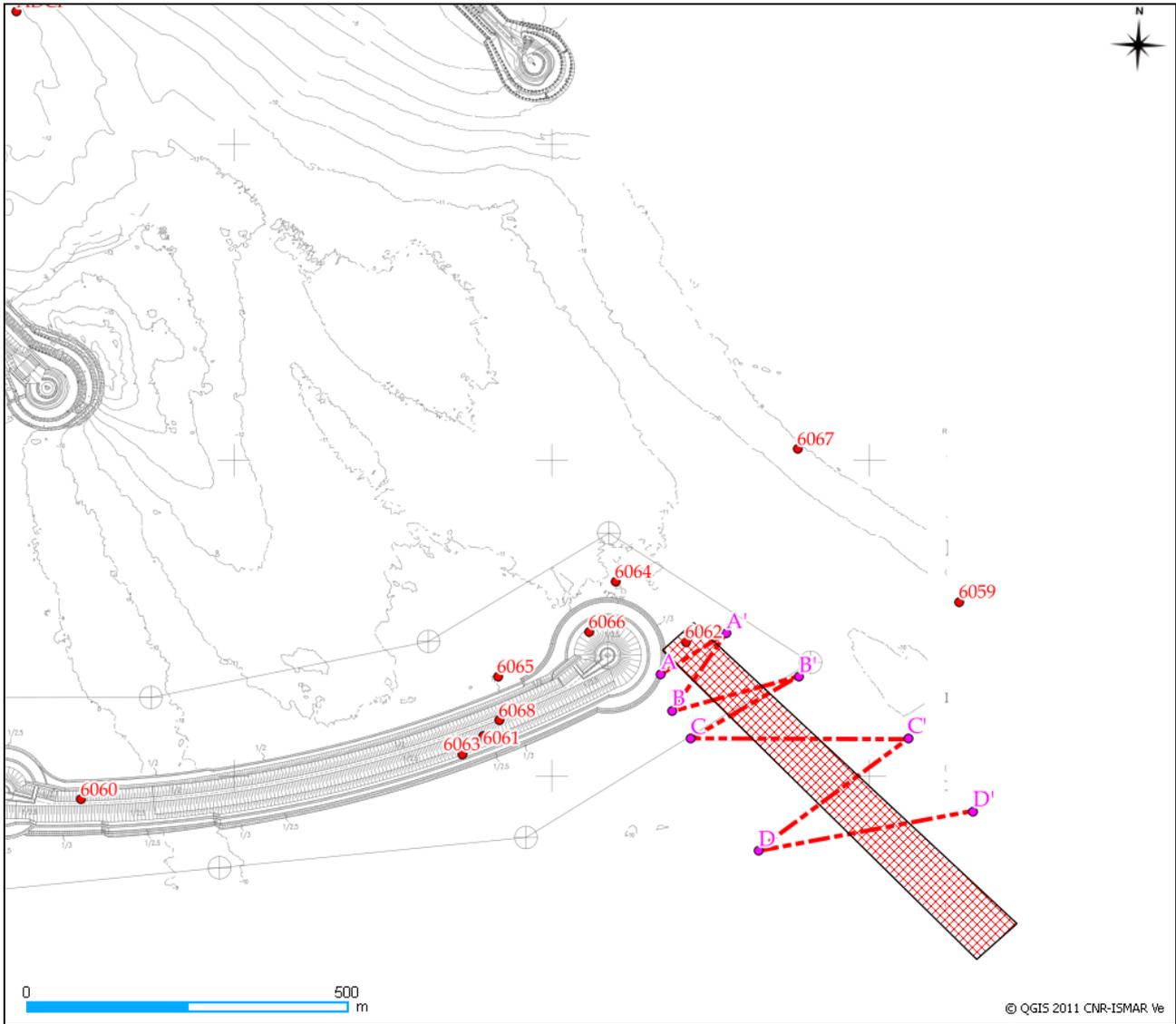
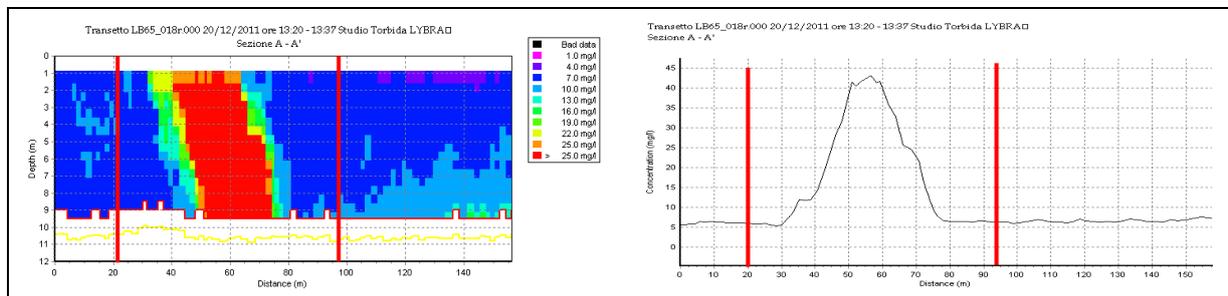
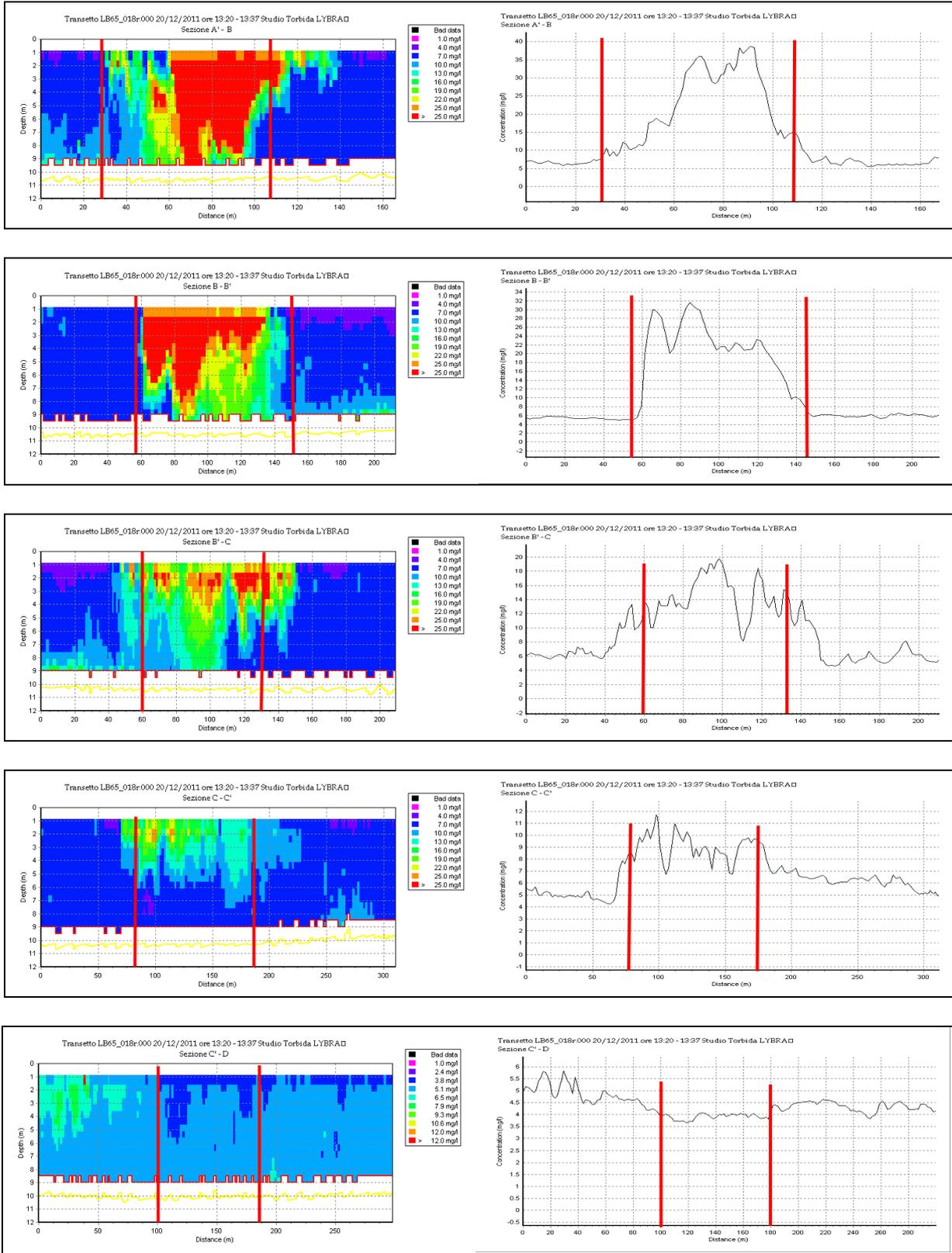


Figura 2.10. Transetto di studio della produzione di torbidità, AIT e punti notevoli. Monitoraggio del mezzo Lybra. Transetto LB65\_018r.000 del 20/12/2010 ore 13.20. Marea Calante.



# CORILA

## ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

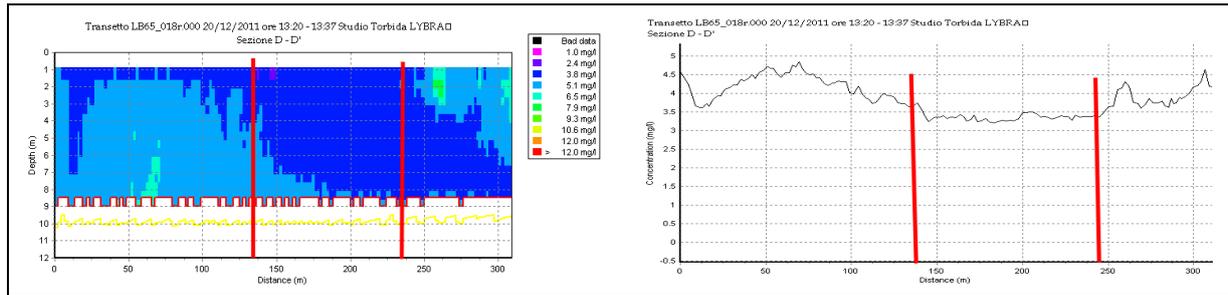


Figura 2.11. Sezioni di monitoraggio della torbidità a valle del mezzo Lybra e concentrazioni medie colonna sulla verticale. Transetto LB65\_018r.000 del 20/12/2010 ore 13.20. Marea Calante. In rosso sono segnati i limiti della AIT individuata in Figura2.10.

## 2.2 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Malamocco

Le concentrazioni del particolato solido in sospensione relative alla bocca di porto di Malamocco sono state determinate a partire dai dati dei campioni raccolti sia durante la campagna MB61 (Dicembre 2010) sia dalla campagna MB62 (Gennaio-Febbraio 2011).

Come è evidente dalle Figure 1.8 e 1.11, il campo sperimentale nella bocca di porto di Malamocco è meno complesso rispetto a quello stabilito per la bocca di porto di Lido. Le sezioni di interesse lungo le quali sono stati effettuati i rilievi ADCP sono un numero decisamente inferiore rispetto a quelle di Lido. La situazione di questa bocca di porto presenta però alcune interessanti caratteristiche legate alla morfologia ed idrodinamica del bacino di evoluzione della conca di navigazione. Per una serie di aspetti trattati nei vari rapporti e che qui sono riassunti, l'idrodinamica nel bacino di evoluzione si caratterizza per la presenza di un vortice che influenza la circolazione in diverse circostanze con modalità dipendenti dalla situazione di marea.

### 2.2.1 Distribuzione dimensionale dei sedimenti

Il diametro caratteristico d50 medio dei sedimenti campionati nei pressi della bocca di porto di Malamocco durante le campagne di monitoraggio (Figura 2.12 e 2.13) risulta variabile tra i 38.1  $\mu\text{m}$  della fase calante ai 36.8  $\mu\text{m}$  di quella crescente; non si riscontrano quindi differenze apprezzabili nelle caratteristiche generali dello spettro dei materiali in transito nelle diverse fasi. I valori del d50 risultano superiori rispetto quelli riscontrati nei pressi della bocca di porto di Lido. Per l'elaborazione sono stati utilizzati i dati delle campagne MB61 e MB62 rispettivamente del 02 Dicembre 2010 e 31 Gennaio 2010, 01, 04 Febbraio 2011.

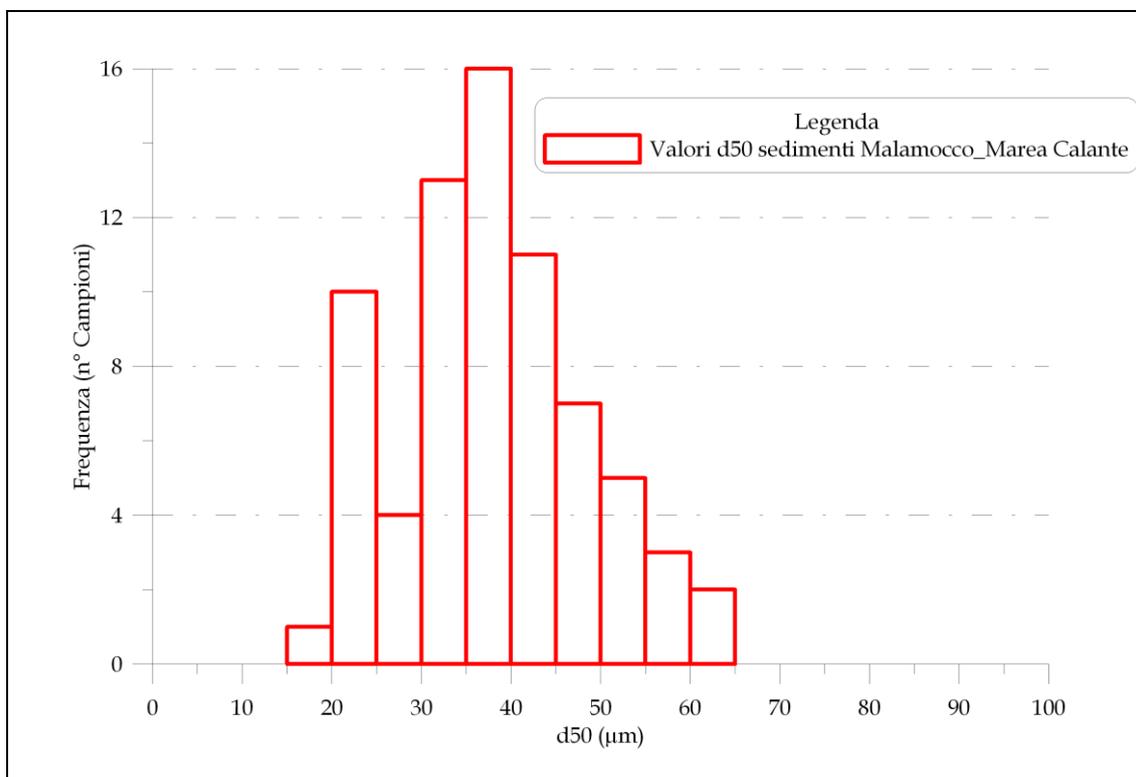


Figura 2.12. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici della bocca di porto di Malamocco. Condizioni di marea calante.

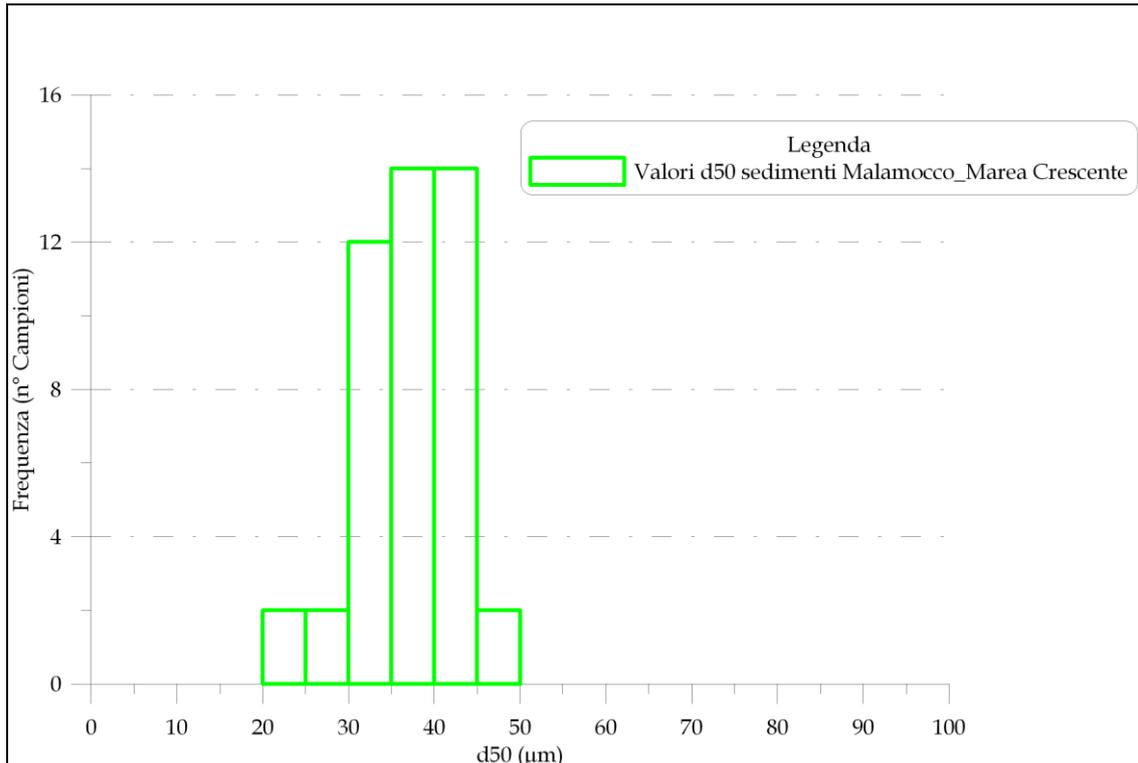


Figura 2.13. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici della bocca di porto di Malamocco. Condizioni di marea crescente.

### 2.2.2 Classificazione granulometrica del particolato solido in sospensione

I sedimenti che vengono trasportati in sospensione dalle correnti attraverso la bocca di porto di Malamocco presentano alcune differenze rispetto quelli che transitano nella bocca di Lido. Infatti, considerando le diverse frazioni granulometriche, la cui percentuale è riportata negli schemi di Figura 2.14 e 2.15, si nota che le percentuali della frazione limosa si distribuiscono su di un intervallo molto meno ampio rispetto a quelli ottenuti sui campioni prelevati presso la bocca di porto di Lido, in particolare per quanto riguarda i dati raccolti durante il crescente, nel quale le percentuali di limo sono superiori sempre al 75%. Secondo la classificazione di Shepard, infatti, i sedimenti della fase crescente sono identificabili come limi, mentre quelli della fase calante sono classificabili come limi sabbiosi. Anche in questo caso si sottolinea l'assenza pressoché totale della frazione argillosa e una scarsa differenziazione fra le caratteristiche dei materiali nelle fasi calante e crescente.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

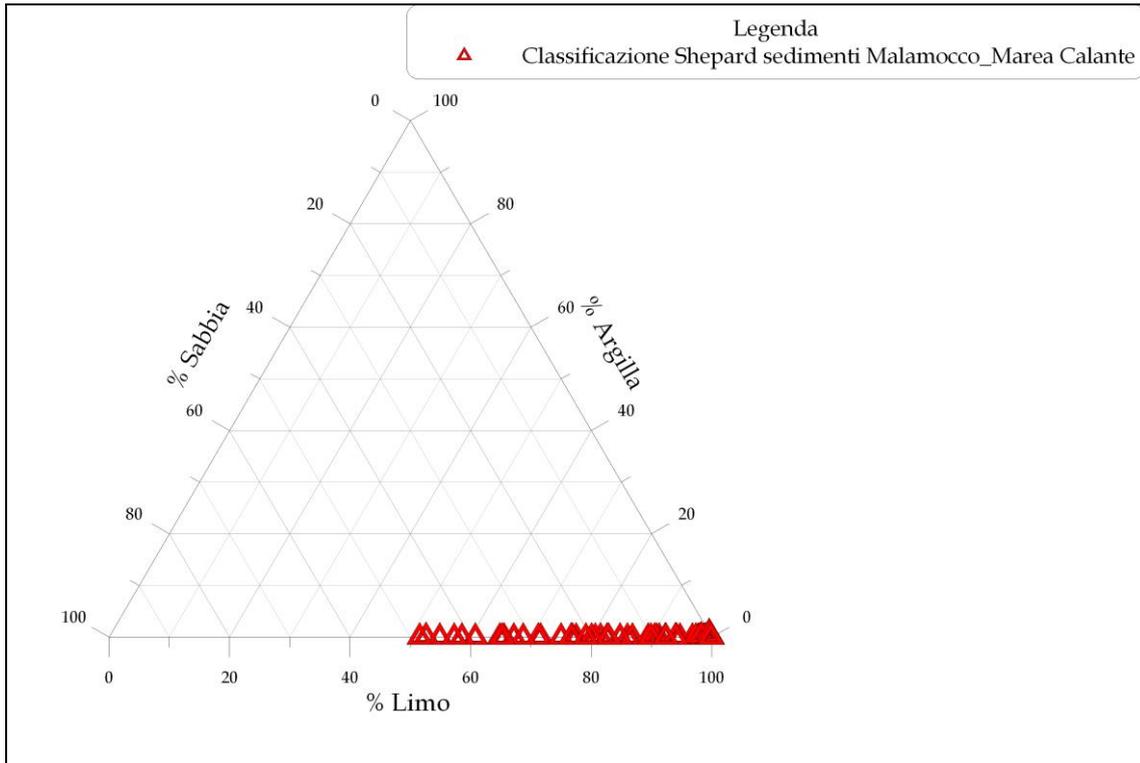


Figura 2.14. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni collezionati nei pressi della bocca di porto di Malamocco. Condizioni di marea calante.

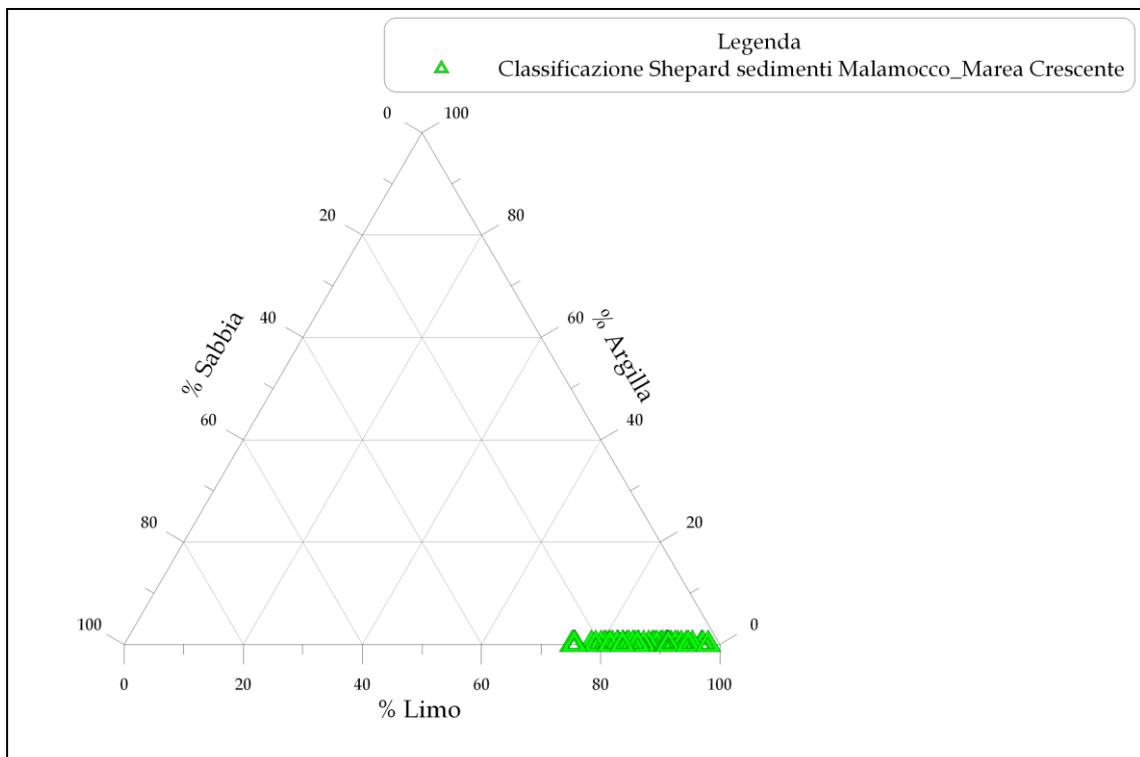


Figura 2.15. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni collezionati nei pressi della bocca di porto di Malamocco. Condizioni di marea crescente.

2.2.3 Concentrazione del particolato solido in sospensione

In Figura 2.16 è presentato l'istogramma di frequenza con le relative concentrazioni caratteristiche per la sola fase mareale calante mentre in Figura 2.17 quello relativo alla fase crescente. Le concentrazioni medie, generalmente più basse di quelle ottenute per la bocca di porto di Lido, mostrano una leggera differenza tra calante e crescente di marea con un valore medio pari a 3.9 mg/l, durante la fase calante di marea, e a 5.7 mg/l, durante la fase crescente.

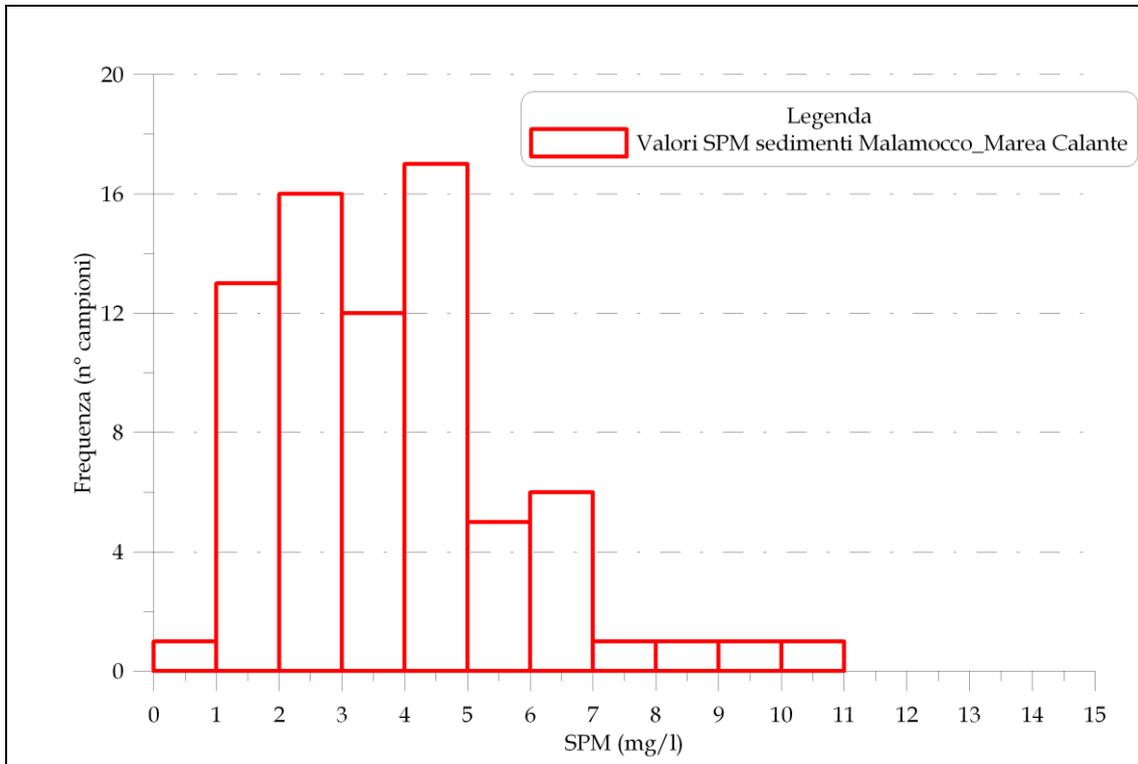


Figura 2.16. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione nella bocca di porto di Malamocco. Condizioni di marea calante.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

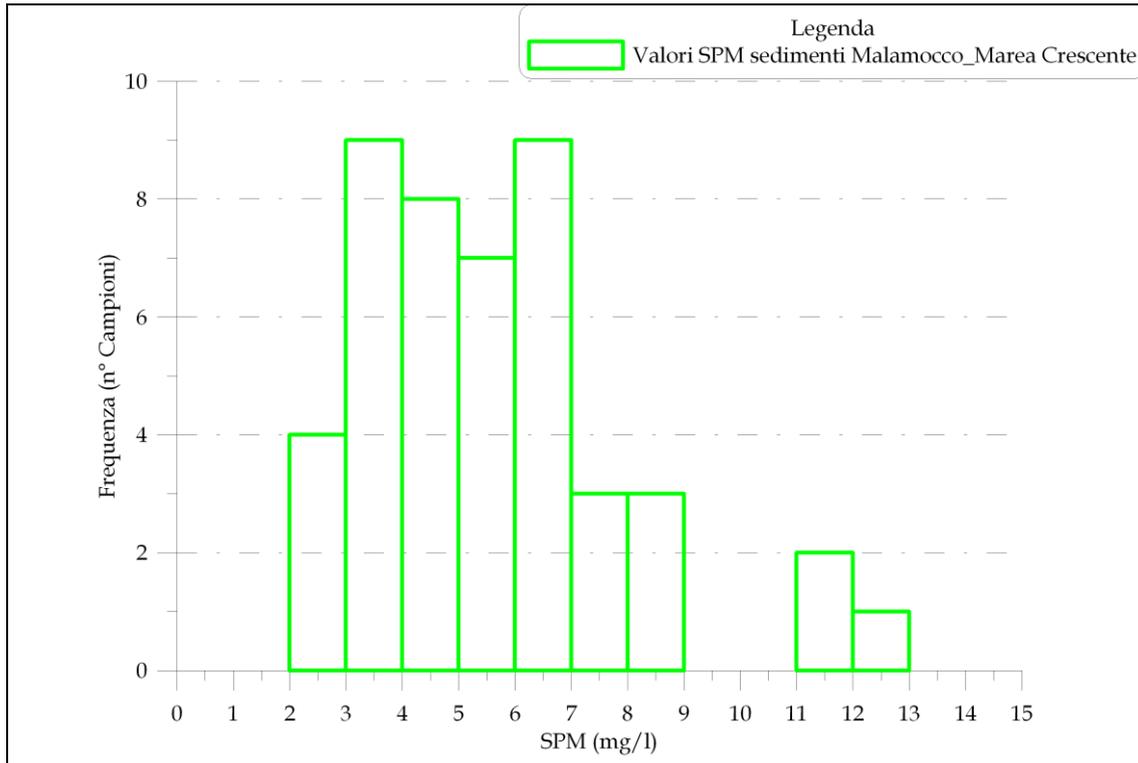


Figura 2.16. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione nella bocca di porto di Malamocco. Condizioni di marea crescente.

#### 2.2.4 Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi

Durante le campagne di monitoraggio effettuate presso la bocca di porto di Malamocco (MB61 e MB62) sono state effettuati numerosi transetti con strumentazione ADCP *vessel-mounted* al fine di misurare le caratteristiche idrodinamiche delle correnti durante le differenti condizioni mareali. A titolo di esempio (si rimanda infatti ai Rapporti specifici per una più esauriente descrizione dei dati) nelle Figure 2.17 e 2.18 sono riportati rispettivamente i profili di velocità e direzione ricavati per il punto notevole ADCPm.

Si osserva come la velocità della corrente durante l'intervallo di misura ha assunto valori moderatamente elevati (fino a 1.2 m/s presso la superficie), mentre la direzione si è mantenuta su valori di circa 300° N, durante il crescente, mentre, durante il calante, si è mantenuta tra i 90° N e i 120° N manifestando una limitata variabilità.

La Figura 2.19 rappresenta i profili di concentrazione ricavati dalla calibrazione dei dati di *backscatter* con i valori di concentrazione misurati nei campioni raccolti. I valori crescono dalla superficie al fondo secondo il normale andamento della concentrazione dei sedimenti.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

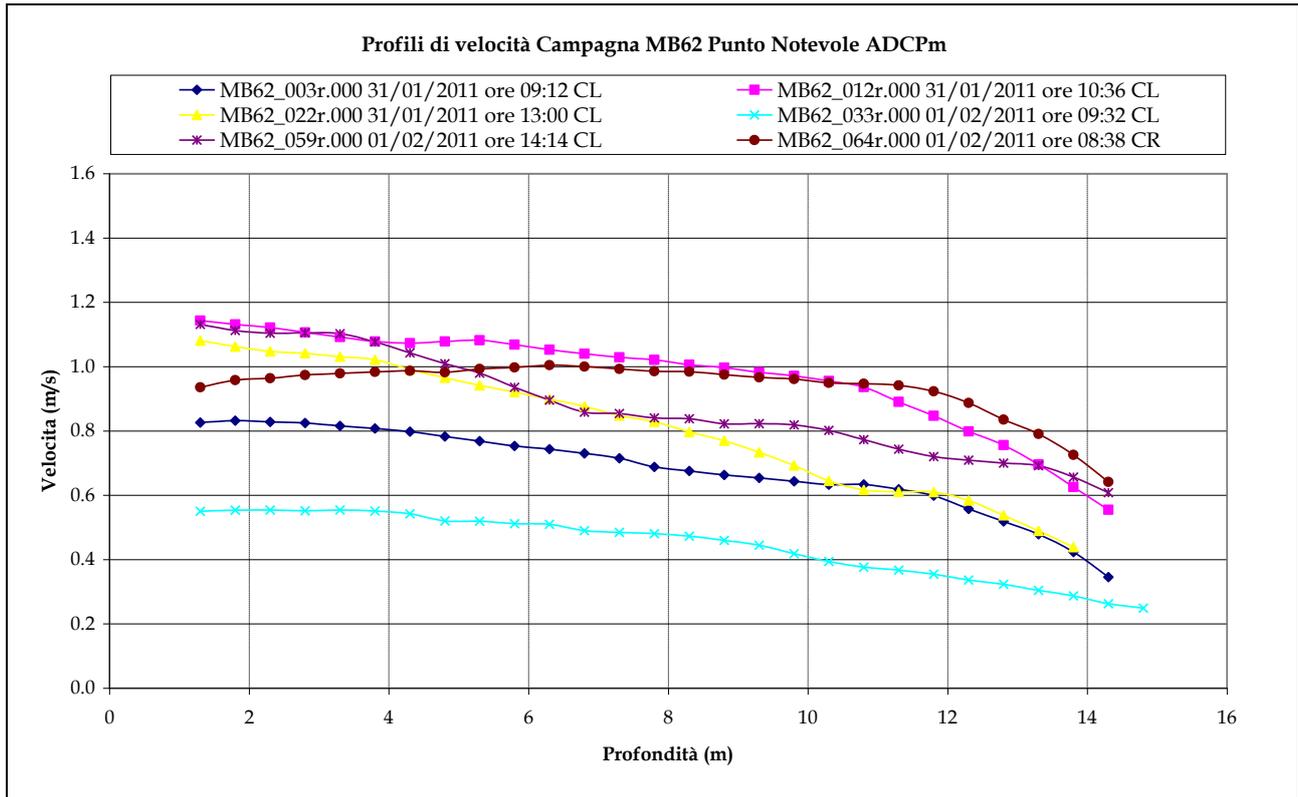


Figura 2.17. Profili di velocità registrati durante la campagna MB62 (Gennaio-Febbraio 2011) nei pressi del punto notevole ADCPm.

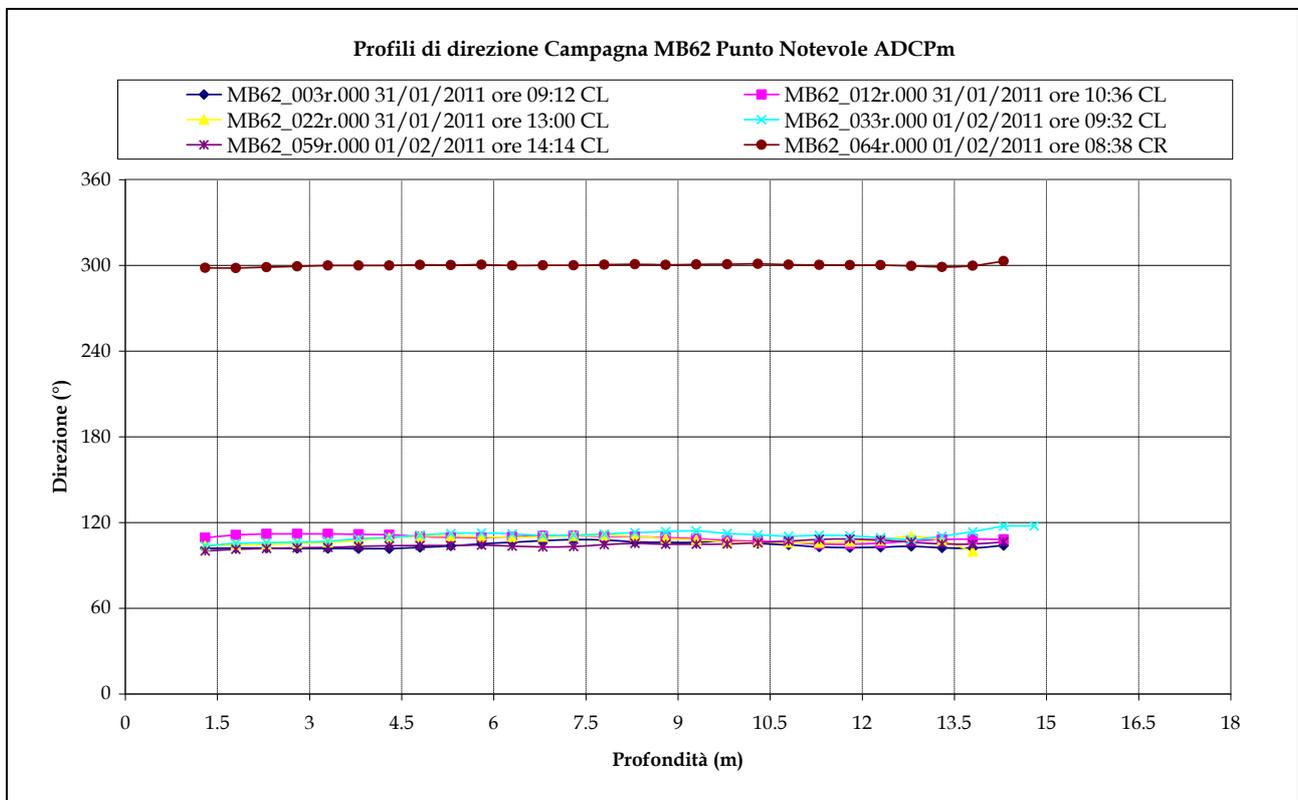


Figura 2.18. Profili di direzione registrati durante la campagna MB62 (Gennaio-Febbraio 2011) nei pressi del punto notevole ADCPm.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

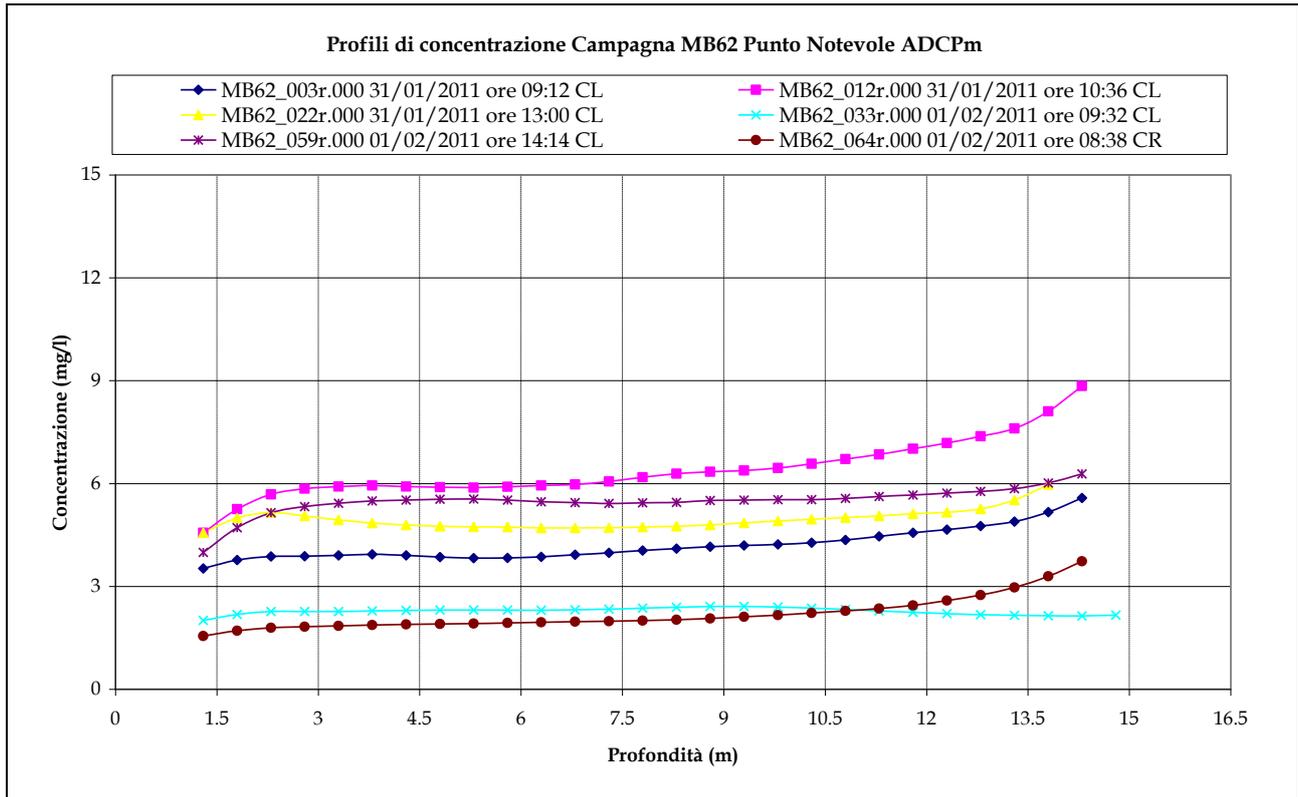


Figura 2.19. Profili di concentrazione registrati durante la campagna MB62 (Gennaio-Febbraio 2011) nei pressi del punto notevole ADCPm.

2.2.5 Idrodinamica del bacino di evoluzione della conca di navigazione

Di seguito, nelle Figure 2.20 e 2.21 vengono riportate due immagini che descrivono le caratteristiche generali del campo di velocità all'interno del bacino di evoluzione della conca di navigazione. È possibile osservare la presenza di una superficie di separazione dei due flussi obliqua e ben definita. Tale superficie è localizzata in una posizione che corrisponde con il prolungamento del canale che accede all'area di costruzione dei cassoni e alla zona in cui è posizionato il Sincrolift®.

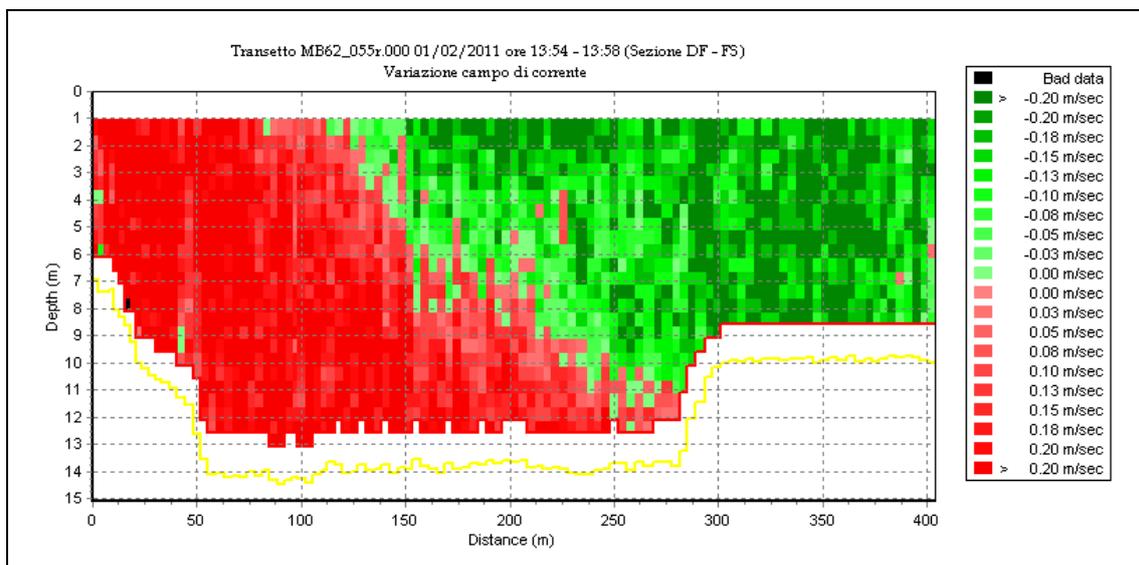


Figura 2.20. Sezione del vortice nel bacino di evoluzione della conca di navigazione. Configurazione del campo di velocità durante condizioni di marea calante.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 2.21. Proiezione della direzione di corrente media lungo il transetto sulla sezione DF - FS. La disposizione dei vettori evidenzia la forma del vortice che si instaura nel bacino di evoluzione della conca di navigazione durante le fasi di flusso e riflusso. Condizioni di marea calante.

### 2.3 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Chioggia

Le campagne di monitoraggio effettuate presso la bocca di porto di Chioggia (Figure 1.6 e 1.10) hanno interessato in maggior misura il canale principale, coperto da quattro sezioni caratteristiche (180 - 182, C2A - C2B, C3A - C3B e C4A - C4B con i relativi punti notevoli ADCPch, C2, C3 e C4) e un'altra sezione posta più internamente, adiacente il porto rifugio lato laguna (C1A - C1B con il punto C1). Nell'elaborazioni sono stati utilizzati i dati delle campagne CB61 e CB62 rispettivamente del 03-04 Novembre 2010 e 17-18 Gennaio 2011.

#### 2.3.1 Distribuzione dimensionale dei sedimenti

Dall'istogramma delle frequenze dei diametri caratteristici del particolato solido in sospensione (Figura 2.22) si evidenzia che i diametri caratteristici del d50 risultano nettamente superiori a quelli riscontrati nelle bocche di porto di Lido e di Malamocco. I valori sono distribuiti su di un ampio spettro dimensionale, da circa 25  $\mu\text{m}$  fino ad arrivare ad oltre 100  $\mu\text{m}$ . Per la fase di marea calante, l'unica per altro investigata durante le campagne di misura, si ha un valore medio del d50 di 43.9  $\mu\text{m}$ .

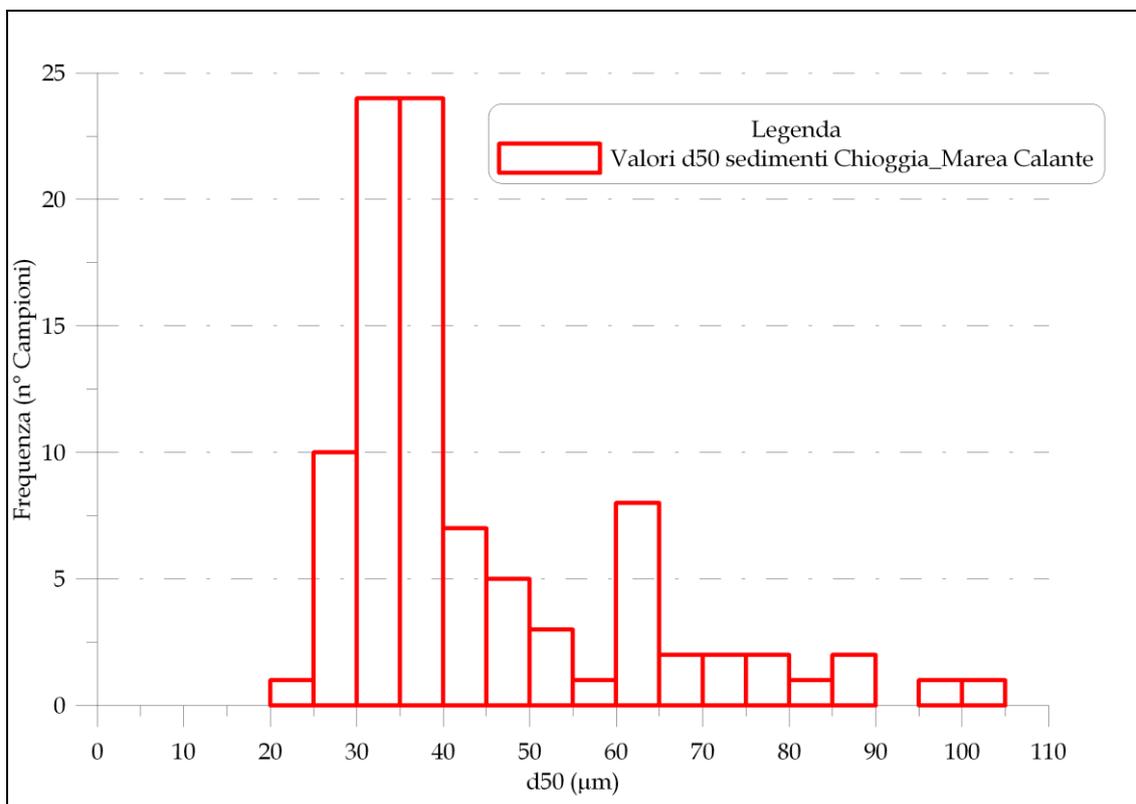


Figura 2.22. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici della bocca di porto di Chioggia. Condizioni di marea calante.

2.3.2 Classificazione granulometrica del particolato solido in sospensione

Il rapporto tra le varie classi granulometriche che caratterizzano il particolato solido sospeso campionato presso la bocca di porto di Chioggia durante le campagne CB61 e CB2 rispettivamente di Novembre 2010 e Gennaio 2011, rappresentato in Figura 2.23, mostra come in questo caso si abbia una variabilità moderata del rapporto tra frazione limosa e sabbiosa. La quantità di sabbia, complementare a quella limosa, varia da un minimo dell'8% del totale ad un massimo del 73%. La componente argillosa è anche qui pressoché sempre assente.

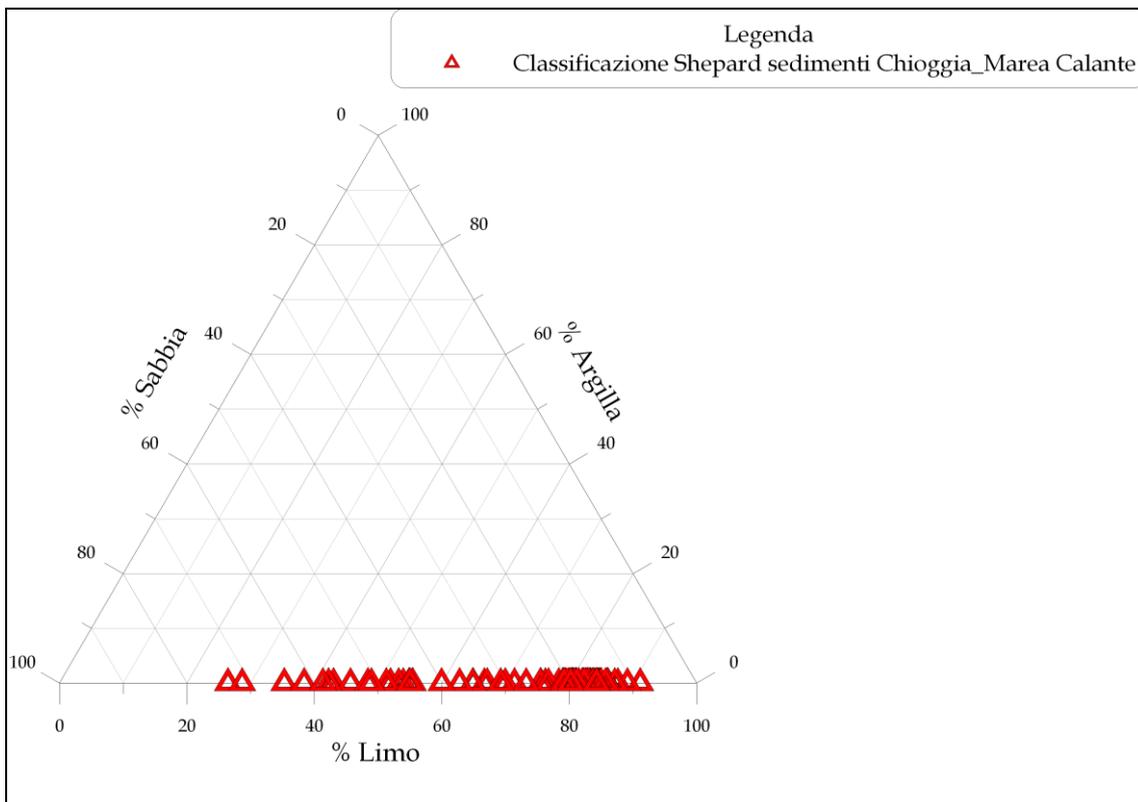


Figura 2.23. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni collezionati nei pressi della bocca di porto di Chioggia. Condizioni di marea calante.

2.3.3 Concentrazione del particolato solido in sospensione

Le concentrazioni misurate nei campioni collezionati nei pressi dei punti notevoli in bocca di porto di Chioggia (Figura 2.24) assumono valori discretamente variabili. Il valore medio di concentrazione misurato durante il calante di marea risulta pari a 9.4 mg/l.

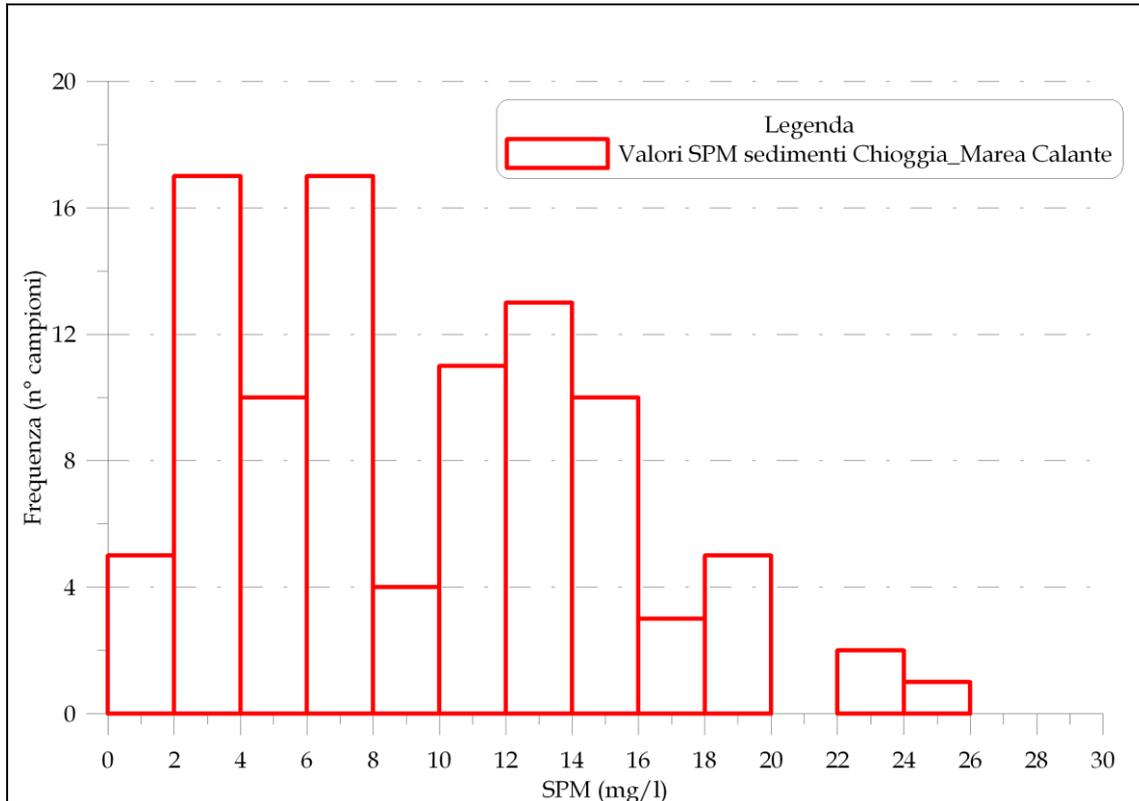


Figura 2.24. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione caratteristici della bocca di porto di Chioggia. Condizioni di marea calante.

#### 2.3.4 Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi

Nelle Figure 2.25 - 2.26, a titolo di esempio, sono mostrati i profili di velocità e direzione elaborati dai dati raccolti con strumentazione ADCP *vessel-mounted* lungo la sezione 180-182 nei pressi del punto notevole ADCPch. In questo caso le velocità misurate hanno superato sempre gli 0.5 m/s attestandosi talvolta a valori intorno ad 1.0 m/s nella parte più superficiale della colonna d'acqua. La direzione durante la fase di marea calante assume valori tra gli 80° N e 100° N.

I profili di Figura 2.27, relativi al punto ADCPch, mostrano l'andamento della concentrazione lungo la colonna d'acqua. I valori più elevati si riscontrano alle maggiori profondità. Per una trattazione più completa delle condizioni idrodinamiche e dell'andamento della concentrazione si rimanda alla reportistica specifica.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

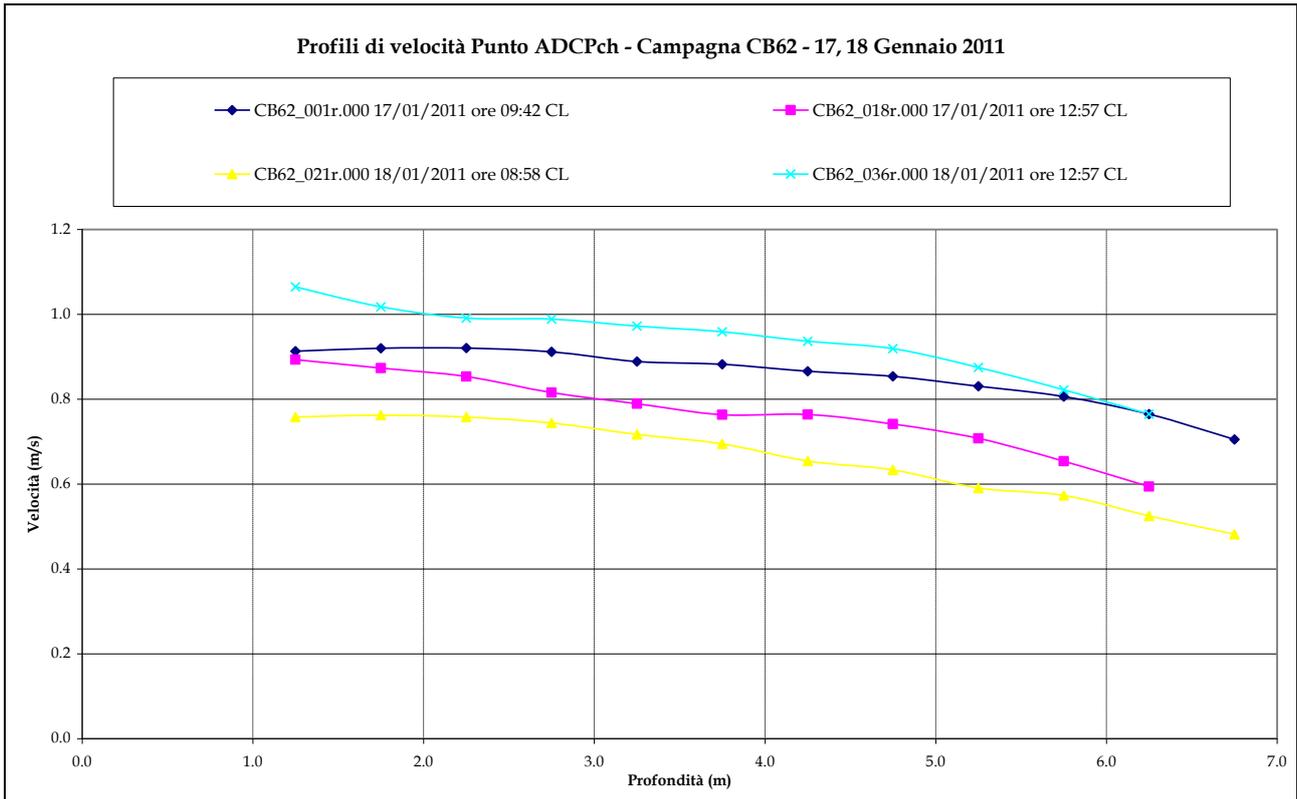


Figura 2.25. Profili di velocità registrati durante la campagna CH59 (Maggio 2009) nei pressi del punto notevole ADCPch.

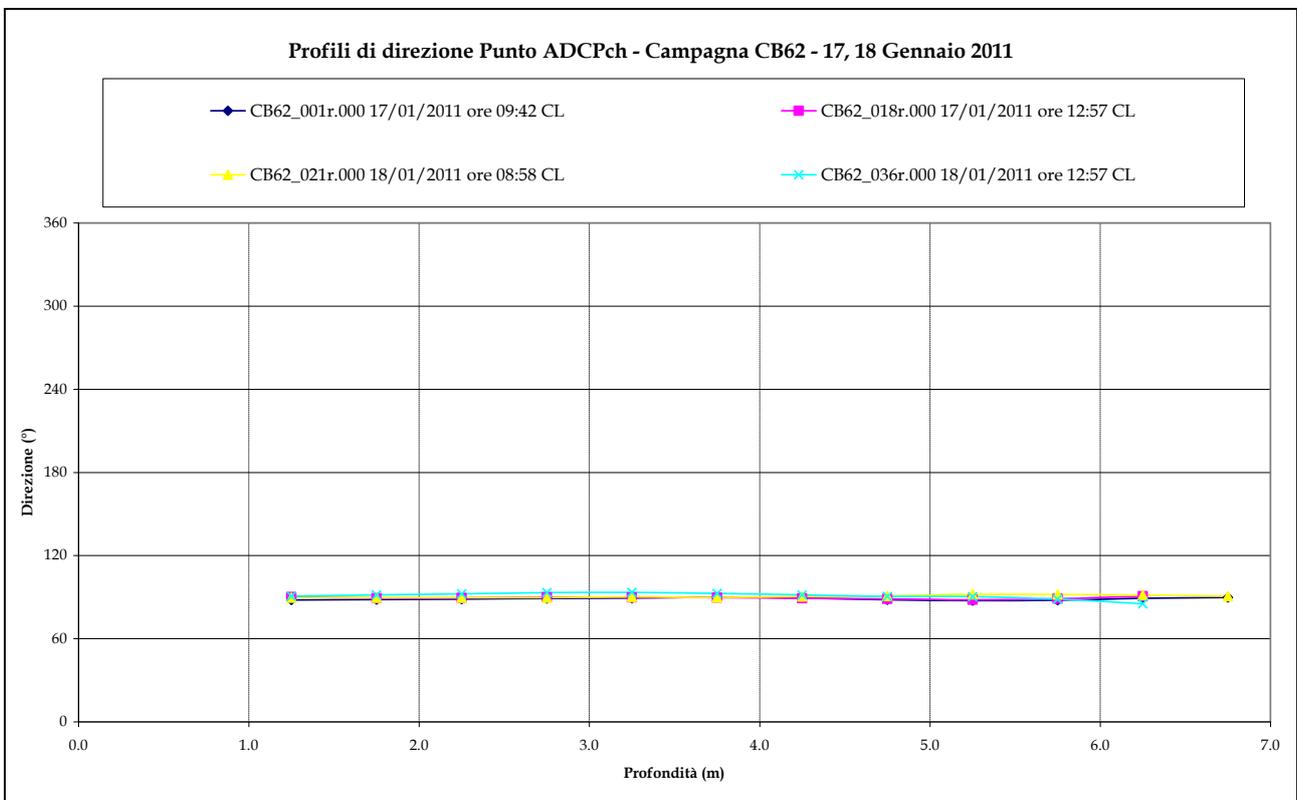


Figura 2.26. Profili di direzione registrati durante la campagna CH59 (Maggio 2009) nei pressi del punto notevole ADCPch.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

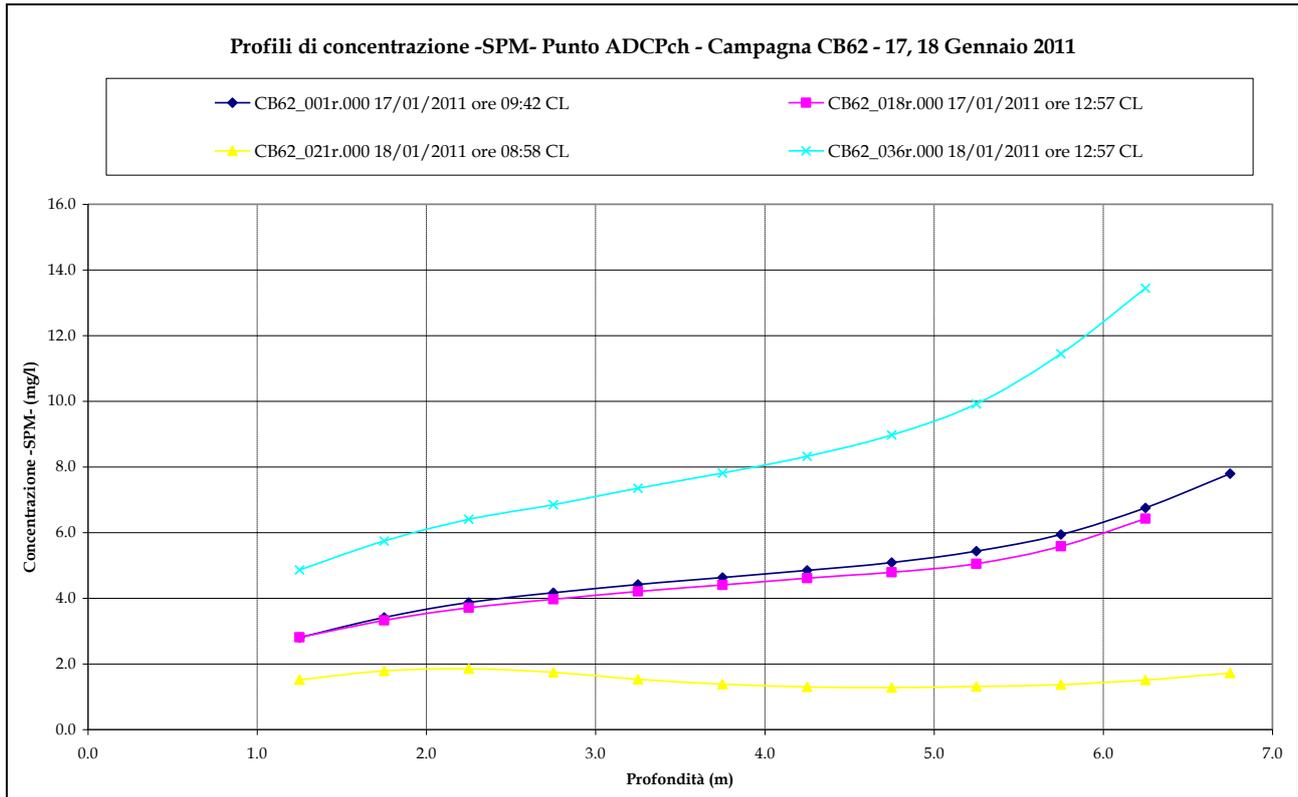


Figura 2.27. Profili di concentrazione registrati durante la campagna CH59 (Maggio 2009) nei pressi del punto notevole ADCPch.

A titolo di esempio, in Figura 2.28 si può osservare la distribuzione spaziale della concentrazione dei solidi trasportati in sospensione dalla corrente lungo la sezione 180 - 182. I dati sono stati ottenuti dalla calibrazione del segnale di *backscatter* misurato dalla strumentazione ADCP *vessel mounted* (metodo Sediview®).

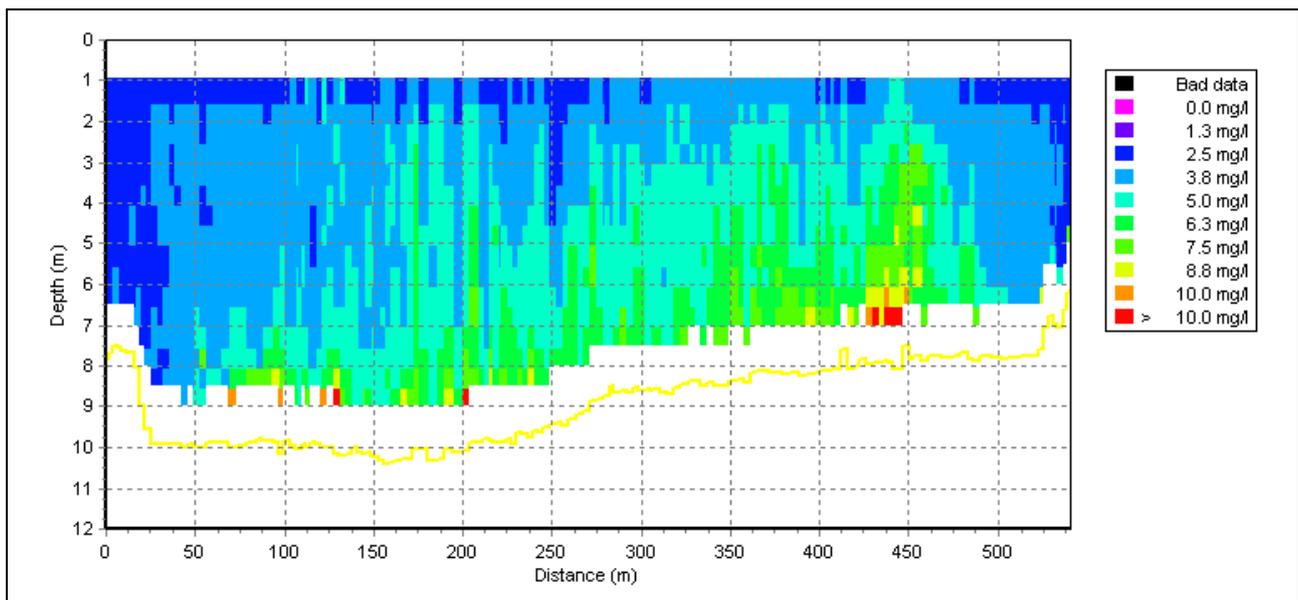


Figura 2.28. Valori di concentrazione del SPM lungo la sezione 180 - 182. Transetto CB62\_001r.000 del 17/01/2011 ore 09:34. Condizioni di marea calante.

### **3. INDAGINE DETTAGLIATA SULLA DISTRIBUZIONE E SULLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SOSPESI IN SEZIONI DI INTERESSE**

#### **3.1 Sommario delle campagne di misura effettuate**

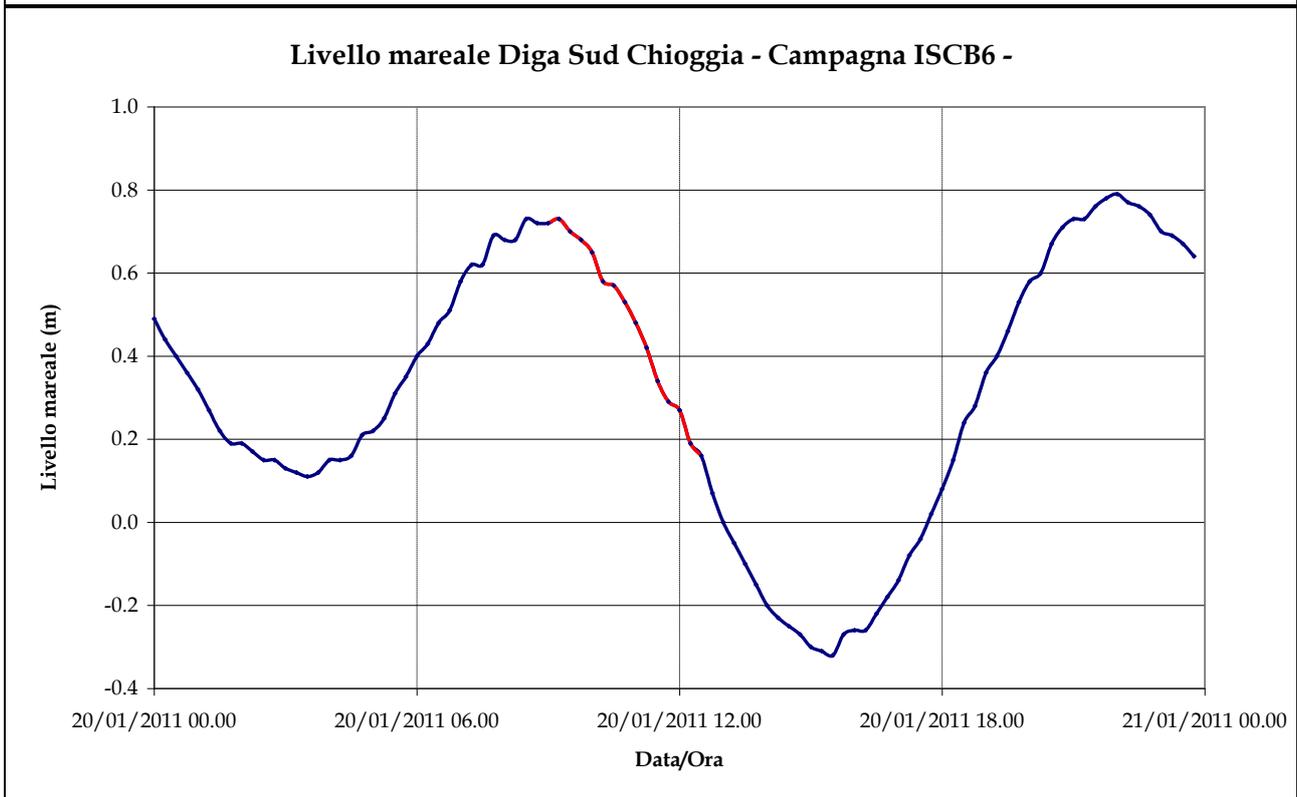
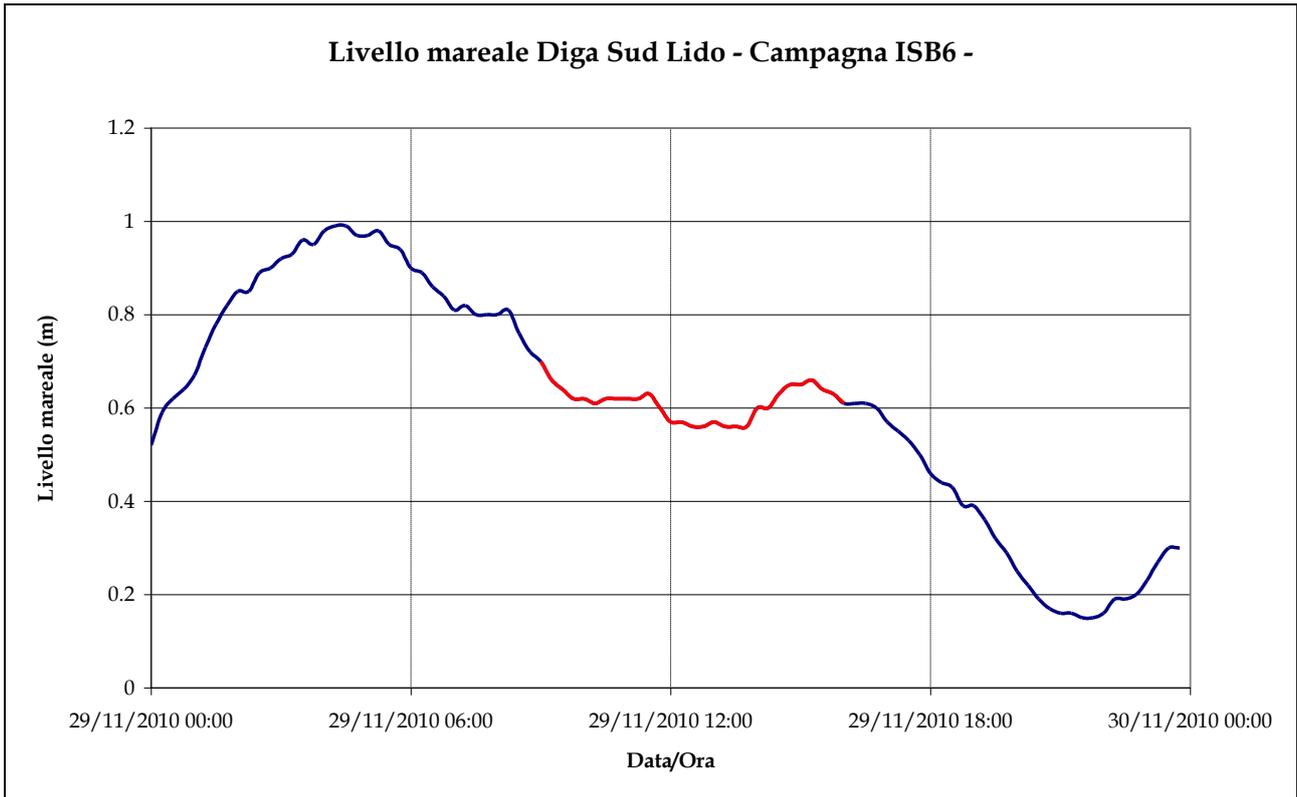
Le campagne dedicate allo studio delle condizioni idrodinamiche e alla stima della concentrazione del particolato solido in sospensione in corrispondenza delle sezioni di interesse individuate hanno interessato ciascuna delle bocche di porto della laguna di Venezia (Figure 1.13, 1.14 e 1.15). In questa descrizione si fa riferimento, in particolare, alla campagna ISB6 (29 Novembre 2010) per le attività svolte alla bocca di Lido (sezione 80 - 82), alla campagna ISCB6 (20 Gennaio 2011) per le attività svolte presso la bocca di porto di Chioggia (sezione C4A - C4B) e alla campagna ISB6M (02 Febbraio 2011) per le attività svolte presso la bocca di porto di Malamocco (sezioni DN - DS).

Nella presente sezione sono descritti i principali risultati ottenuti durante le attività di campagna effettuate lungo le sezioni d'interesse. Gli orari riportati nel testo e nella grafica sono espressi come ora UT, mentre le profondità sono da intendersi riferite alla superficie della colonna d'acqua.

#### **3.2 Condizioni mareali durante le attività di misura**

In Figura 3.1 sono riportate le curve di marea registrate durante le attività di misura effettuate alle tre bocche di porto. Sono indicati anche gli intervalli durante i quali sono state effettuate le operazioni di misura, distinguendo in verde la fase di marea crescente ed in rosso la fase di marea calante. Si nota come le massime escursioni di marea, superiori ad 1 m, si siano verificate durante le attività di misura svolte presso la bocca di porto di Chioggia il giorno 20 Gennaio (campagna ISCB6) e presso la bocca di porto di Malamocco il giorno 02 Febbraio 2011 (campagna ISB6M). Durante la campagna di misura effettuata alla bocca di porto di Lido il 29 Novembre 2010, invece, si sono verificate escursioni di marea meno importanti. Questi grafici consentono una migliore interpretazione dei risultati descritti dato che le caratteristiche idrodinamiche e il trasporto del particolato solido in sospensione alle bocche di porto della laguna sono normalmente condizionati dall'escursione mareale, in assenza di fenomeni meteo marini significativi.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI



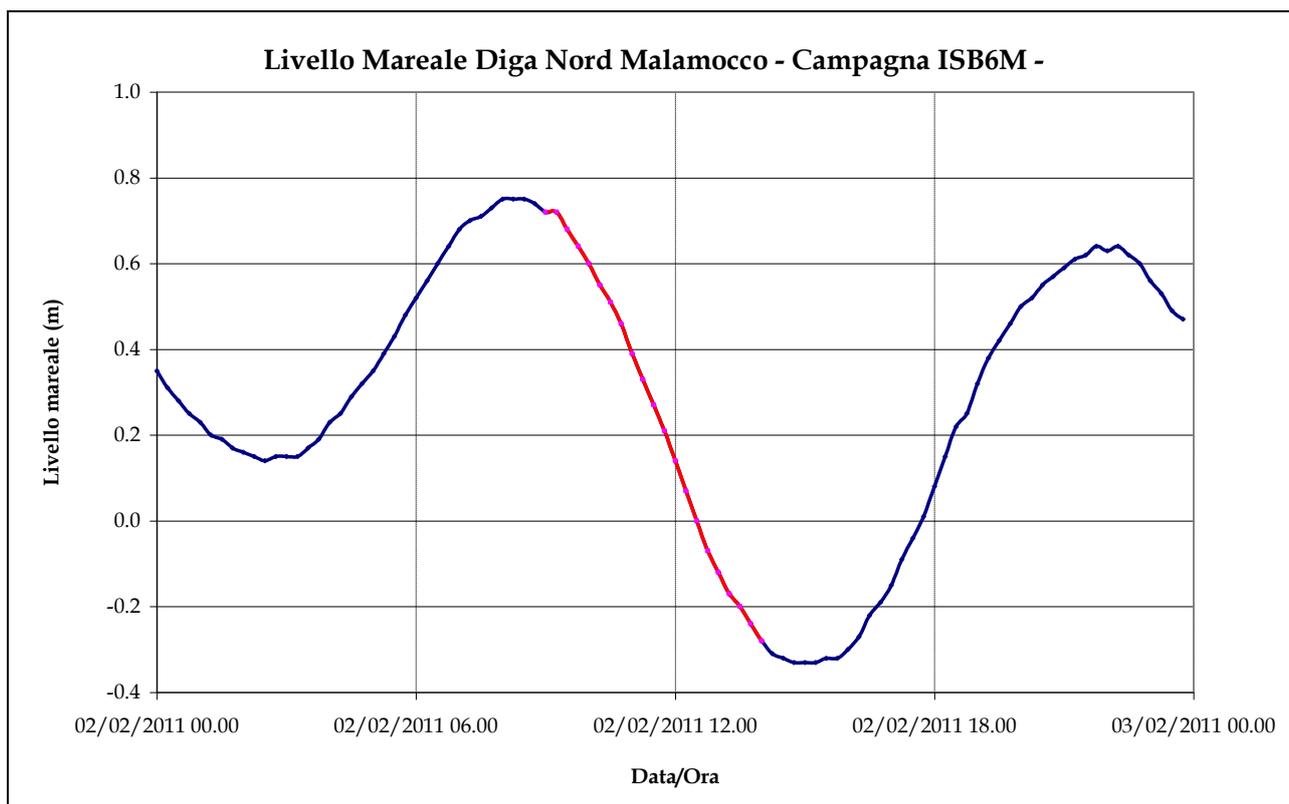


Figura 3.1. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato rispettivamente al mareografo di Lido, Diga Sud, per il giorno 29 Novembre 2010, di Chioggia, Diga Sud, per il giorno 20 Gennaio 2010 e di Malamocco, Diga Nord, per il giorno 02 Febbraio 2011. In rosso ed in verde sono indicati gli intervalli mareali durante i quali sono state effettuate le attività sperimentali.

### 3.3 Condizioni meteorologiche riscontrate durante le attività di misura

In Figura 3.2 è possibile osservare che durante le due differenti giornate di misura effettuate i giorni 20 Gennaio e 02 Febbraio 2011 le condizioni del vento erano del tutto paragonabili; infatti, la direzione prevalente dei venti era in entrambi i casi proveniente dal quadrante di N-NE, mentre le intensità si sono attestate tra valori di 2- 10 m/s.

Per problemi di natura tecnica mancano i dati meteo riguardanti la campagna effettuata a Lido nella giornata del 29 Novembre 2011.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

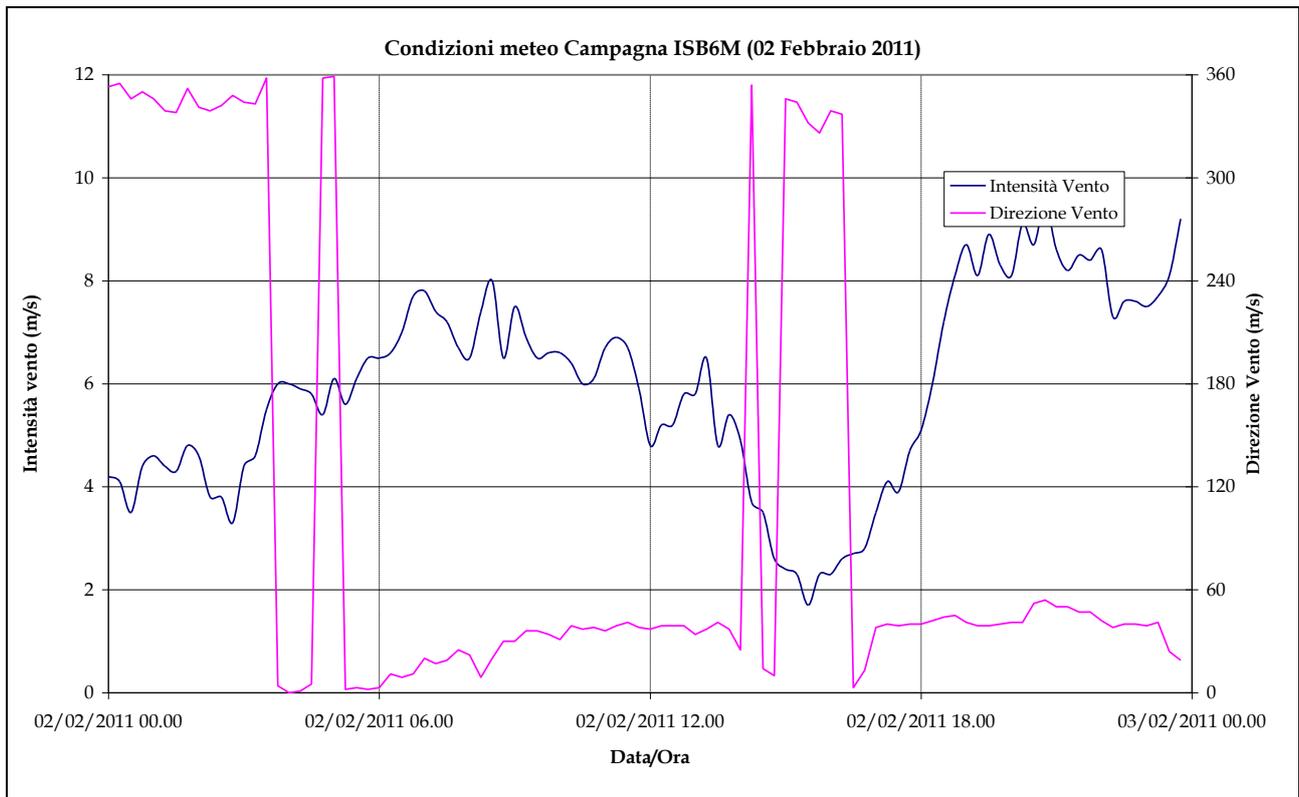
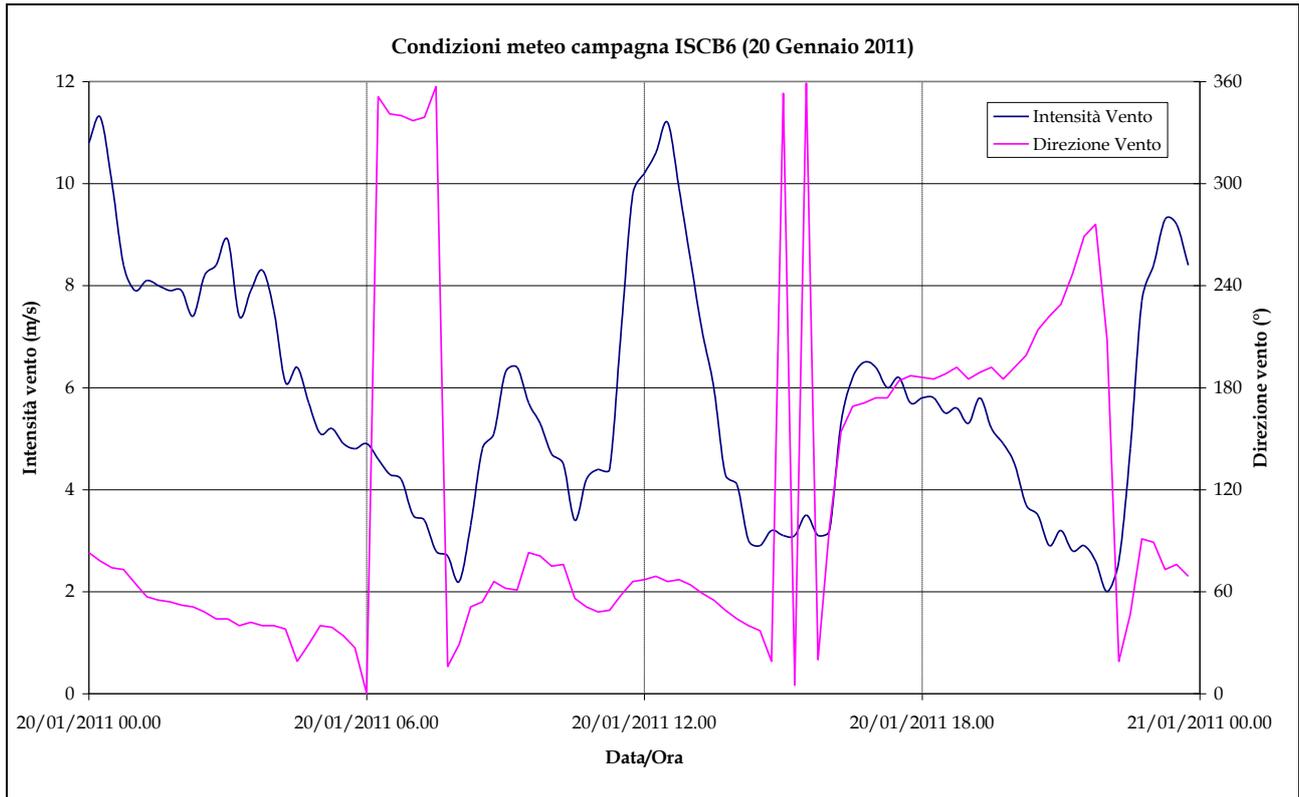


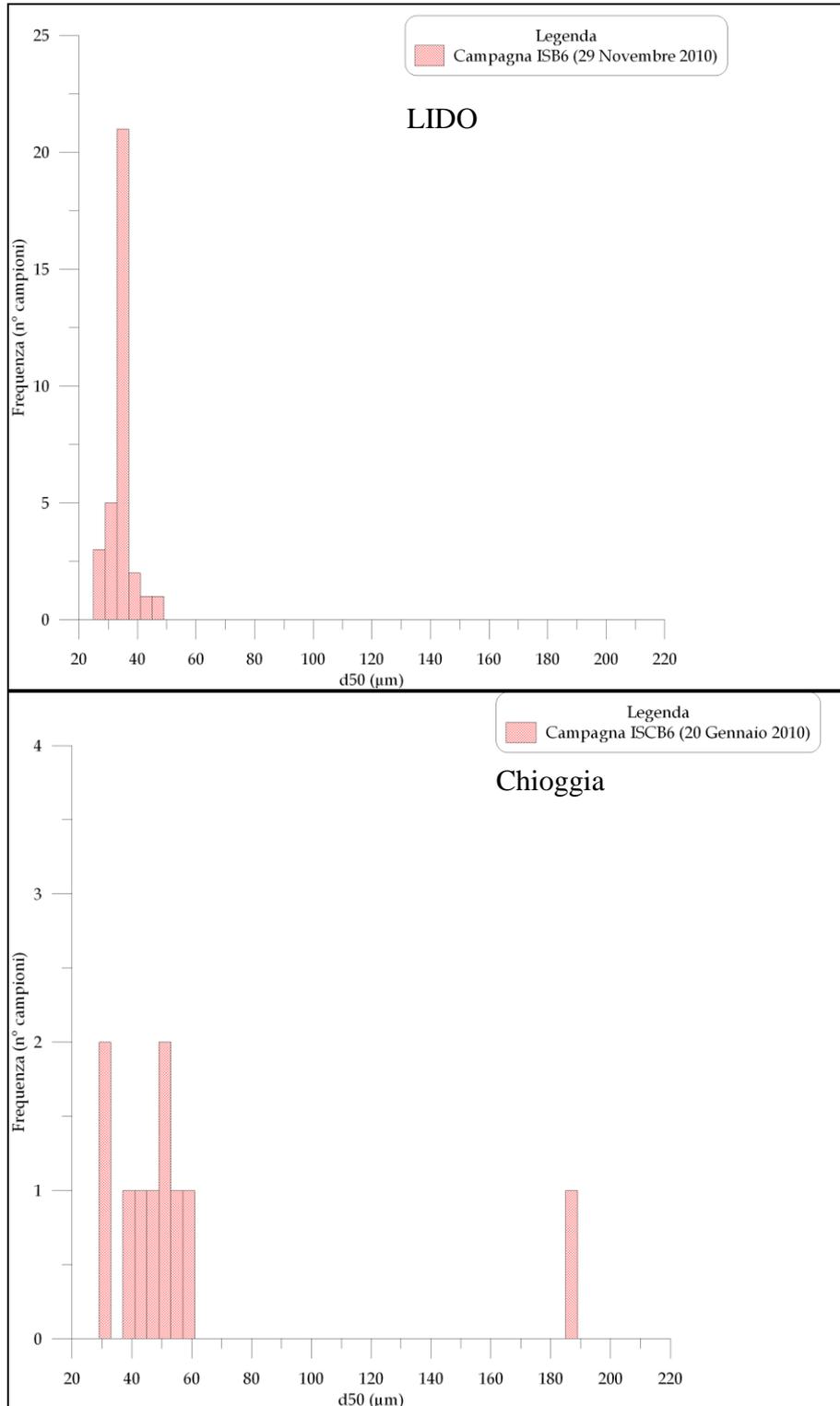
Figura 3.2. Andamento dei valori di intensità e direzione del vento registrati dalla stazione meteorologica "Acqua Alta" durante le giornate del 20 Gennaio e del 02 Febbraio 2011.

### **3.4 Caratteristiche granulometriche e concentrazione del particolato solido in sospensione alle bocche di porto di Lido, Chioggia e Malamocco**

Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti campionati lungo le sezioni d'interesse durante le tre campagne effettuate alle bocche di porto della laguna di Venezia sono state determinate in laboratorio con metodologia "*Laser In Situ Scattering and Transmissometry*" (LISST, Sequoia Scientific, USA), mentre le concentrazioni del particolato solido in sospensione sono state ottenute in base alla metodica IRSA [*Quaderno 100/2050/94*], che prevede la filtrazione attraverso membrane in policarbonato (*Millipore HHTP04700*) con porosità di 0.4  $\mu\text{m}$  e diametro di 47 mm.

Di seguito, in Figura 3.3, sono riportati i valori relativi al d50 ottenuti per ciascuna campagna di misura. Si osserva che i diametri caratteristici di ciascuna campagna risultano moderatamente variabili. In particolare le misure effettuate presso la Bocca di Porto di Chioggia ci mostrano una situazione piuttosto complessa in cui i valori di d50 misurati non assumono una particolare distribuzione, ma ricoprono un ampio intervallo. I dati delle due campagne effettuate a Lido e a Malamocco risultano invece distribuiti in un campo di valori più ristretto. In particolare i valori medi del d50 risultano: 33.68  $\mu\text{m}$  per la campagna ISB6 effettuata a Lido; 60.99  $\mu\text{m}$  (incluso il valore estremo 186  $\mu\text{m}$ ) o 45.29 (escluso il valore estremo) per la campagna ISCB6 effettuata a Chioggia; 36.22  $\mu\text{m}$  per la campagna ISB6M effettuata a Malamocco. In generale si può osservare che i diametri medi caratteristici delle sezioni di interesse considerate risultano essere minori nella bocca di porto di Lido e via via maggiori verso le bocche di porto di Malamocco e Chioggia.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

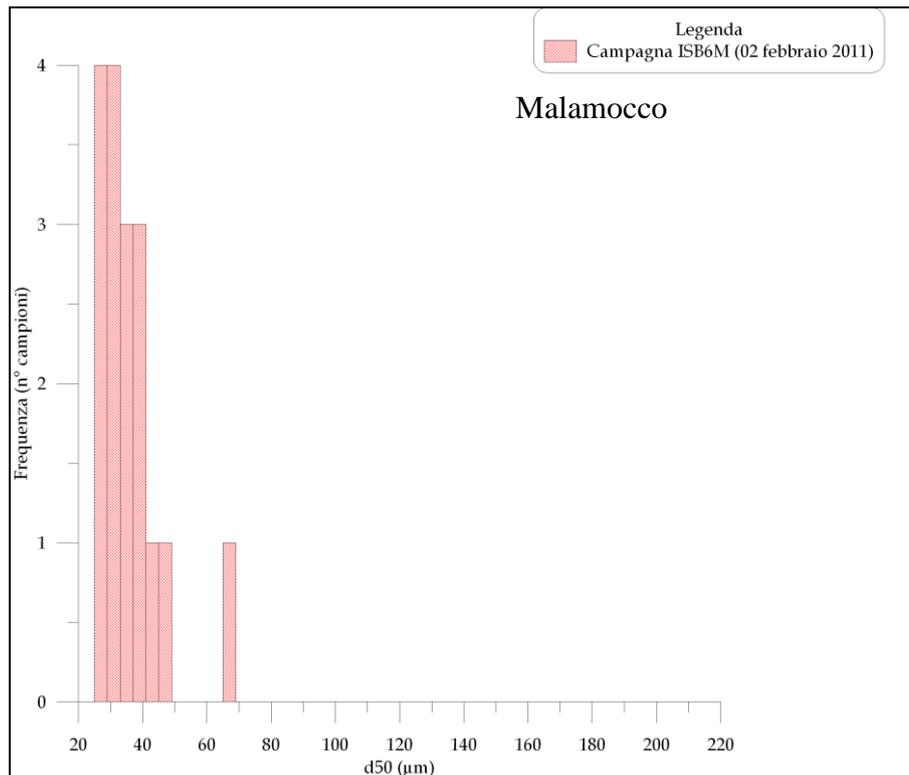


Figura 3.3. Istogrammi di frequenza dei valori di d50 per ciascuna campagna di misura.

Queste caratteristiche sono anche evidenziate dai diagrammi triangolari di Shepard, rappresentati in Figura 3.4 per ciascuna campagna di misura. I sedimenti campionati alla bocca di porto di Lido risultano essere caratterizzati da uno spettro granulometrico molto limitato. I dati relativi ai rapporti tra le frazioni granulometriche risultano infatti concentrati nella zona di vertice dove le percentuali di limo sono maggiori all'80%. Negli altri due casi relativi alle campagne effettuate a Chioggia e Malamocco le proporzioni fra le diverse classi granulometriche risultano più variabili con evidenti variazioni reciproche nel contenuto di sabbia e limo. La percentuale della frazione argillosa è pressoché sempre prossima allo zero.

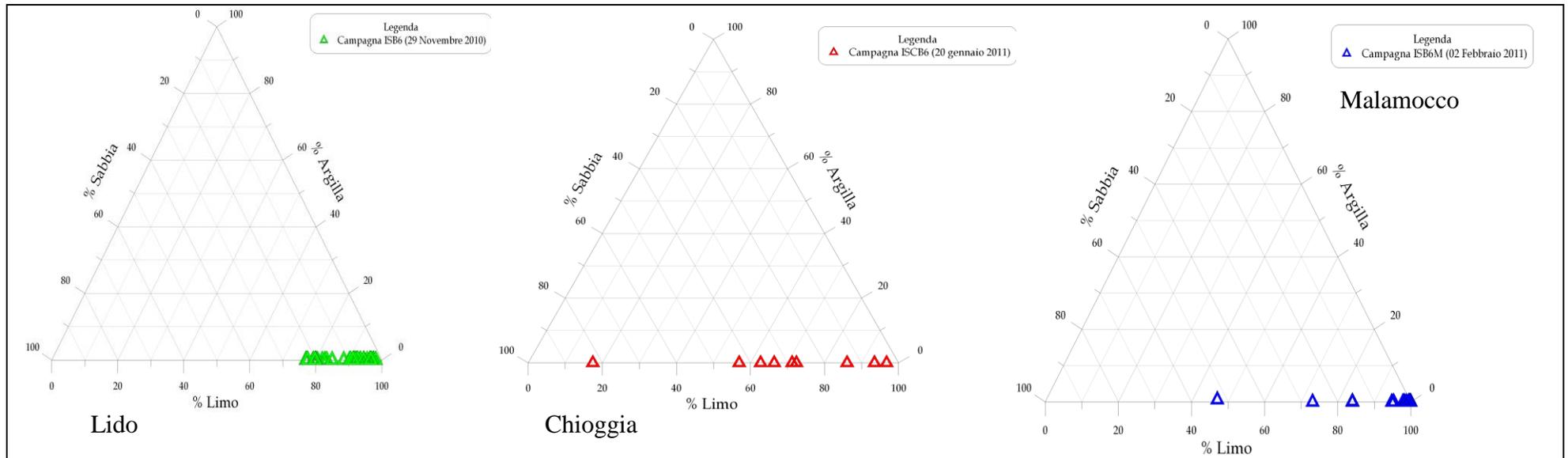
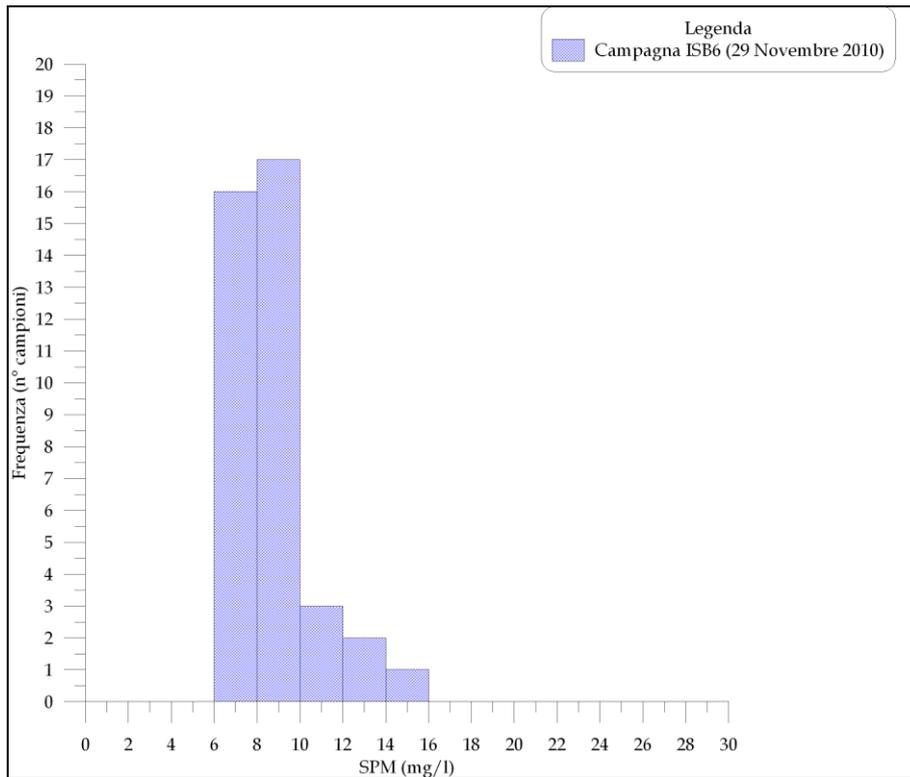


Figura 3.4. Diagramma di Shepard dei campioni prelevati alla bocca di porto di Malamocco durante i giorni 29 novembre, 20 Gennaio e 02 Febbraio rispettivamente nelle Bocche di Porto di Lido, Chioggia e Malamocco.

Per quanto riguarda, invece, le concentrazioni del particolato solido in sospensione, SPM (*Suspended Particle Matter*) in Figura 3.5, ottenute dalla filtrazione dei campioni prelevati è possibile osservare che anche in questo caso i valori ottenuti per la campagna di Chioggia, compresi tra un minimo di 2 ed un massimo di 24 mg/l (valore medio 11 mg/l), si caratterizzano per una forte eterogeneità. La distribuzione dei valori ottenuti per le altre due bocche di porto risulta relativamente più regolare. In particolare per la Bocca di porto di Lido variano da un minimo di 6 ad un massimo di 16 mg/l (valore medio 8.6 mg/l) mentre per Malamocco variano tra 1.4 a 7.8 mg/l (valore medio 3.3 mg/l).

Nelle Figure 3.6 - 3.25 sono riportate le curve granulometriche relative ai campionamenti effettuati durante le tre giornate di misura a Lido, Chioggia e Malamocco.



CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

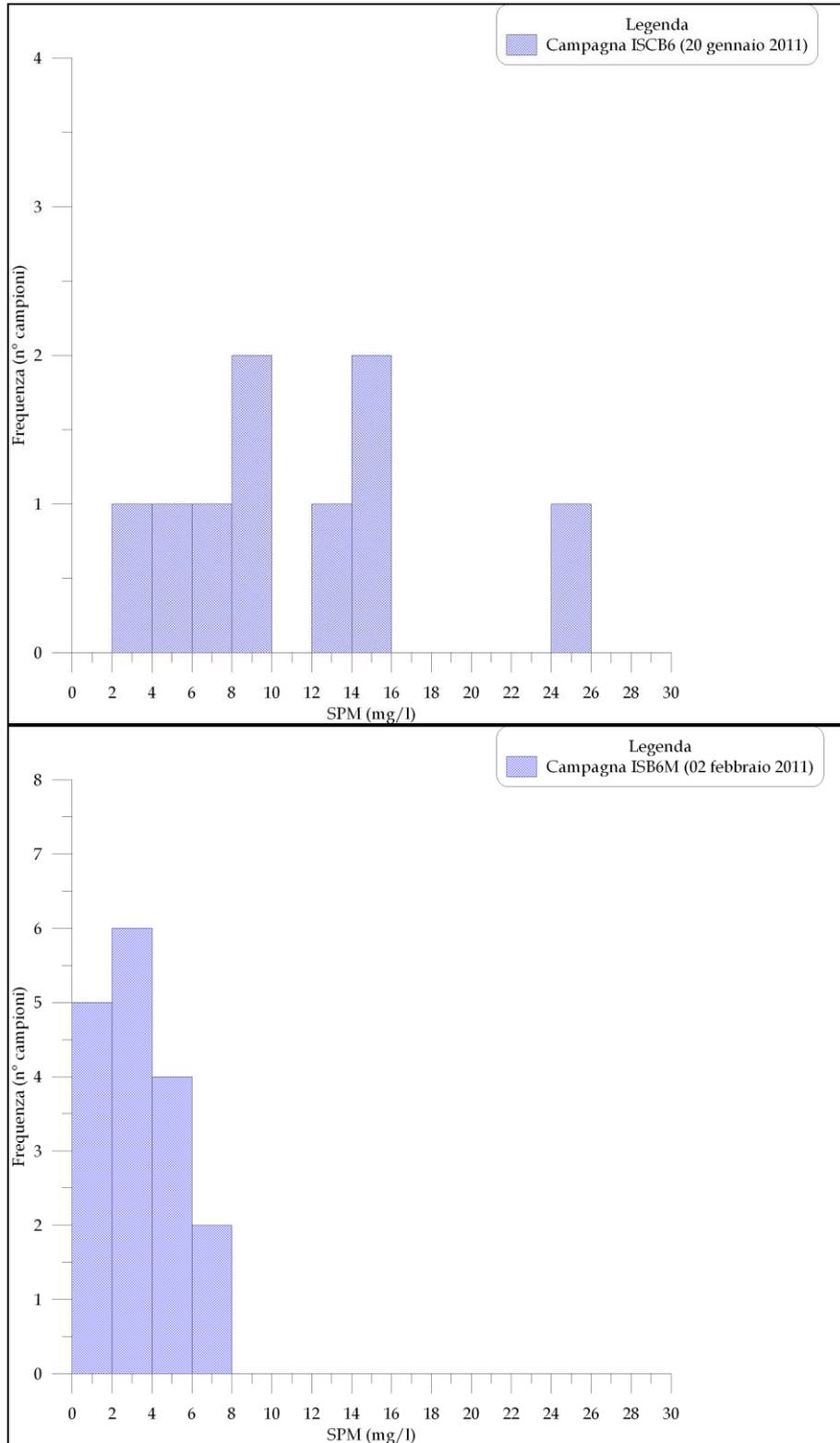


Figura 3.5. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione (mg/l) per ciascuna campagna di misura.

3.4.1 *Granulometrie campagna ISB6*

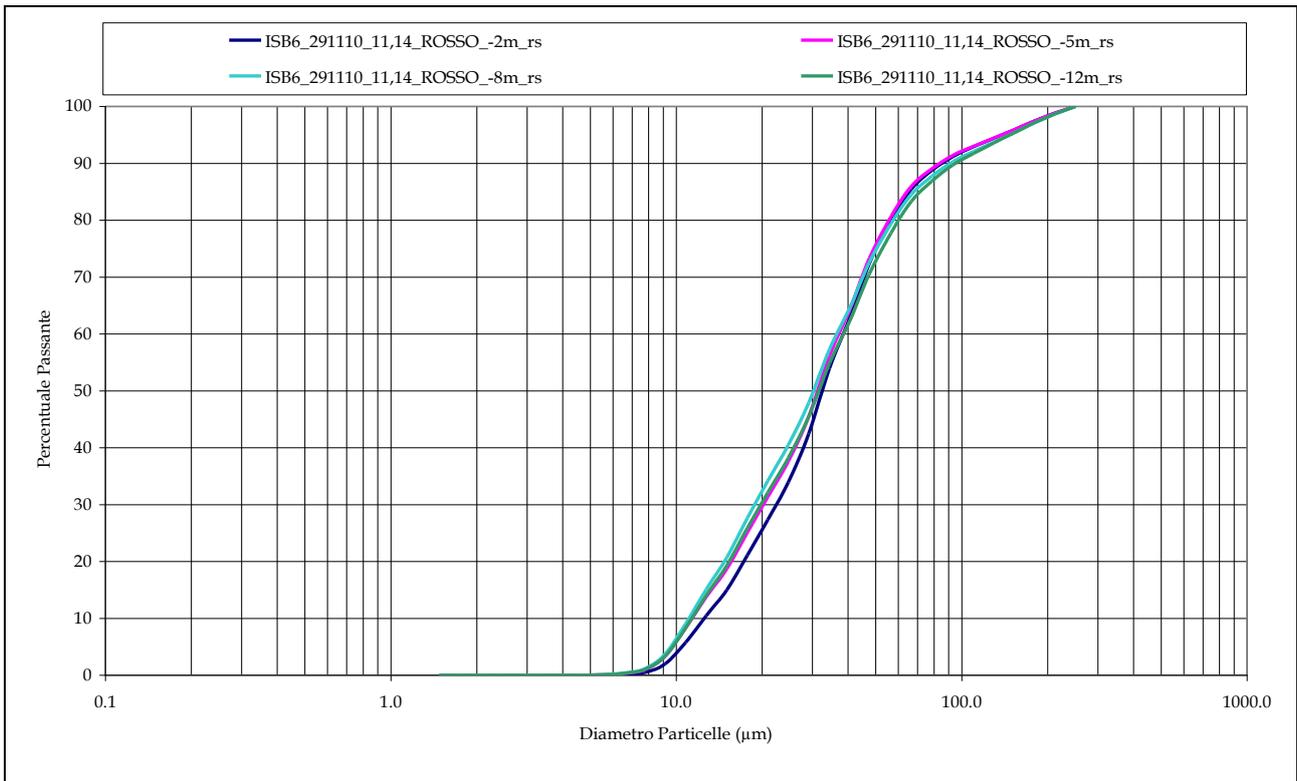


Figura 3.6. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ROSSO (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 11.14, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

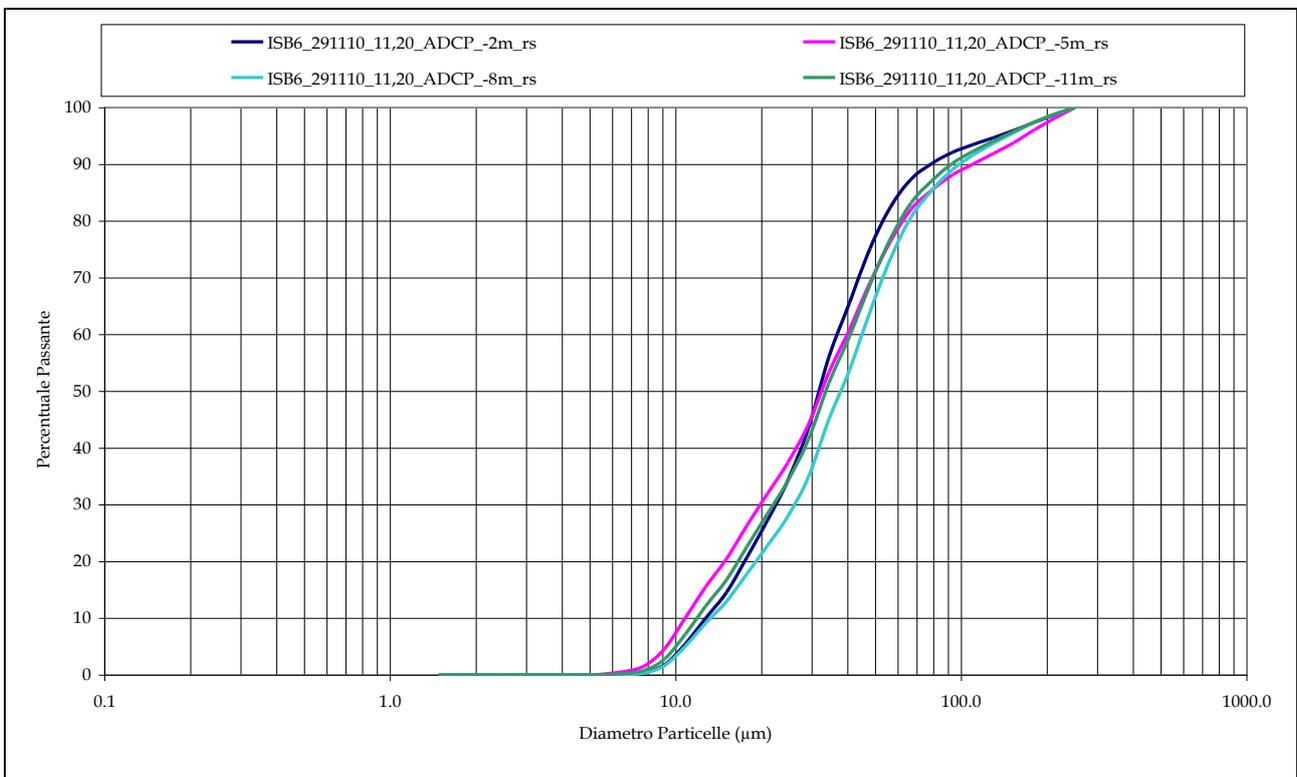


Figura 3.7. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ADCP (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 11.20, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

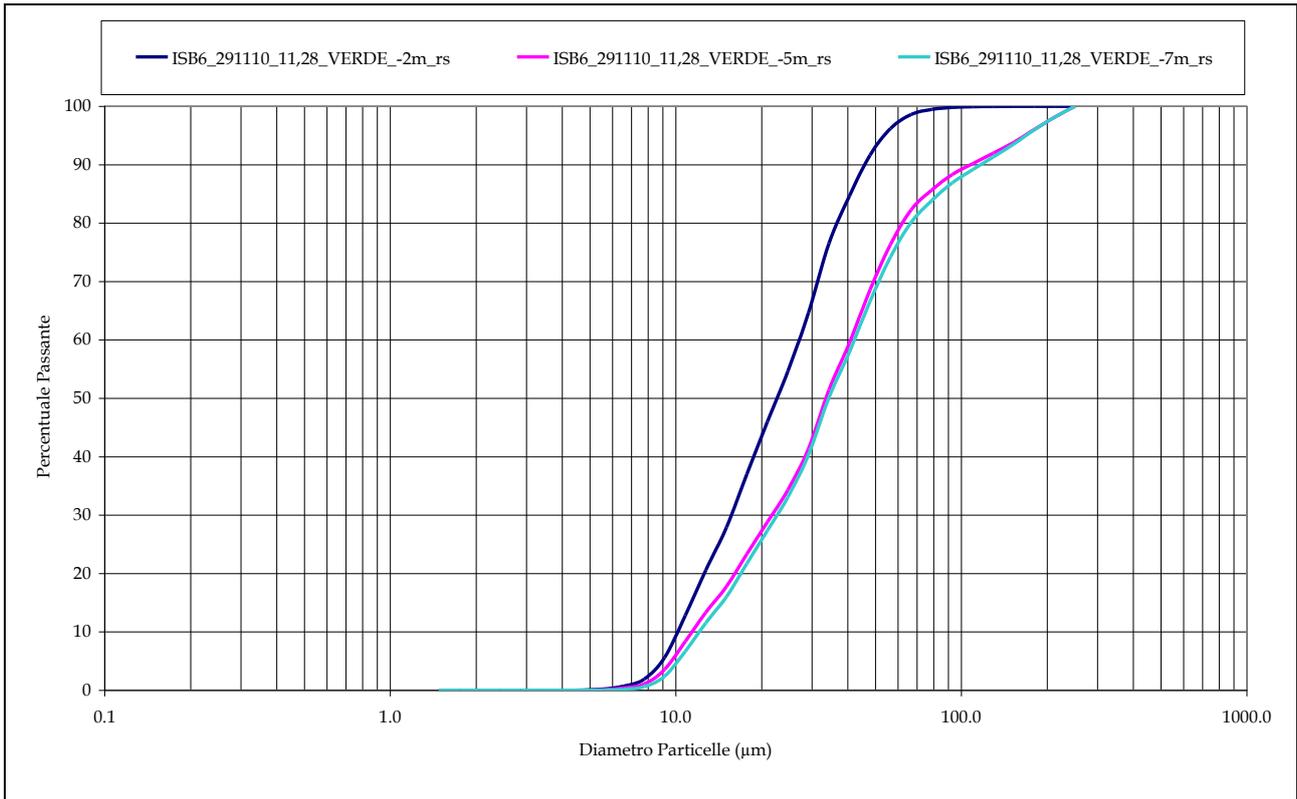


Figura 3.8. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione VERDE (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 11.28, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

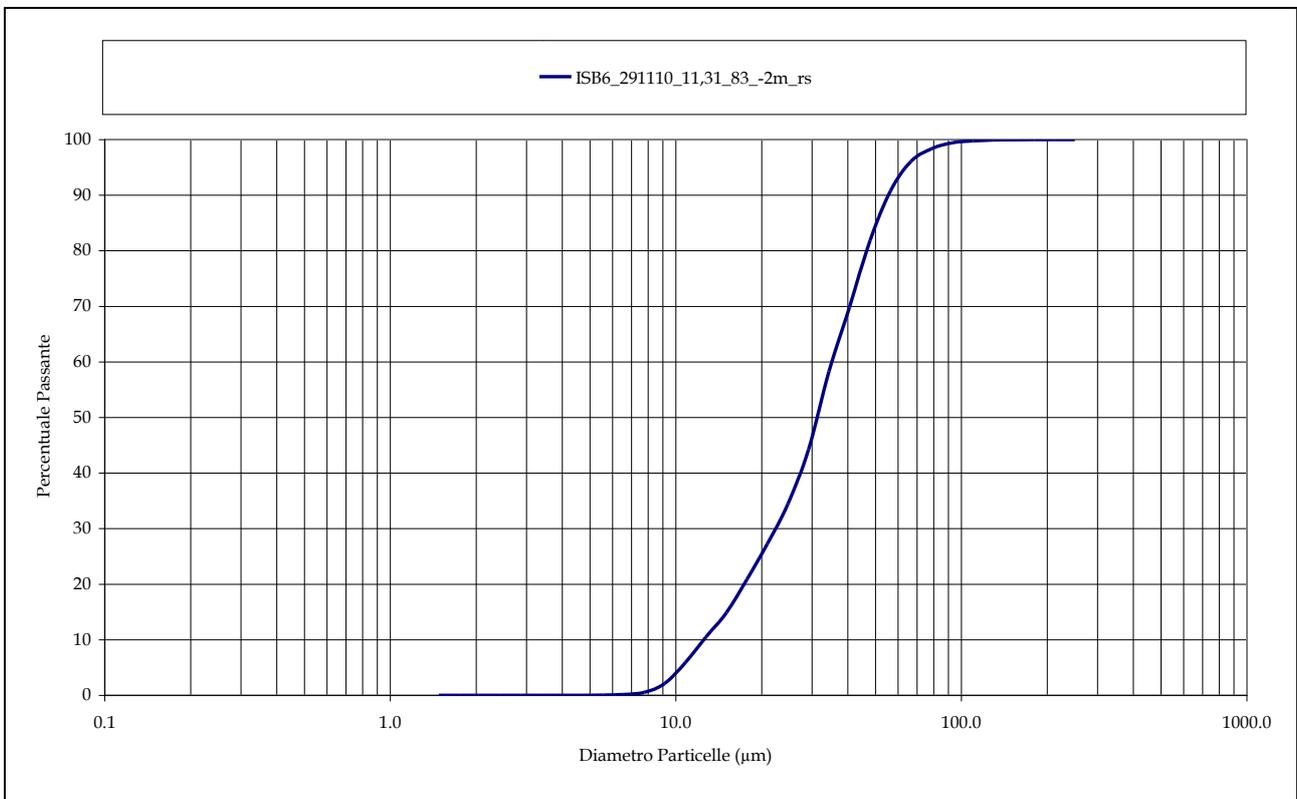


Figura 3.9. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione 83 (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 11.31, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

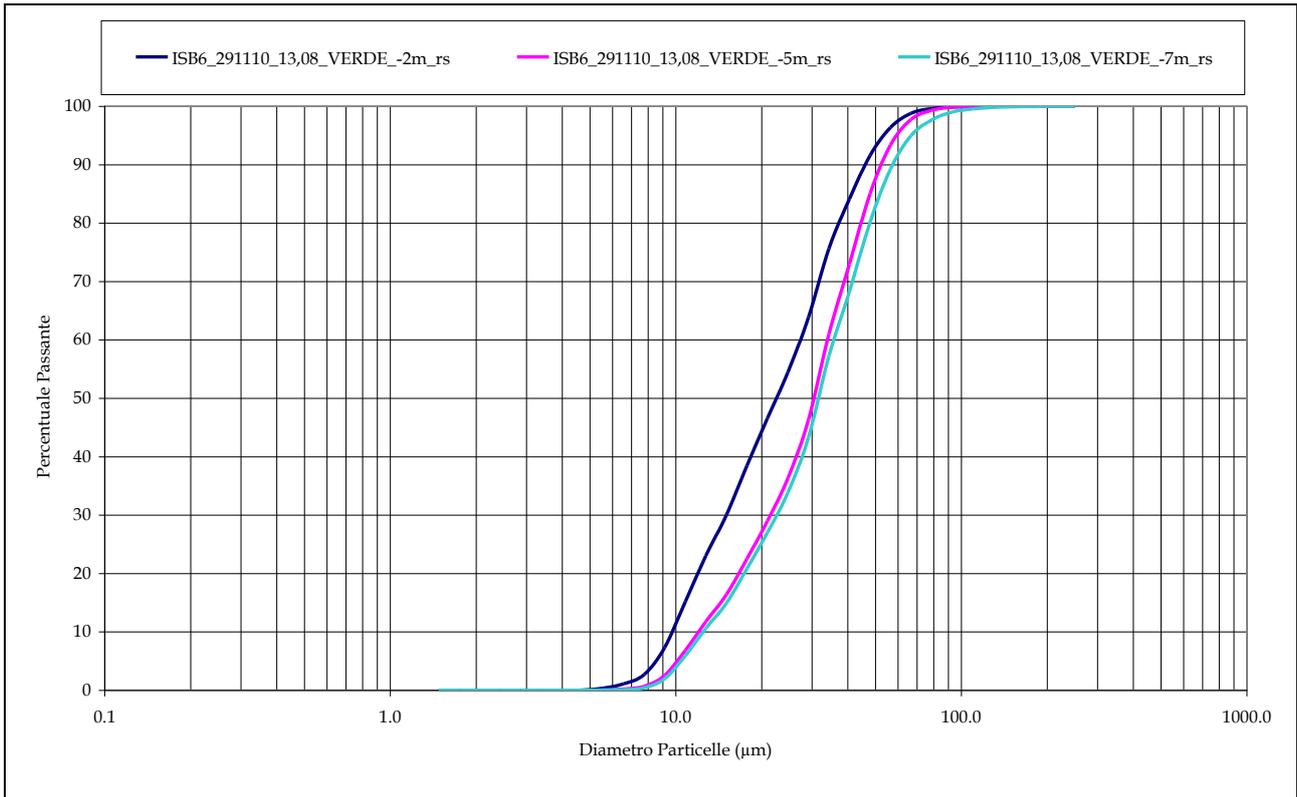


Figura 3.10. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione VERDE (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 13.08, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

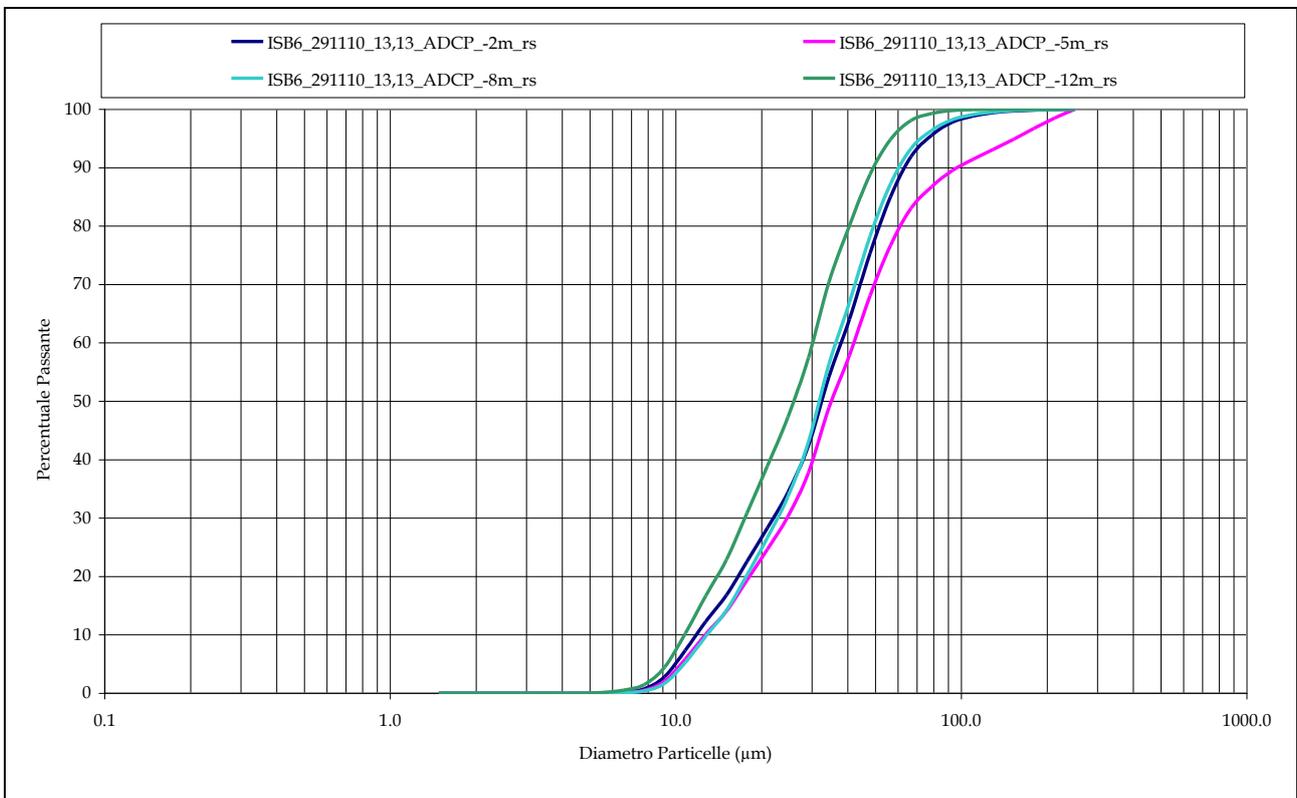


Figura 3.11. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ADCP (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 13.13, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

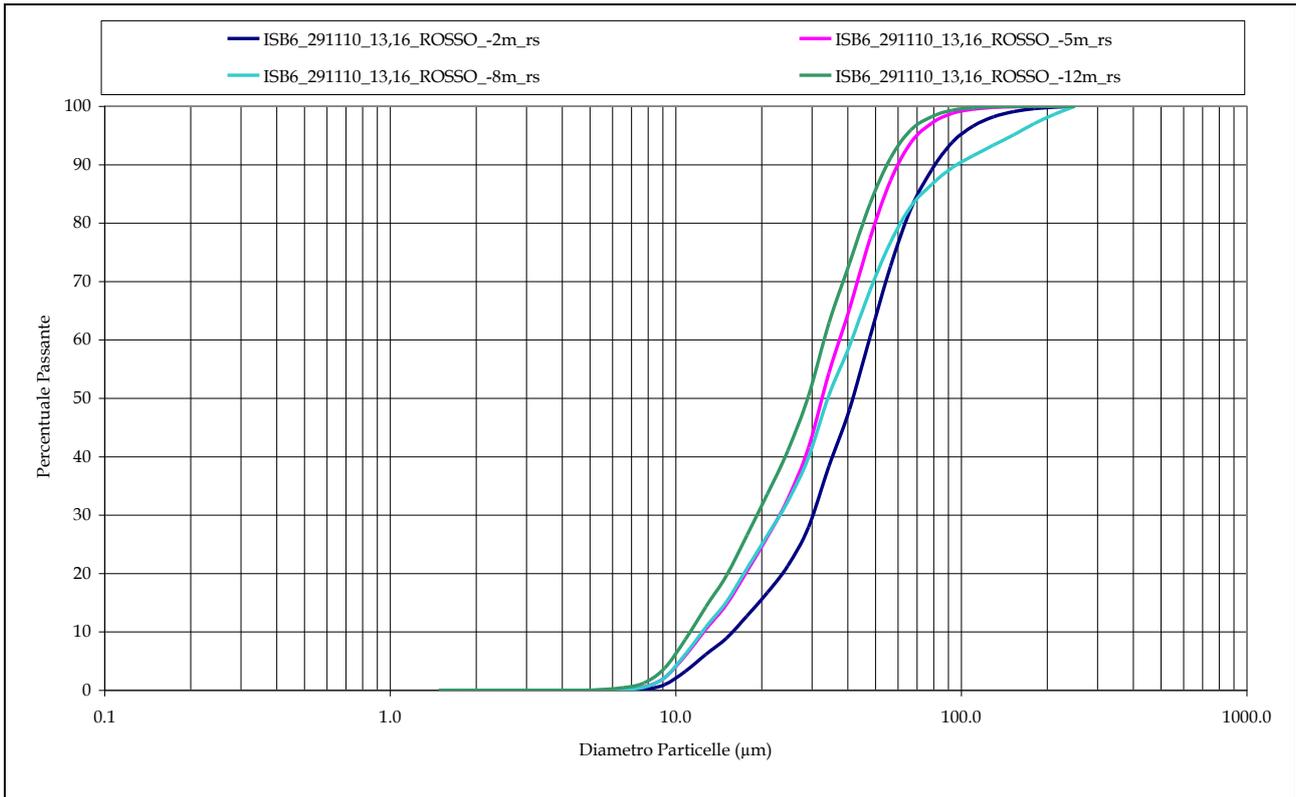


Figura 3.12. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ROSSO (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 13.16, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

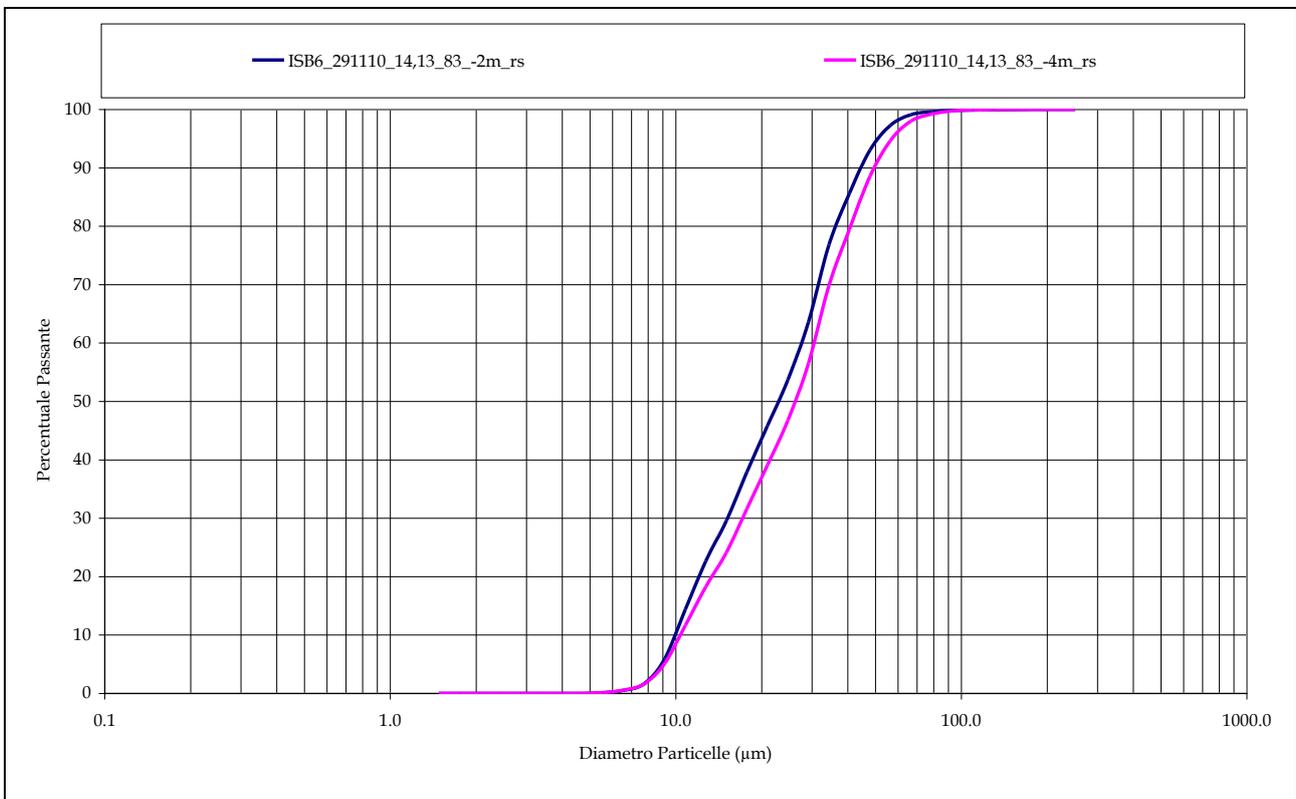


Figura 3.13. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione 83 (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 14.13, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

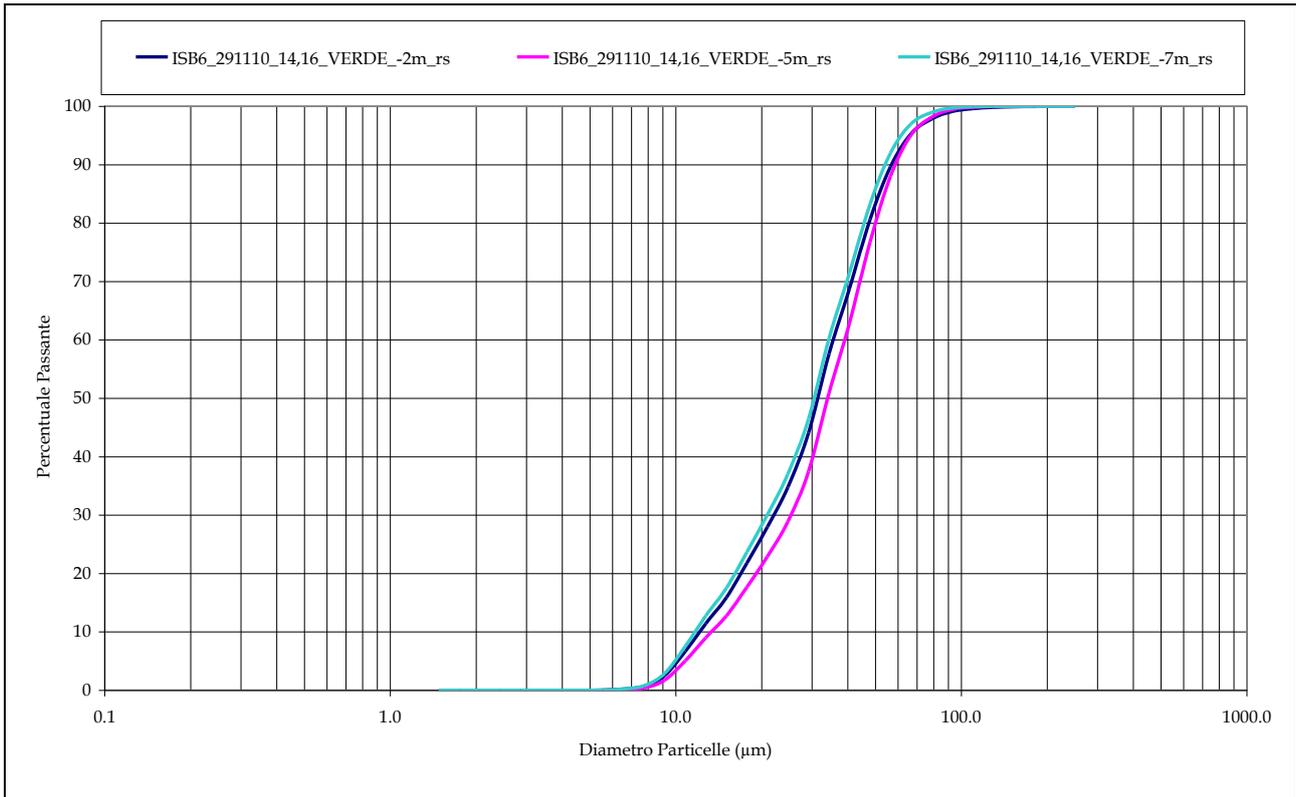


Figura 3.14. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione VERDE (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 14.16, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

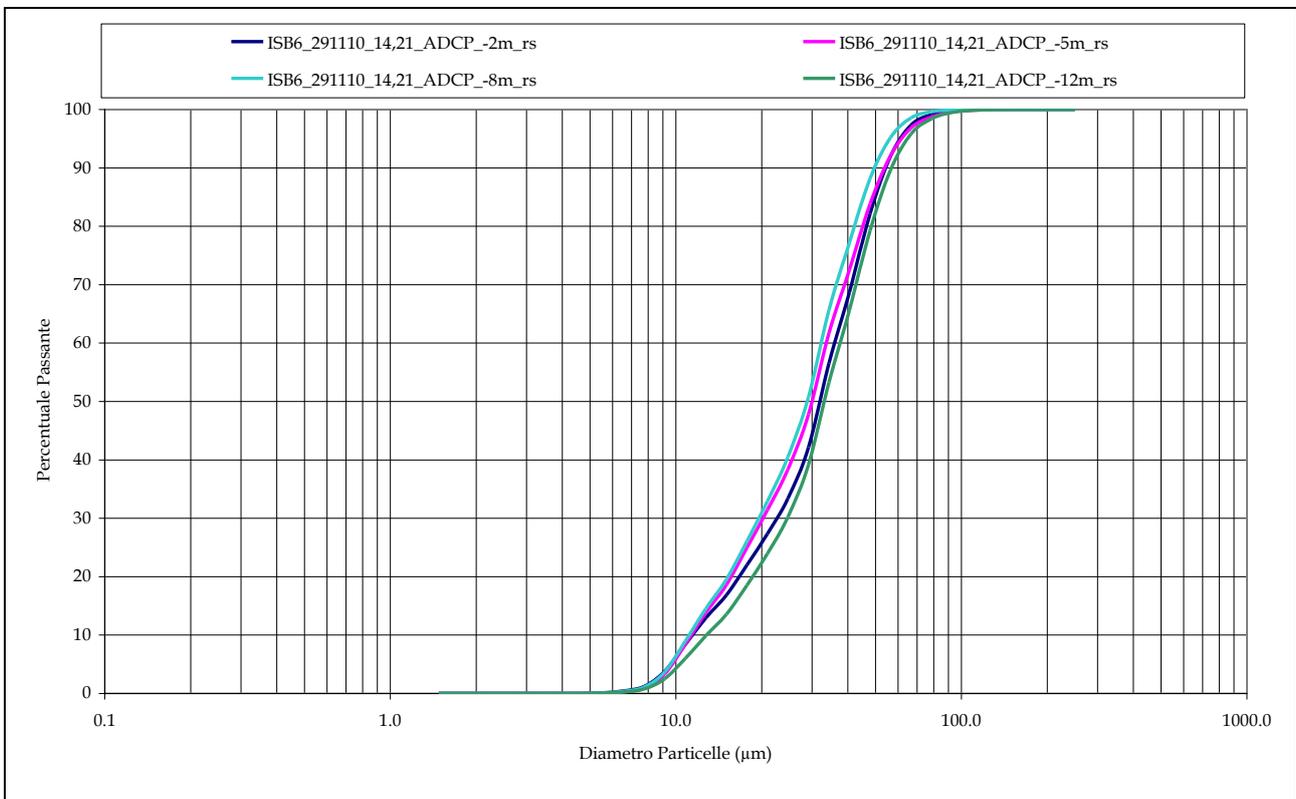


Figura 3.15. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ADCP (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 14.21, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

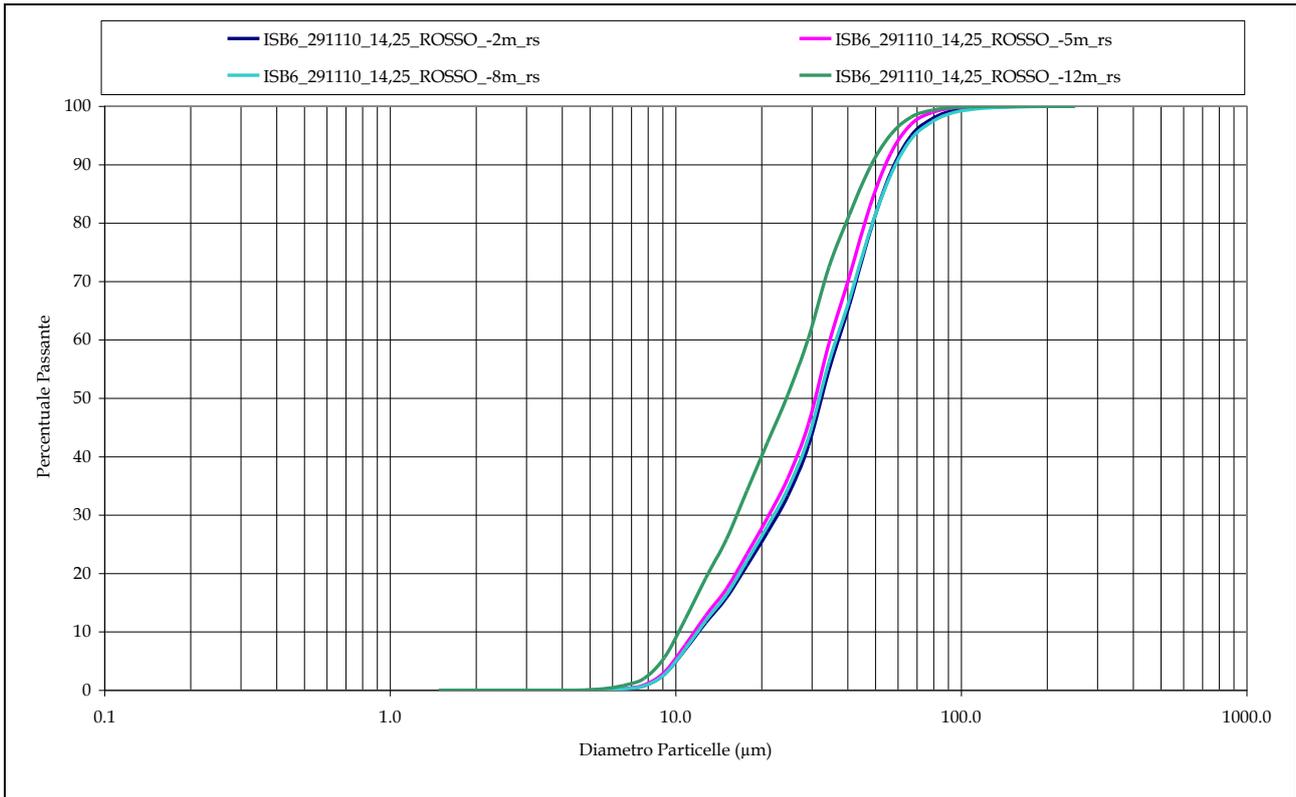


Figura 3.16. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ROSSO (Figura 1.13), in fase di marea calante, il giorno 29 Novembre 2011, alle ore 14.25, presso la bocca di porto di Lido (80 - 82).

### 3.4.2 *Granulometrie campagna ISCB6*

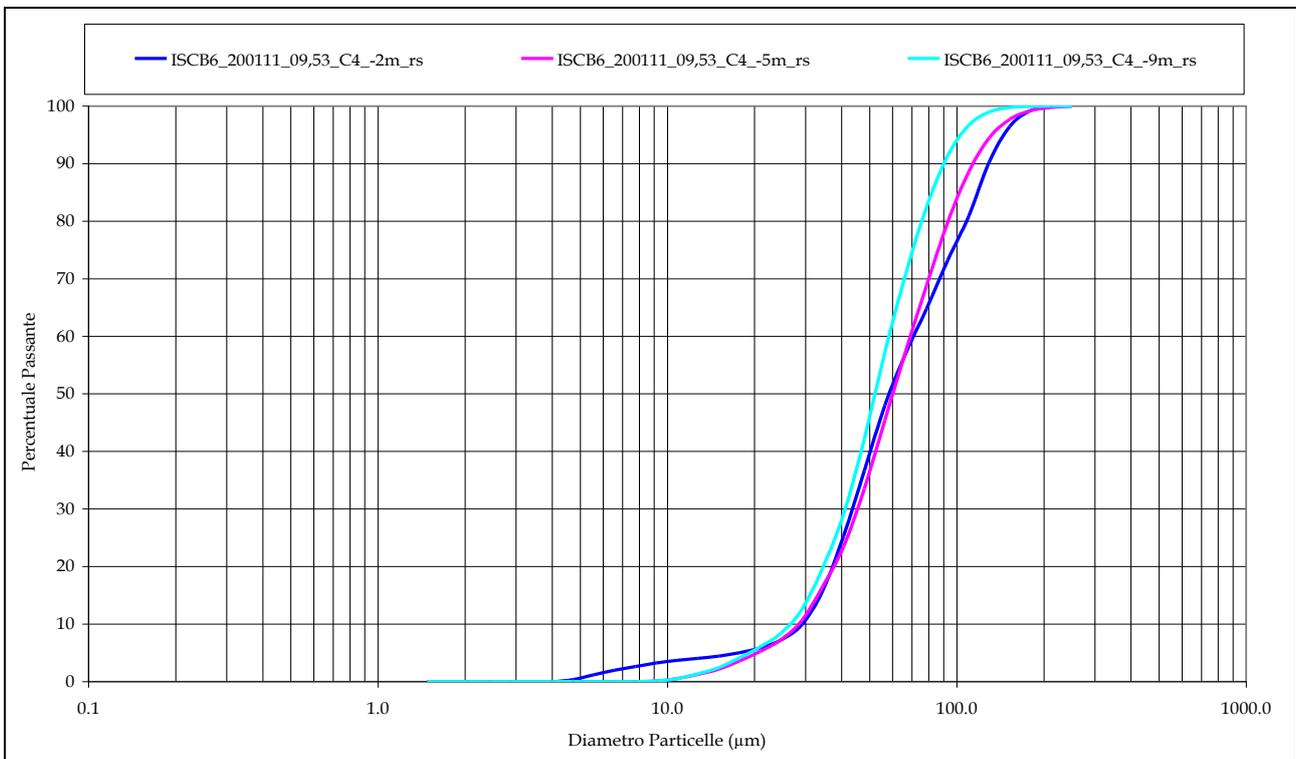


Figura 3.17. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione C4 (Figura 1.14), in fase di marea calante, il giorno 20 Novembre 2010, alle ore 09.53, presso la bocca di porto di Chioggia (C4A - C4B).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

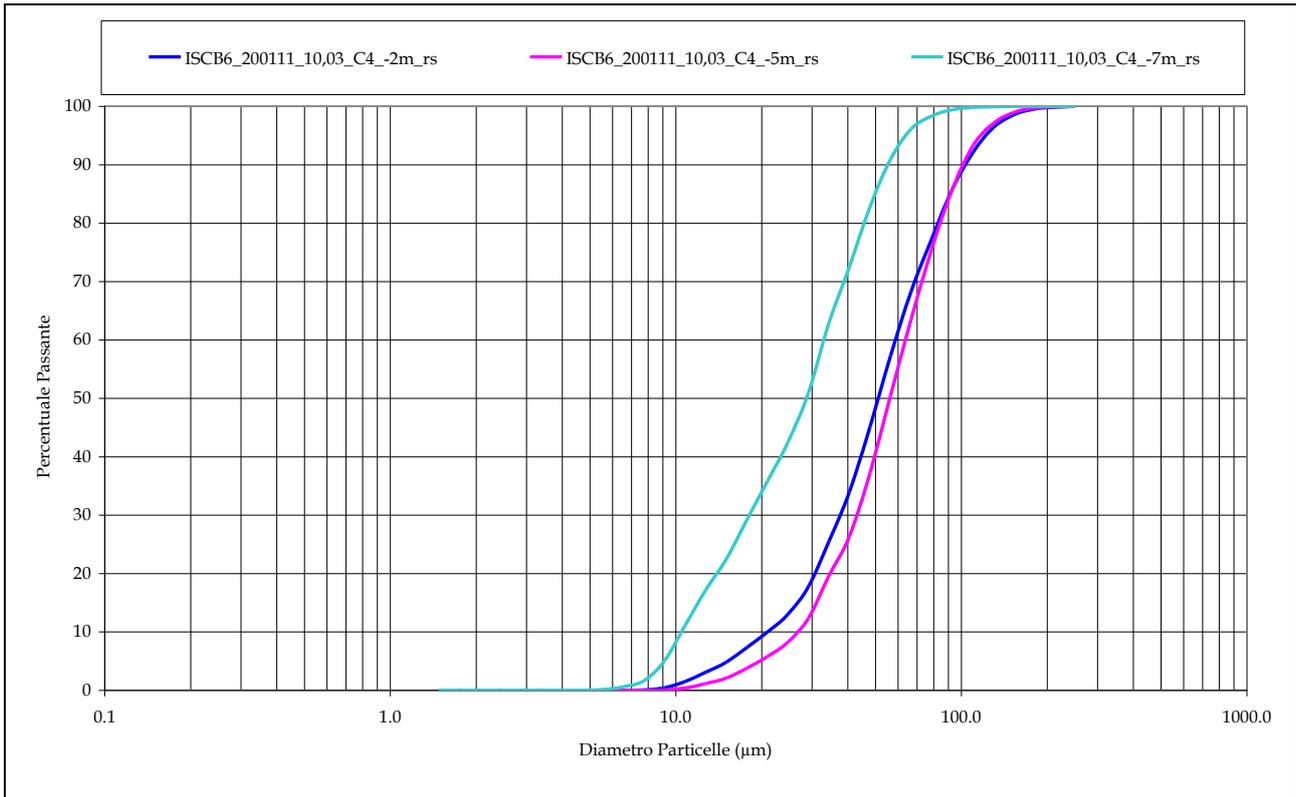


Figura 3.18. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione C4 (Figura 1.14), in fase di marea calante, il giorno 20 Novembre 2010, alle ore 10.03, presso la bocca di porto di Chioggia (C4A - C4B).

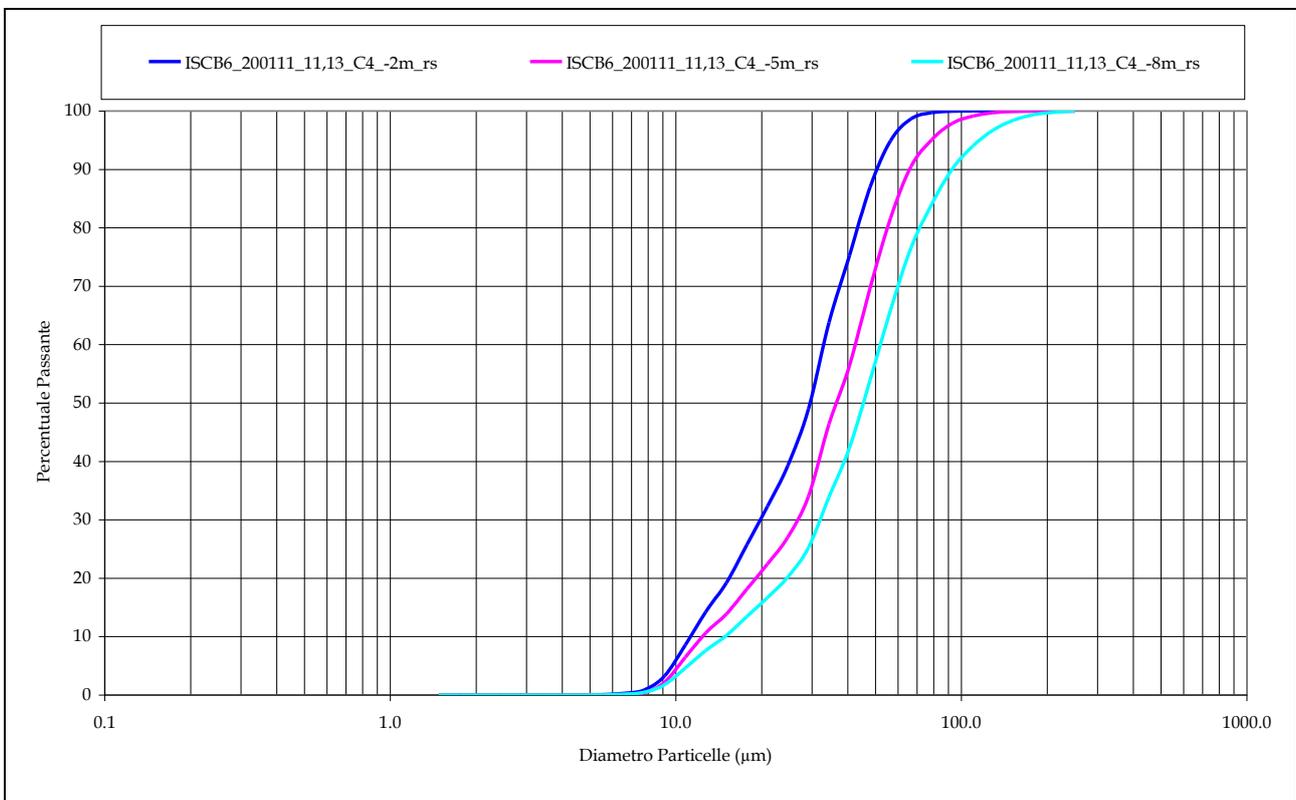


Figura 3.19. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione C4 (Figura 1.14), in fase di marea calante, il giorno 20 Novembre 2010, alle ore 11.13, presso la bocca di porto di Chioggia (C4A - C4B).

3.4.3 Granulometrie campagna ISB6M

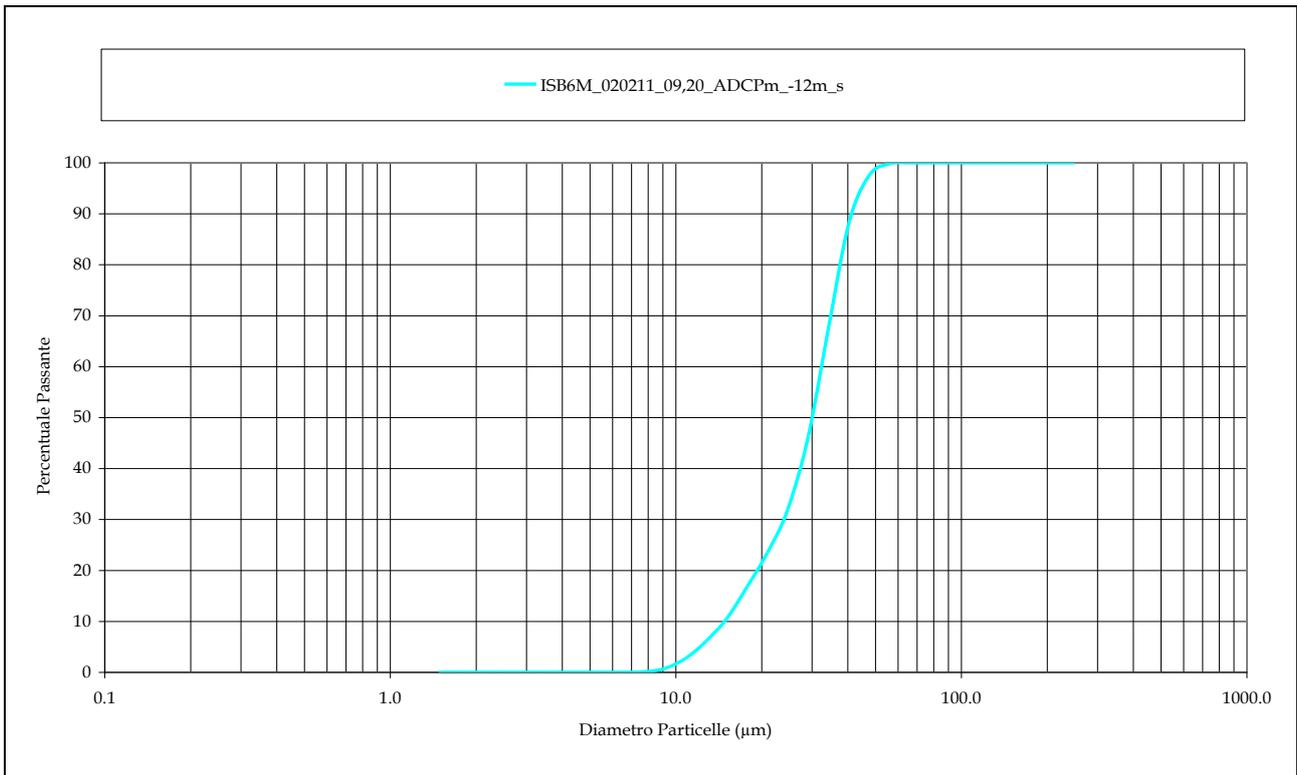


Figura 3.20. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ADCPm (Figura 1.15), in fase di marea calante, il giorno 02 Febbraio 2011, alle ore 09.20, presso la bocca di porto di Malamocco (DN - DS).

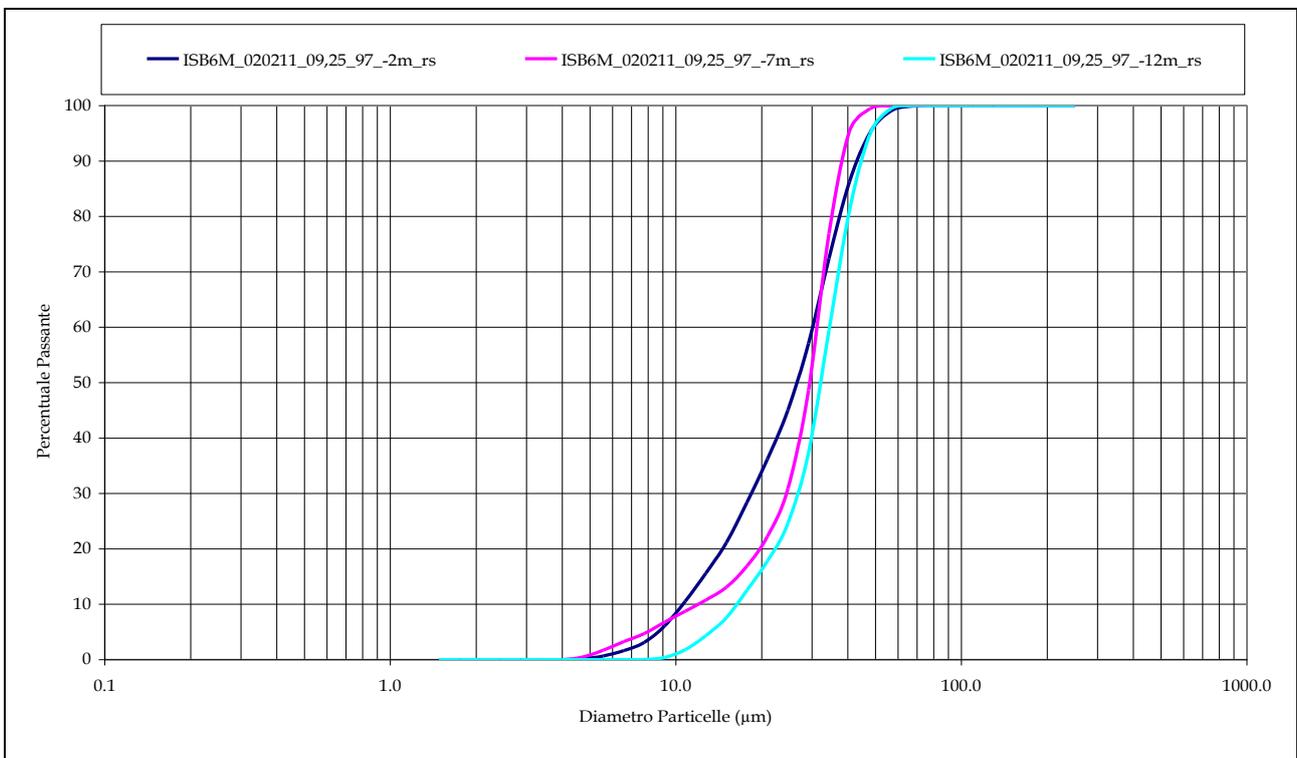


Figura 3.21. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione 97 (Figura 1.15), in fase di marea calante, il giorno 02 Febbraio 2011, alle ore 09.25, presso la bocca di porto di Malamocco (DN - DS).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

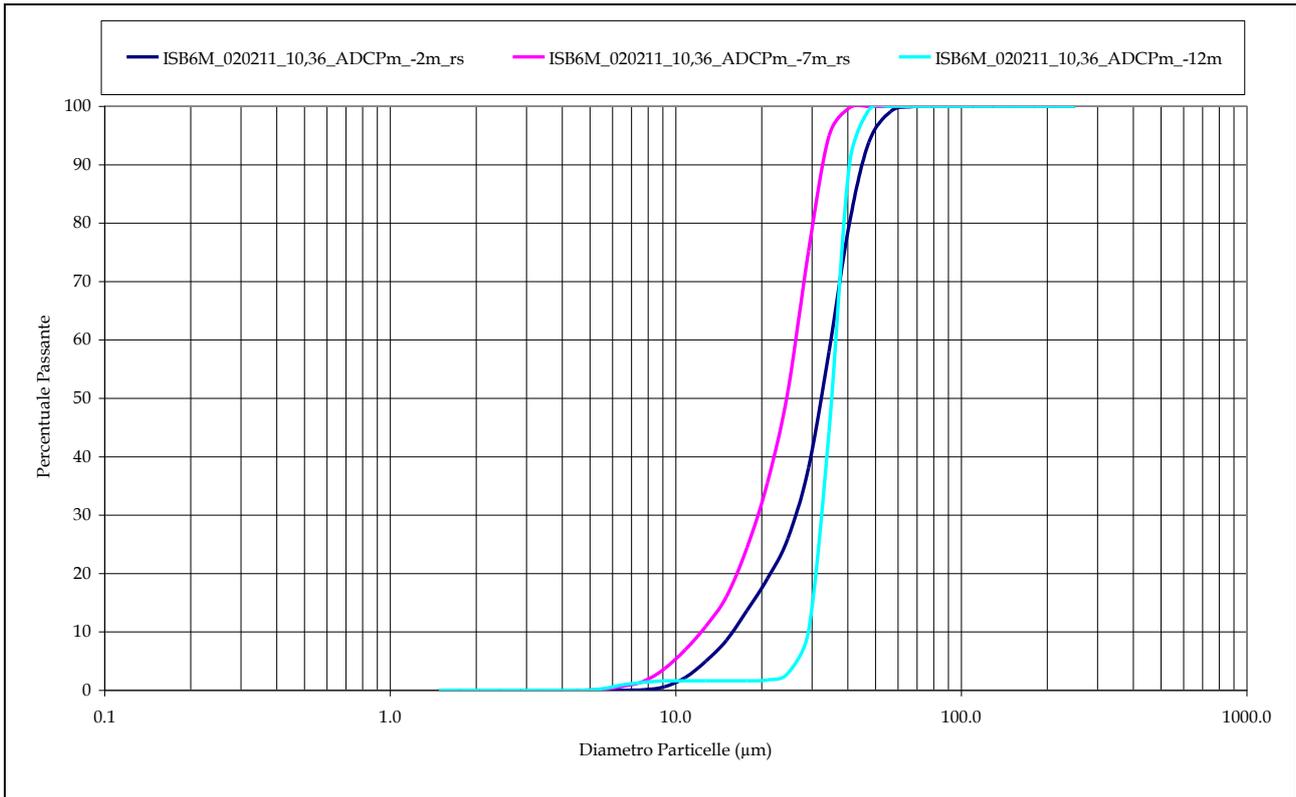


Figura 3.22. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ADCPm (Figura 1.15), in fase di marea calante, il giorno 02 Febbraio 2011, alle ore 10.36, presso la bocca di porto di Malamocco (DN - DS).

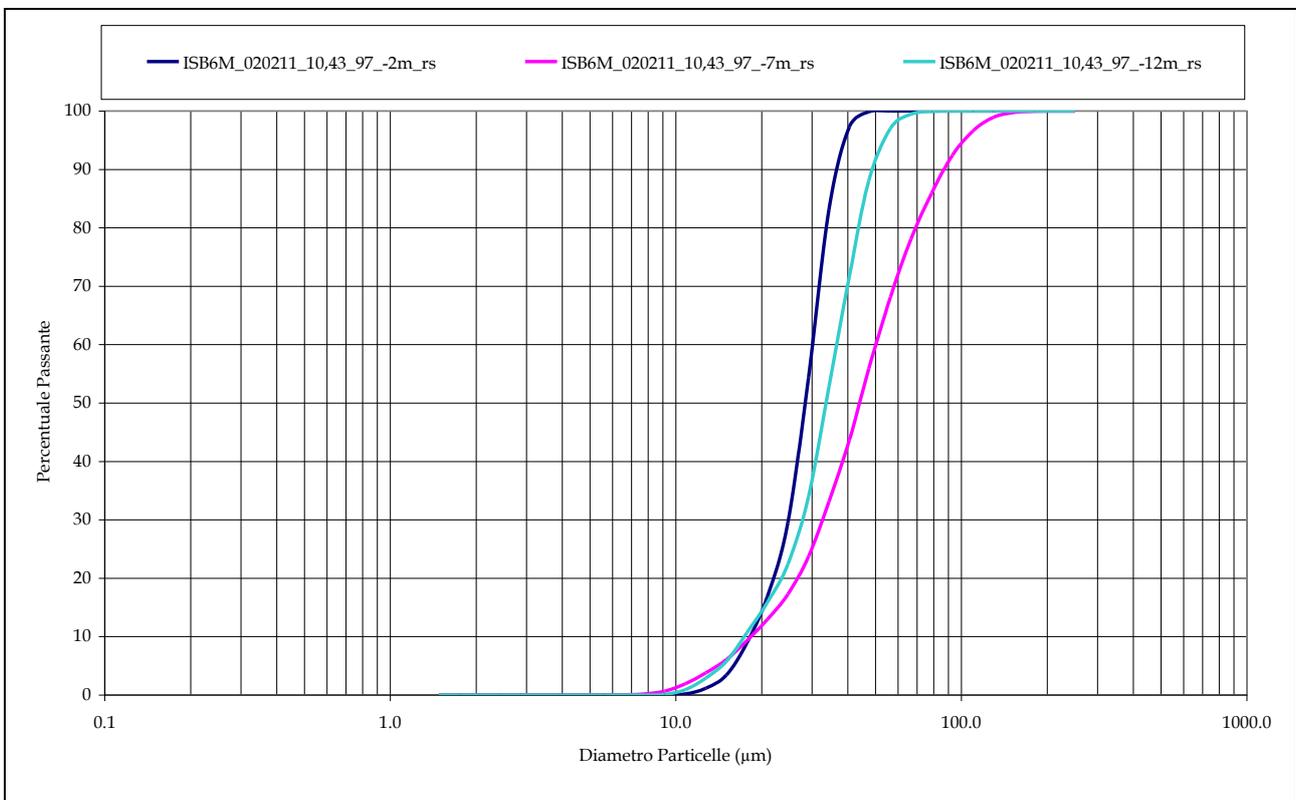


Figura 3.23. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione 97 (Figura 1.15), in fase di marea calante, il giorno 02 Febbraio 2011, alle ore 10.43, presso la bocca di porto di Malamocco (DN - DS).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

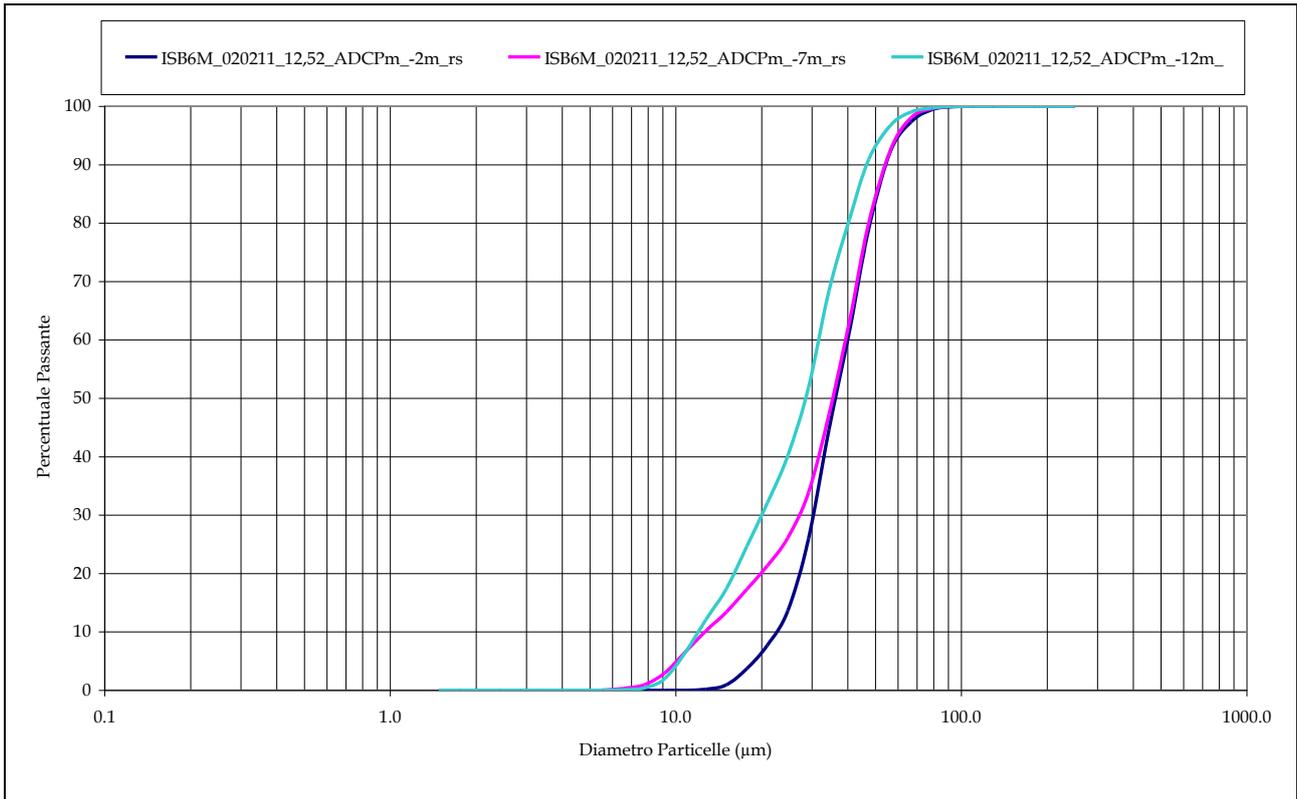


Figura 3.24. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione ADCPm (Figura 1.15), fase di marea calante, il giorno 02 Febbraio 2011, alle ore 12.52, presso la bocca di porto di Malamocco (DN - DS).

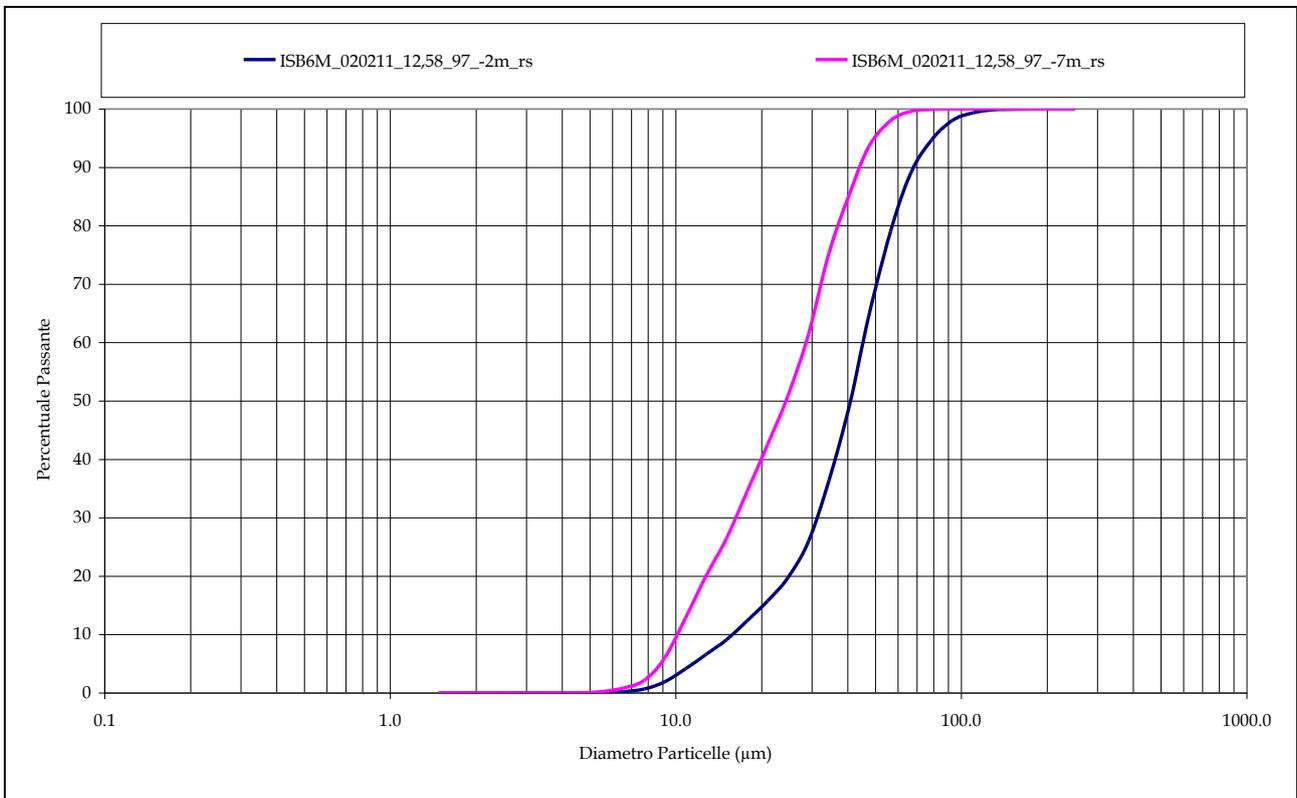


Figura 3.25. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nella stazione 97 (Figura 1.15), in fase di marea calante, il giorno 02 Febbraio 2011, alle ore 12.58, presso la bocca di porto di Malamocco (DN - DS).

### 3.5 Caratteristiche del campo di velocità

Le caratteristiche idrodinamiche del flusso mareale sono state indagate lungo le sezioni d'interesse per mezzo del profilatore acustico ADCP, montato su di un supporto solidale al fianco dell'imbarcazione di misura (*vessel-mounted*). I dati relativi ai transetti scelti fra quelli eseguiti in andata e ritorno lungo ogni sezione di misura sono stati prima esportati con il software dedicato DRL-Sediview® e successivamente importati in appositi fogli di calcolo e sottoposti ad un controllo di qualità mirato, supportato dalle informazioni ottenute mediante il software di gestione dello strumento (WinRiver II).

Nella Tabella 3.1 è riportato l'elenco di tutti i transetti eseguiti durante le tre campagne d'indagine lungo le sezioni d'interesse alle bocche di porto di Malamocco, Lido e Chioggia, con i valori della portata, l'area di ogni singola sezione indagata e la velocità media registrata dalla strumentazione ADCP per ciascun transetto effettuato. È possibile osservare che le maggiori velocità di corrente, caratterizzate da un massimo puntuale di 2.4 m/s, sono state registrate presso la bocca di porto di Malamocco e di conseguenza anche le portate sono risultate elevate in relazione all'area della sezione investigata. Questo può essere legato al fatto che le escursioni mareali durante tale campagna di misura sono state elevate e la scelta dell'intervallo di misura è risultata particolarmente ottimale in corrispondenza della fase centrale del calante di marea (Figura 3.1). Le velocità minori sono state rilevate presso la bocca di porto di Lido, la cui campagna di misura è risultata caratterizzata dalle minori escursioni.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tabella 3.1. Valori della portata relativi ai transetti acquisiti durante le campagne ISB6, ISCB6 ed ISB6M.

Transetto ADCP	Data	Ora inizio	Ora fine	Sezione	Q <sub>tot</sub>	Area sezione	Vel media
					m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m/s
<b>Campagna ISB6 29 Novembre 2010</b>							
ISB6_000r.000	29/11/2010	10:58:38	11:05:07	80 - 82	3034	8757	0.4
ISB6_001r.000	29/11/2010	11:05:13	11:12:57	80 - 82	2850	8678	0.3
ISB6_006r.000	29/11/2010	12:47:30	12:56:05	80 - 82	2285	8564	0.3
ISB6_007r.000	29/11/2010	12:56:27	13:03:29	80 - 82	2426	8804	0.3
ISB6_012r.000	29/11/2010	13:55:44	14:03:56	80 - 82	1311	8690	0.2
ISB6_013r.000	29/11/2010	14:04:12	14:11:29	80 - 82	1160	8803	0.1
<b>Campagna ISCB6 20 Gennaio 2011</b>							
ISCB6_000r.000	20/01/2011	09:42:48	09:46:40	C4A - C4B	-667	4278	0.2
ISCB6_001r.000	20/01/2011	09:46:56	09:50:48	C4A - C4B	-425	4061	0.1
ISCB6_004r.000	20/01/2011	11:04:07	11:07:59	C4A - C4B	3575	4232	0.8
ISCB6_005r.000	20/01/2011	11:08:13	11:11:45	C4A - C4B	3447	4266	0.8
<b>Campagna ISB6M 02 Febbraio 2011</b>							
ISB6M_000r.000	02/02/2011	09:10:53	09:14:20	DN - DS	-1292	6610	0.2
ISB6M_001r.000	02/02/2011	09:14:26	09:18:29	DN - DS	-1096	6639	0.2
ISB6M_004r.000	02/02/2011	09:30:36	09:35:00	DN - DS	238	6609	0.0
ISB6M_005r.000	02/02/2011	09:35:12	09:39:31	DN - DS	602	6734	0.1
ISB6M_006r.000	02/02/2011	10:24:28	10:28:30	DN - DS	4647	6841	0.7
ISB6M_007r.000	02/02/2011	10:30:46	10:34:40	DN - DS	5083	6759	0.8
ISB6M_010r.000	02/02/2011	10:49:20	10:55:36	DN - DS	5881	6995	0.9
ISB6M_011r.000	02/02/2011	10:55:44	10:59:57	DN - DS	6134	7270	0.9
ISB6M_012r.000	02/02/2011	12:42:02	12:45:43	DN - DS	7855	6740	1.2
ISB6M_013r.000	02/02/2011	12:45:51	12:49:48	DN - DS	7678	6688	1.2
ISB6M_016r.000	02/02/2011	13:03:28	13:06:41	DN - DS	7427	6655	1.2
ISB6M_017r.000	02/02/2011	13:06:45	13:10:33	DN - DS	7607	6610	1.2

### 3.5.1 Analisi del campo di corrente lungo le sezioni 80-82 (Lido), DN-DS (Malamocco) e C4A-C4B (Chioggia)

Attraverso l'uso del software dedicato Sediview sono stati esportati alcuni transetti significativi per comprendere e osservare al meglio la variazione del campo di corrente presso le tre sezioni di interesse individuate nelle tre bocche di porto della laguna di Venezia.

In Figura 3.26 è rappresentato il campo di velocità che caratterizza la sezione 80-82 presso la bocca di porto di Lido durante la fase di marea calante e durante la fase di inversione mareale. A questo proposito è interessante notare con quale modalità avviene la transizione tra calante e crescente di marea; nell'immagine relativa al transetto ISB6\_013r.000 si nota infatti come la parte più profonda, adiacente il fondale, sia inizialmente interessata dal riflusso dell'acqua in ingresso dal mare. Ciò avviene già a velocità sostenute di circa 0.30 - 0.40 cm/s. Le due masse d'acqua che scorrono in senso opposto nella sezione della bocca di porto danno luogo ad una superficie di separazione molto netta.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

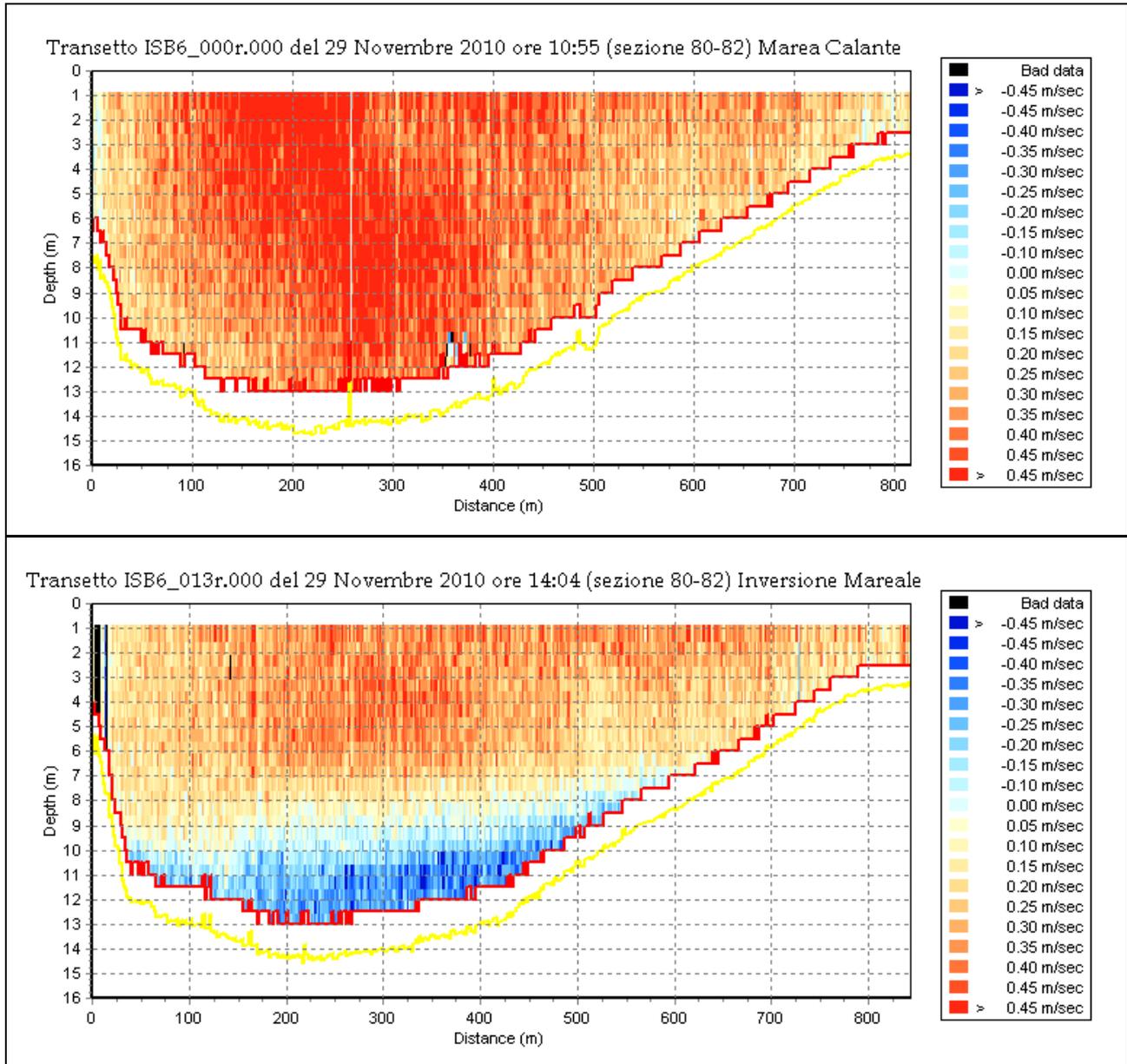


Figura 3.26. Variazioni del campo di corrente presso la sezione 80-82 (Lido, Campagna ISB6 del 29 Novembre 2011).

In Figura 3.27 sono due rappresentati due momenti differenti nell'ambito del ciclo tidale. Il transetto ISCB6\_005r.000 delle ore 11.11 rappresenta una situazione di calante di marea avanzato. La velocità di corrente risulta infatti essere in gran parte superiore a 1m/s. Si nota inoltre come la corrente sia più forte nella parte destra dell'immagine che corrisponde alla sponda sinistra delle bocche di porto, cioè la zona prossima alla spalla nord. Nella prima immagine è invece rappresentato il momento di inversione mareale in cui si passa da un flusso prevalentemente entrante ad uno uscente. È interessante osservare come l'inversione del flusso avvenga in questo caso in corrispondenza alla spalla nord.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

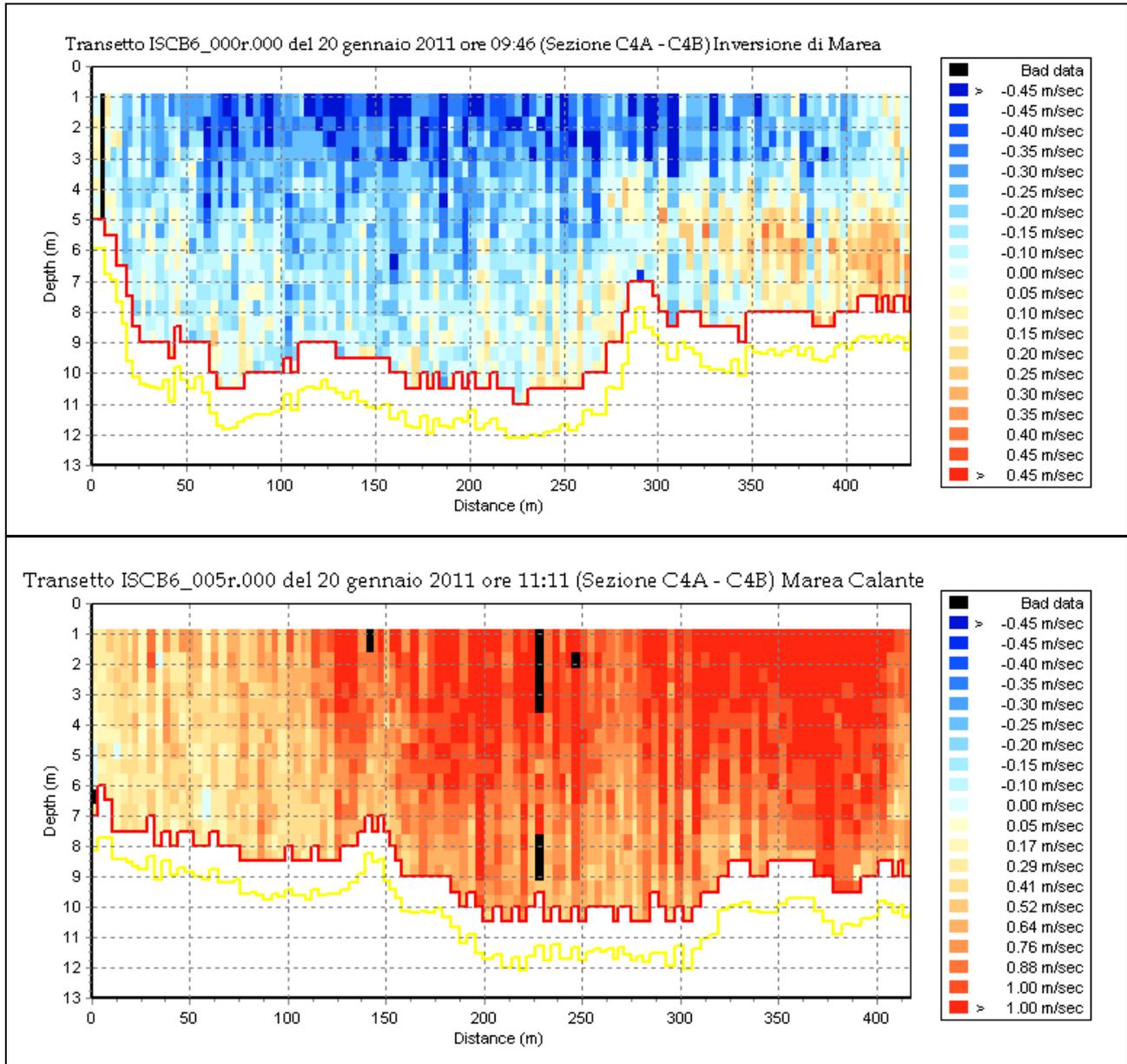


Figura 3.27. Variazioni del campo di corrente presso la sezione C4A - C4B (Chioggia, Campagna ISCB6 del 20 Gennaio 2011).

In Figura 3.28 è rappresentato l'intera fase di inversione mareale che si è verificata durante la campagna ISB6M in prossimità della sezione DN-DS (Malamocco). Nella prima immagine si osserva come la corrente risulti ancora in gran parte entrante e si abbia solo una piccola parte della sezione occupata da il flusso d'acqua uscente. A differenza di quanto è stato osservato per la bocca di Lido in questa particolare condizione l'inversione avviene senza che vi sia una netta separazione delle due masse d'acqua. Nella terza immagine è possibile osservare il campo di velocità durante un importante calante di marea. Le velocità di corrente in questo caso hanno assunto valori istantanei superiori a 2.4 m/s.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

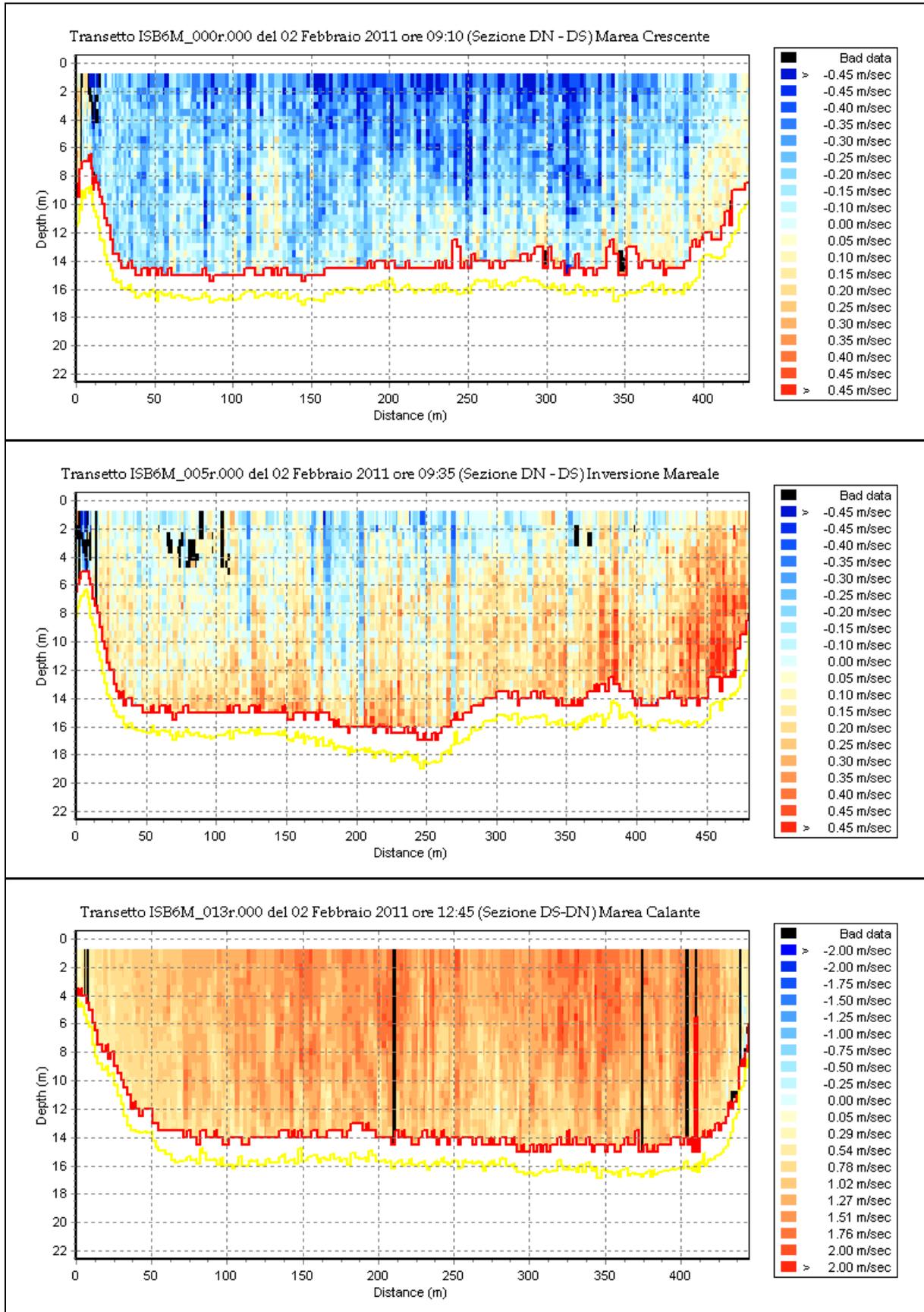


Figura 3.28. Variazioni del campo di corrente presso la sezione DN - DS (Malamocco, Campagna ISB6M del 02 Febbraio 2011).

### 3.6 Studio batimetrico sezioni di interesse DN-DS e 80-82

Attraverso l'analisi dei dati batimetrici registrati dalla strumentazione ADCP *vessel mounted* è stato possibile fornire alcune informazioni riguardo le modificazioni avute lungo le sezioni di interesse per quanto riguarda il profilo batimetrico. Questo particolare studio è stato effettuato solamente sulle sezioni DN - DS e 80 - 82 tralasciando la sezione C4A - C4B in quanto le informazioni batimetriche in possesso non hanno permesso una corretta elaborazione dei dati. Si osserva quanto segue:

La sezione 80 - 82 di Lido ha subito rispetto gli anni precedenti (Figura 3.29) un approfondimento generalizzato. L'entità massima di tale fenomeno di aumento della sezione è di circa 1m considerando il confronto con la campagna ISLI.

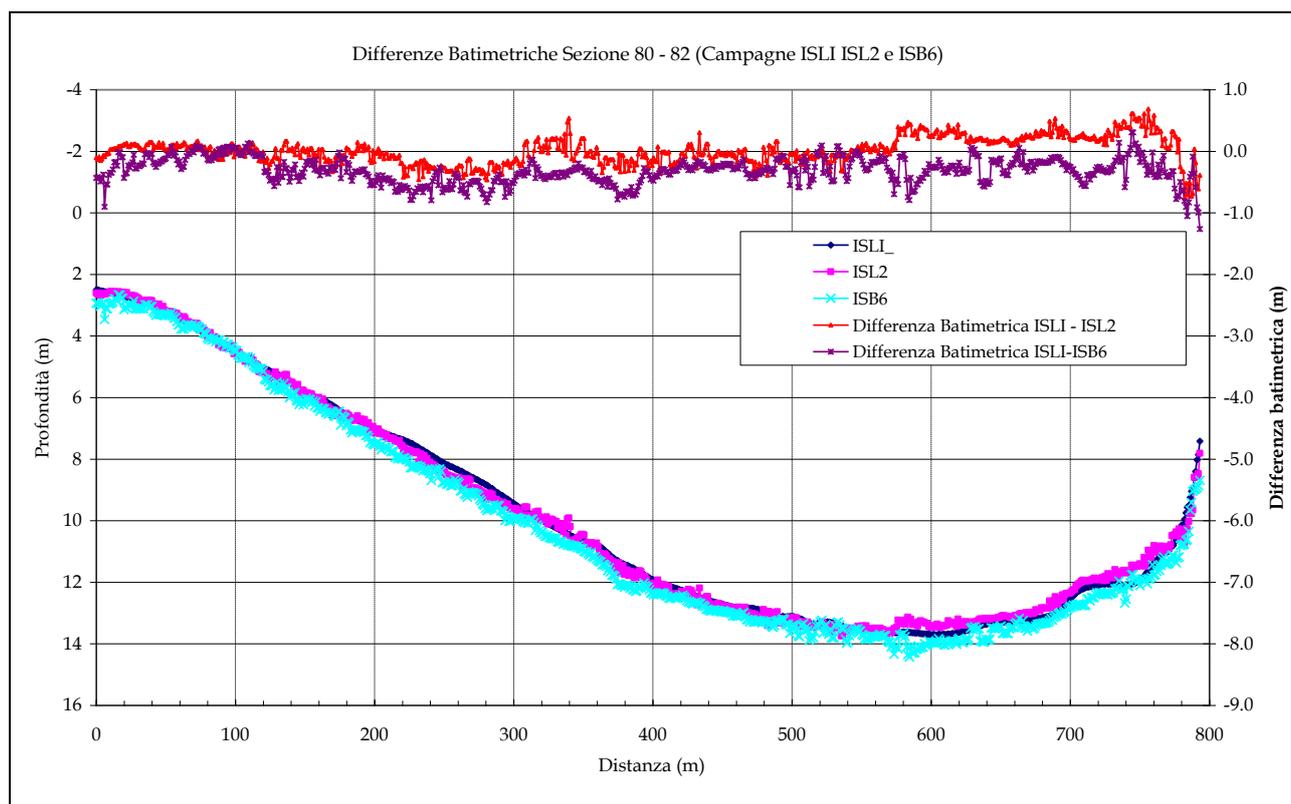


Figura 3.29. variazione del profilo batimetrico lungo la sezione di interesse 80 - 82 (Bocca di Porto di Lido).

La sezione DN - DS di Malamocco (Figura 3.30) risulta avere un profilo batimetrico assai più complesso rispetto al precedente. In più punti si registrano differenze batimetriche positive e in altri negative a dimostrazione che non si è avuta una rimodulazione generale della sezione ma piuttosto una riprofilatura in alcuni punti circoscritti. In questo caso si può riscontrare una lieve riduzione dell'area della sezione.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

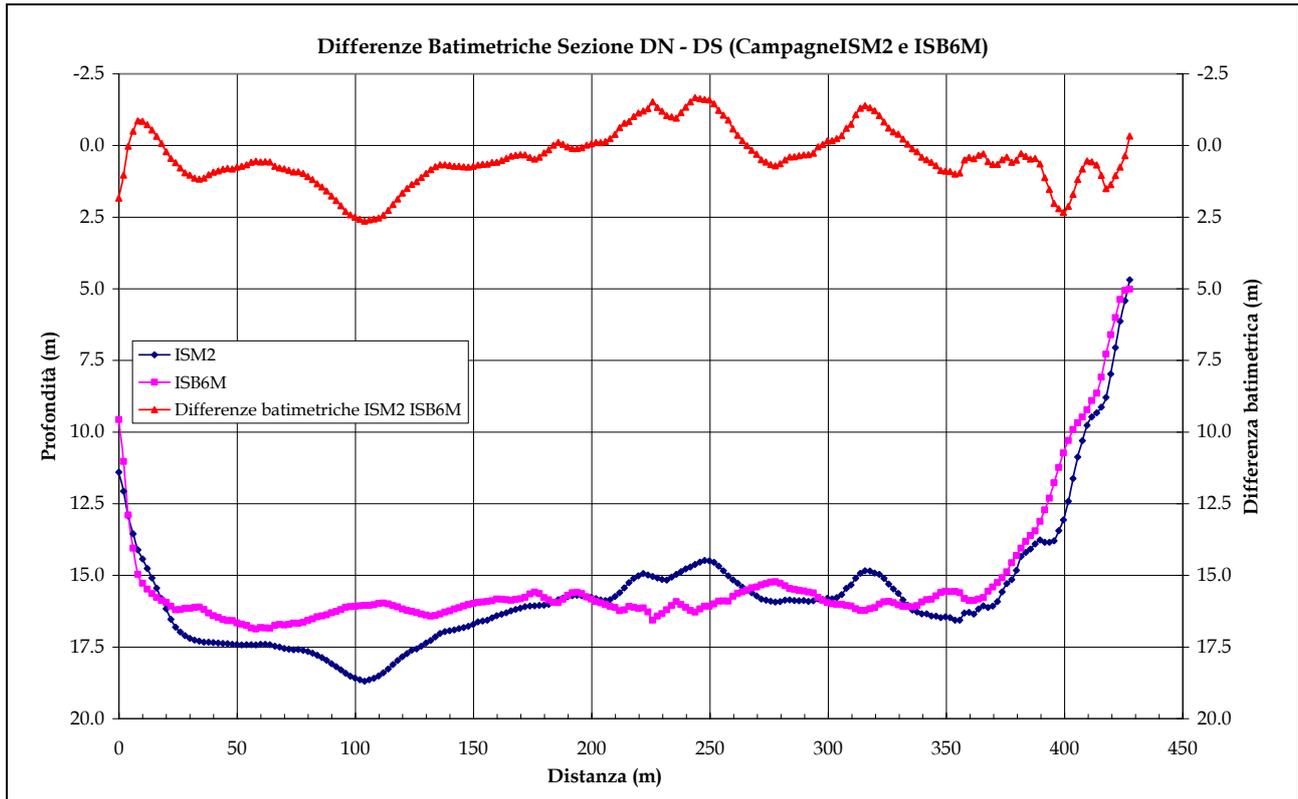


Figura 3.30. Variazione del profilo batimetrico lungo la sezione di interesse DN - DS (Bocca di Porto di Malamocco).

## 4. INDAGINE DEL MECCANISMO DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE E AL FONDO

### 4.1 Attività di misura

Le attività dedicate allo studio del meccanismo di trasporto solido in sospensione e al fondo sono state svolte alle bocche di porto di Lido, di Chioggia e di Malamocco. Perciò in questo capitolo si farà riferimento alla campagna TFLI (19 Ottobre 2010) alla bocca di Lido in cui il campo sperimentale è stato allestito presso i punti TFLI e 83 (Figura 1.16), alla campagna TFCH (19 Gennaio 2011) alla bocca di Chioggia in cui il campo sperimentale è stato allestito presso i punti LITUS e TFCH (Figura 1.17) e alla campagna TFB6MA (3 Febbraio 2011), presso la bocca di porto di Malamocco, in cui il campo sperimentale è stato allestito presso i punti LITUS e TFB6MA (Figura 1.18)

L'attività sperimentale è sinteticamente riassunta in Tabella 4.1.

Nel presente rapporto sono descritti i risultati delle attività di campagna; gli orari riportati nel testo e nella grafica sono espressi come ora UT, mentre le profondità sono da intendersi riferite alla superficie della colonna d'acqua.

Tabella 4.1. Coordinate Gauss-Boaga dei punti notevoli per le campagne TFLI (19 Ottobre 2010), TFCH (19 Gennaio 2011) e TFB6MA (3 Febbraio 2011)

Punto	Est	Nord	Note
<b>Campagna TFLI, 19 Ottobre 2010 alla bocca di porto di Lido</b>			
83	2318939	5033382	ADCP al fondo
TFLI	2318975	5033354	Trappole
<b>Campagna TFCH, 19 Gennaio 2011 alla bocca di porto di Chioggia</b>			
TFCH	2307151	5012646	Trappole
LITUS	2307109	5012672	ADCP al fondo
<b>Campagna TFB6MA, 3 Febbraio 2011 alla bocca di porto di Malamocco</b>			
TFB6MA	2309654	5024162	Trappole
LITUS	2309670	5024142	ADCP al fondo

La campagna TFLI per lo studio del trasporto solido in sospensione e al fondo è stata effettuata in condizioni mareali di sizigie; in particolare è stato indagato un calante principale. Alle operazioni di misura hanno partecipato 3 imbarcazioni:

- ✓ imbarcazione CORILA: ancorata al fondale dalla quale sono state lanciate le trappole *Helley-Smith* e alla quale sono stati fissati sia la strumentazione ADCP 600 kHz sia la strumentazione LISST-100X;
- ✓ imbarcazione Litus: ancorata al fondale dalla quale è stata immersa la struttura per le misure con strumentazione ADCP 1200 kHz al fondo;
- ✓ imbarcazione Boston Whaler: non ancorata e utilizzata da supporto per la movimentazione di uomini e materiale tra le due imbarcazioni ancorate.

Durante la giornata di misure sono stati completati 4 profili completi con trappole *Helley-Smith*, sono state inoltre raccolte informazioni correntometriche con strumentazione ADCP 600 kHz necessarie alla elaborazione dei dati relativi al materiale campionato con le trappole *Helley-Smith* e sono state effettuate misure granulometriche in tempo reale (metodo di acquisizione *real-time*) con lo strumento LISST-100X da imbarcazione CORILA. Contemporaneamente è stata effettuata

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

l'acquisizione di velocità della corrente in prossimità del fondo e del "Bottom Tracking" mediante l'ADCP 1200 kHz con base sull'imbarcazione Litus e sono stati raccolti 10 campioni di sedimento in corrispondenza della quota investigata dall'ADCP 1200 kHz montato sulla struttura fissa in prossimità del fondo.

I punti segnalati in mappa (Figura 1.16) si riferiscono a:

- ✓ TFLI: Posizione imbarcazione CORILA il 19 Ottobre;
- ✓ 83: Posizione imbarcazione LITUS il 19 Ottobre.

Durante le operazioni di misura le tre draghe scarica massi hanno operato nell'area di cantiere per la realizzazione della diga foranea alla bocca di porto di Lido.

La campagna CHTF per lo studio del trasporto solido in sospensione e al fondo è stata effettuata in condizioni mareali di sizigie, in particolare è stato indagato 1 calante principale. Alle operazioni di misura hanno partecipato 3 imbarcazioni:

- ✓ imbarcazione CORILA: ancorata al fondale dalla quale sono state lanciate le trappole *Helley-Smith* e alla quale sono stati fissati sia la strumentazione ADCP 600 kHz sia la strumentazione LISST-100X;
- ✓ imbarcazione LITUS: ancorata al fondale dalla quale è stata calata la struttura/il tripode per le misure con strumentazione ADCP 1200 kHz al fondo;
- ✓ imbarcazione Boston Whaler: non ancorata e utilizzata da supporto per la movimentazione di uomini e materiale tra le due imbarcazioni ancorate.

Durante la giornata di misura sono stati effettuati 3 profili completi con trappole *Helley-Smith* per un totale di 12 lanci, sono state inoltre raccolte informazioni correntometriche con strumentazione ADCP 600 kHz da imbarcazione CORILA ed è stata effettuata l'acquisizione di velocità della corrente in prossimità del fondo e del "Bottom Tracking" mediante l'ADCP 1200 kHz con base sull'imbarcazione LITUS. Sono stati raccolti 9 campioni di sedimento in corrispondenza della quota investigata dall'ADCP 1200 kHz montato sulla struttura in prossimità del fondo. Inoltre sono state effettuate misure granulometriche in tempo reale (metodo di acquisizione *real-time*) con lo strumento LISST-100X immerso dall'imbarcazione CORILA.

I punti segnalati nella mappa (Figura 1.17) si riferiscono a:

- ✓ TFCH: posizione imbarcazione CORILA;
- ✓ LITUS: posizione imbarcazione LITUS.

Non si segnala la presenza di draghe durante le misure.

La campagna TFB6MA per lo studio del trasporto solido in sospensione e al fondo è stata effettuata in condizioni mareali di sizigie, in particolare è stato indagato 1 calante principale. Tuttavia la scelta delle stazioni di misura non è risultata ottimale. Infatti la necessità di trovare un sito caratterizzato da profondità modeste, idonee all'immersione degli strumenti di misura e di campionamento, ha comportato la scelta di un'area che si è rilevata isolata dalla corrente principale che fluisce attraverso la bocca di porto. Così il sito è risultato caratterizzato da una macroturbolenza che da luogo ad una configurazione anomala del campo di corrente.

Alle operazioni di misura hanno partecipato 3 imbarcazioni:

- ✓ imbarcazione CORILA: ancorata al fondale dalla quale sono state lanciate le trappole *Helley-Smith* e alla quale sono stati fissati sia la strumentazione ADCP 600 kHz sia la strumentazione LISST-100X;

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

- ✓ imbarcazione LITUS: ancorata al fondale dalla quale è stata calata la struttura/il tripode per le misure con strumentazione ADCP 1200 kHz al fondo;
- ✓ imbarcazione Boston Whaler: non ancorata e utilizzata da supporto per la movimentazione di uomini e materiale tra le due imbarcazioni ancorate.

Durante la giornata di misura sono stati effettuati 3 profili completi con trappole *Helley-Smith* per un totale di 12 lanci, sono state inoltre raccolte informazioni correntometriche con strumentazione ADCP 600 kHz da imbarcazione CORILA ed è stata effettuata l'acquisizione di velocità della corrente in prossimità del fondo e del "Bottom Tracking" mediante l'ADCP 1200 kHz con base sull'imbarcazione LITUS. Sono stati raccolti 4 campioni di sedimento in corrispondenza della quota investigata dall'ADCP 1200 kHz montato sulla struttura in prossimità del fondo. Inoltre sono state effettuate misure granulometriche in tempo reale (metodo di acquisizione *real-time*) con lo strumento LISST-100X immerso dall'imbarcazione CORILA.

I punti segnalati nella mappa (Figura 1.18) si riferiscono a:

- ✓ TFB6MA: posizione imbarcazione CORILA;
- ✓ LITUS: posizione imbarcazione LITUS.

Non si segnala la presenza di draghe durante le misure.

Il campionamento dei sedimenti in sospensione è stato effettuato utilizzando due campionatori (o trappole) *Helley-Smith* [Helley and Smith, 1971] modificati con apertura frontale di 12×12 cm e muniti di rete per la raccolta del sedimento con maglia di 60  $\mu\text{m}$ . Ciascun profilo è stato ottenuto con quattro lanci (due trappole per volta); uno a 6 cm dal fondo (trappola bentica), uno a 20.5 cm dal fondo (trappola epibentica), uno a circa metà della profondità totale (trappola mediana) e l'ultimo in prossimità della superficie (trappola superficiale). Lo schema di impiego delle trappole è rappresentato in Figura 4.1.

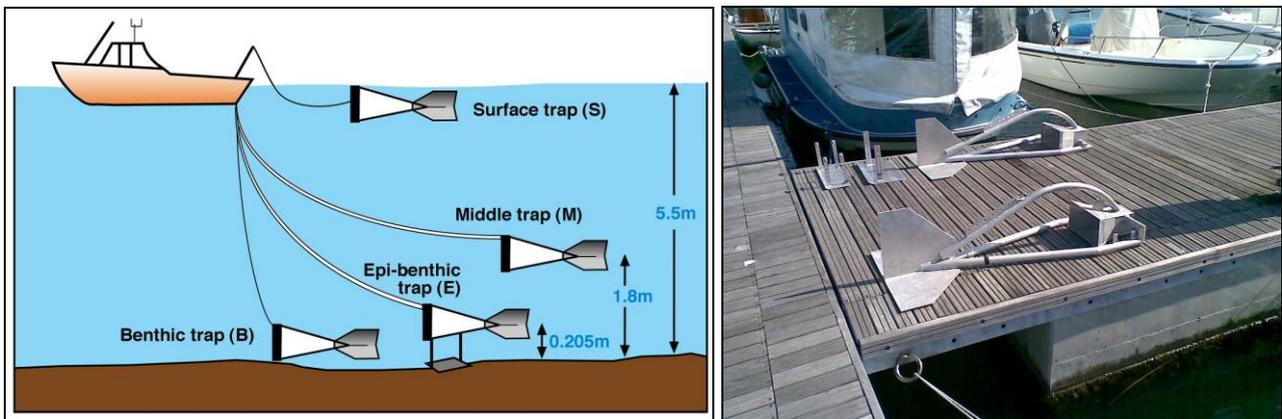


Figura 4.1. Schema di campionamento per la caratterizzazione dei materiali trasportati in sospensione e campionatori del tipo *Helley-Smith* modificati.

Le trappole una volta calate catturano il materiale trasportato dal flusso idrico che le investe. Successivamente, una volta issate a bordo dell'imbarcazione, vengono svuotate dal materiale intrappolato che è risciacquato attraverso un setaccio con maglia di 63  $\mu\text{m}$  per eliminare l'eventuale materiale fine rimasto nel sacco della trappola.

I campioni di sedimento raccolti in campo sono stati pretrattati in laboratorio. Durante questa fase i campioni sono stati risciacquati con acqua distillata e centrifugati più volte al fine di lavare l'eccesso di sale ed in seguito sono stati seccati su piastra riscaldante in modo da eliminare l'acqua

residua presente nel sedimento. Il materiale secco è stato pesato e successivamente riscaldato in muffola a 550°C per cinque ore al fine di eliminare completamente la sostanza organica presente. Dopo una seconda pesatura, si è ricavata, per differenza, la percentuale di organico sul totale. Successivamente, con l'uso di setacci e della strumentazione LISST sono state determinate le curve granulometriche caratteristiche dei campioni prelevati ed è stato calcolato il diametro medio dei granuli. Il peso della frazione inorganica di ogni campione è stato diviso per il volume di acqua che ha attraversato ciascuna trappola durante il periodo di immersione, che solitamente è pari a 15 - 20 minuti, ottenendo la concentrazione dei solidi in sospensione ad ogni profondità campionata. Il volume d'acqua che attraversa la trappola è stato stimato considerando le velocità registrate dall'ADCP 600 kHz alle quote corrispondenti e l'area dell'apertura della stessa trappola.

#### 4.2 Bocca di Lido, campagna TFLI, 19 Ottobre 2010

La campagna per lo studio del trasporto solido in sospensione e al fondo è stata effettuata in condizioni di marea di sizigie, in particolare è stato indagato un calante principale (Figura 4.2). L'escursione totale del livello di marea è stata di circa 0.70 m.

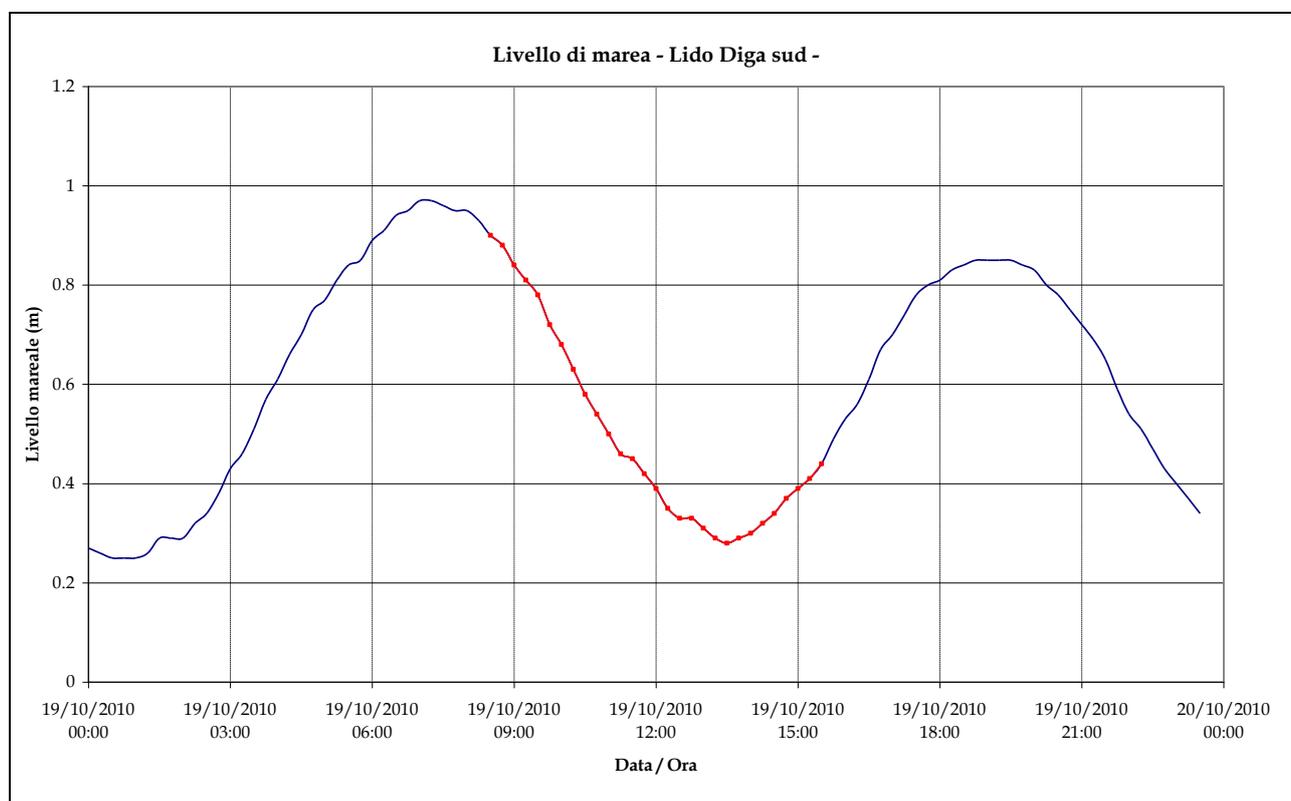


Figura 4.2. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato al mareografo di Lido, Diga Sud, per il giorno 19 Ottobre 2010. In rosso è indicato l'intervallo mareale durante il quale sono state effettuate le operazioni di misura.

Il periodo d'indagine è risultato caratterizzato da un vento proveniente dal quadrante di N-NO e la sua intensità, da un picco di circa 7 m/s delle ore 09:00 circa, è diminuita progressivamente fino a valori di 1 - 2 m/s al termine delle misure (Figura 4.3).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

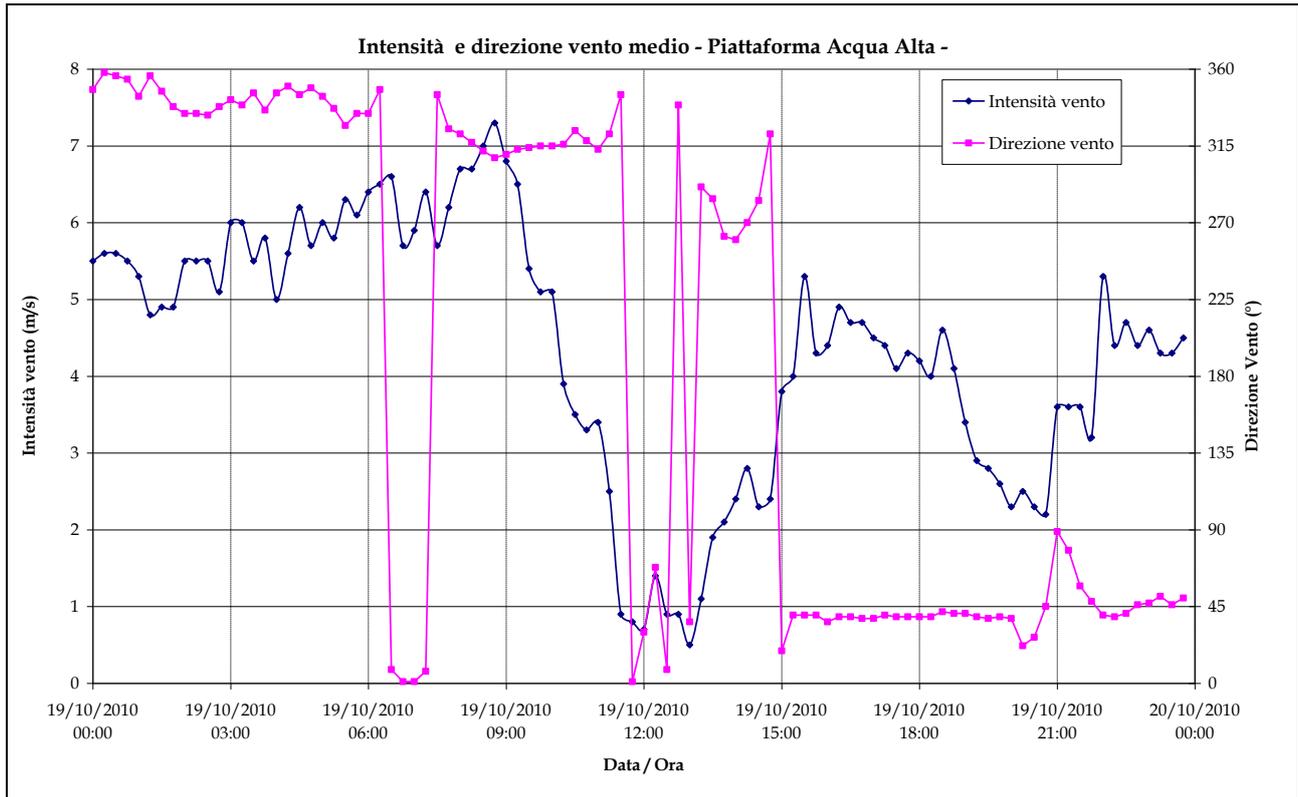


Figura 4.3. Intensità e direzione del vento registrati alla piattaforma Acqua Alta CNR-ISMAR, per il giorno 19 Ottobre 2010.

#### 4.2.1 *Granulometrie del 19 Ottobre: misure in situ*

Durante le attività di misura del 19 Ottobre è stata immersa dall'imbarcazione CORILA la strumentazione LISST-100X per monitorare in tempo reale l'andamento e la variazione delle caratteristiche dimensionali del particolato in sospensione nei pressi del punto in cui sono state lanciate le trappole per lo studio dei materiali solidi sospesi. Dai grafici di Figura 4.5 è facilmente rilevabile come il  $d_{50}$  vari aumentando progressivamente da  $60 \mu\text{m}$  fino ad un massimo di circa  $140 \mu\text{m}$  per poi ritornare a valori prossimi a  $120 \mu\text{m}$ . In Figura 4.4 sono riportate le curve granulometriche ricavate dalle misure in situ. Tale tipologia di misura fornisce informazioni circa le dimensioni del materiale in sospensione in-situ che tendenzialmente risulta maggiore rispetto alle misure effettuate in laboratorio in quanto vengono intercettati aggregati e flocculi.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

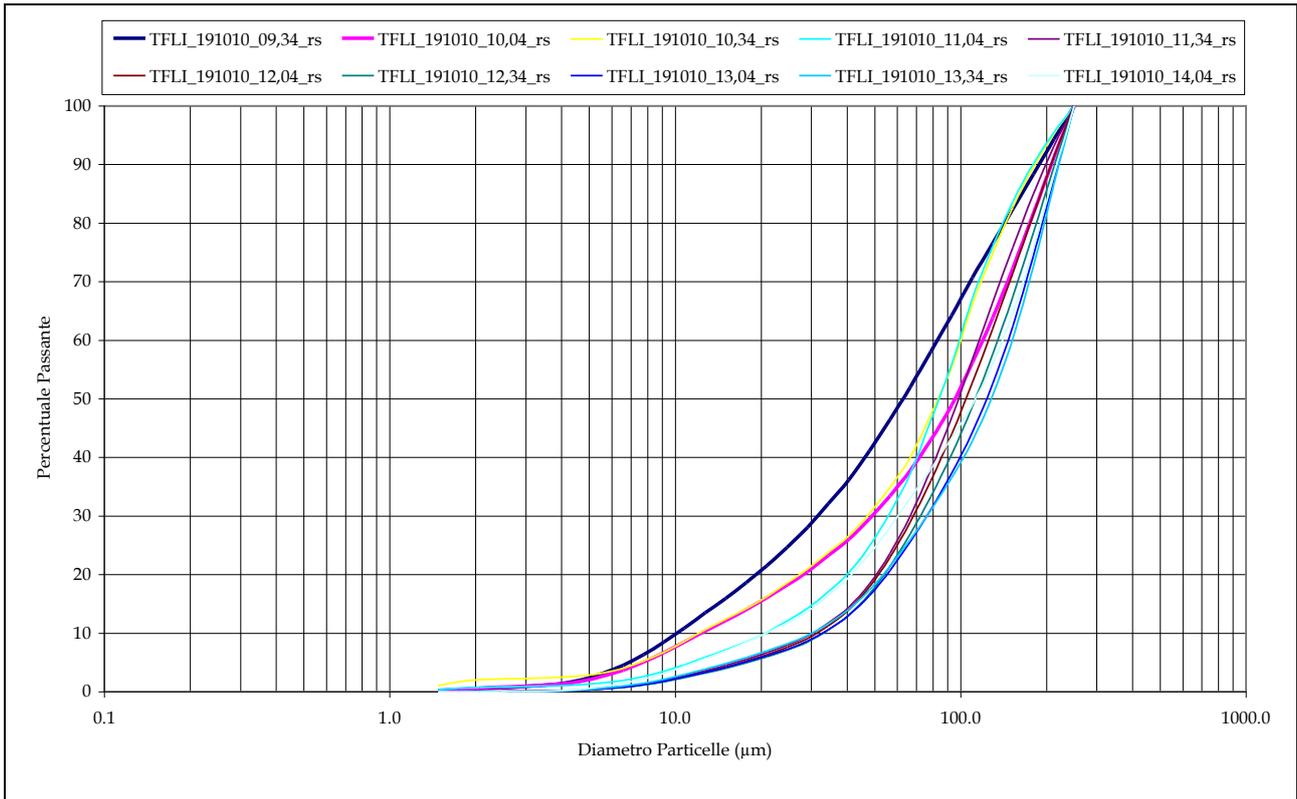


Figura 4.4. Distribuzione granulometrica in situ (Punto LITF, Figura 1.16) nella fase di marea calante, il giorno 19 Ottobre presso la bocca di porto di Lido.

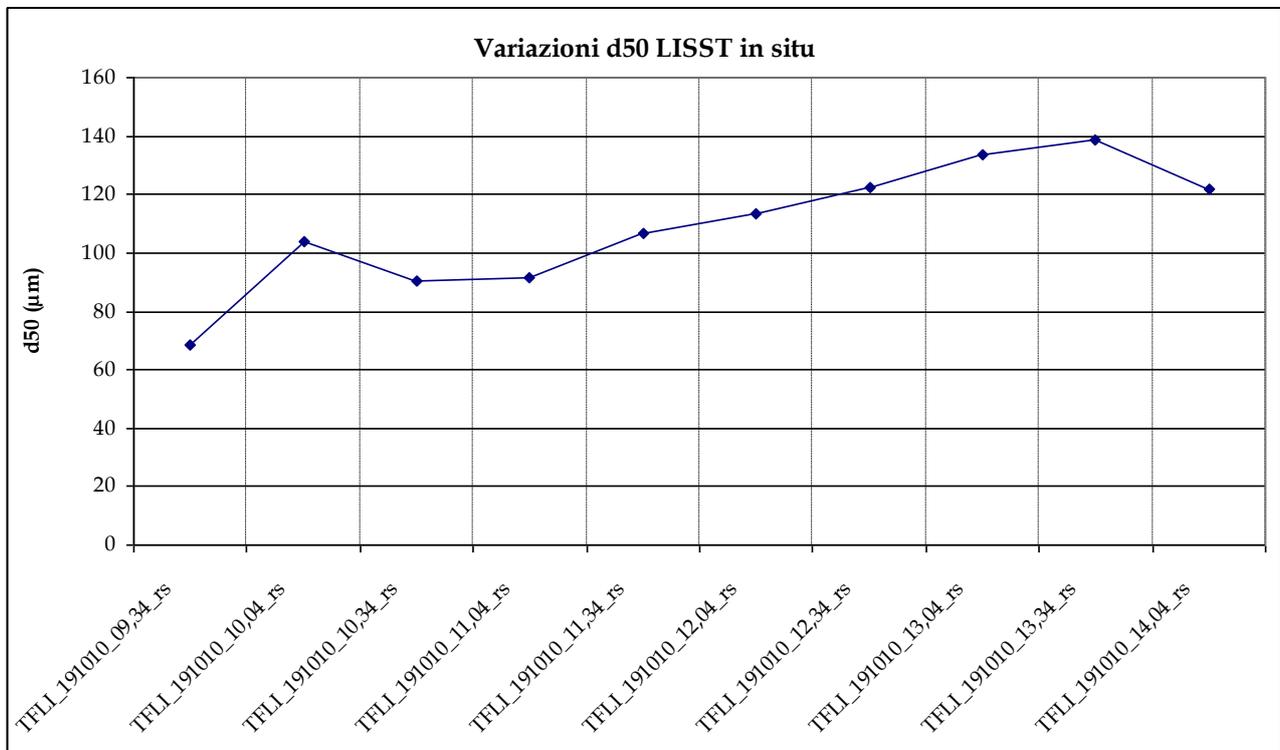


Figura 4.5. Variazione del d50 (Punto TFLI, Figura 1.16) nella fase di marea calante, il giorno 19 Ottobre 2010 presso la bocca di porto di Lido.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

In Tabella 4.2 vengono riportati i valori del d50, le percentuali in volume delle frazioni granulometriche in base alla scala di Wentworth (1922) e la classificazione di Shepard (1954) del particellato solido in sospensione analizzato *in situ*. Occorre sottolineare una presenza minima della componente argillosa dallo spettro granulometrico dei sedimenti campionati. Le percentuali di limo sono comprese tra il 23.1% del campione delle ore 13.04 ed il 48.7% del campione delle ore 09.34. Corrispondentemente nel campione delle ore 09.34 è stata misurata la minore percentuale di sabbia, pari al 50.8%, ed alle ore 13.04 è stata rilevata la maggiore quantità di sabbia, pari al 76.9%. Si nota quindi un graduale aumento della componente sabbiosa fino alle ore 13.04 cui corrisponde una generale riduzione della frazione limosa; successivamente il trend si inverte e la frazione limosa ritorna ad aumentare su quella sabbiosa. Anche sulla base della classificazione di Shepard (1954) si può notare come si passa dall'iniziale campione ascrivibile alla categoria delle Sabbie-Limose alla Sabbia per poi tornare nell'ultima parte delle misure alla Sabbia-Limosa.

Tabella 4.2. d50, percentuali in volume delle frazioni granulometriche secondo la scala di Wentworth e classificazione secondo Shepard del particellato solido in sospensione misurata il giorno 19 Ottobre 2010 presso la bocca di porto di Lido (Punto LITF, Figura 1.16).

Data	Ora	d50	Scala Wentworth (1922)			Classificazione Shepard (1954)
			% Argilla	% Limo	% Sabbia	
19/10/2010	09,34	68.23	0.5	48.7	50.8	Sabbia-Limosa
	10,04	103.69	0.6	34.9	64.4	Sabbia-Limosa
	10,34	90.46	2.1	35.3	62.6	Sabbia-Limosa
	11,04	91.35	0.7	33.1	66.1	Sabbia-Limosa
	11,34	106.77	0.0	26.8	73.2	Sabbia-Limosa
	12,04	113.3	0.0	25.9	74.1	Sabbia-Limosa
	12,34	122.12	0.0	24.1	75.8	Sabbia
	13,04	133.61	0.0	23.1	76.9	Sabbia
	13,34	138.53	0.0	23.7	76.3	Sabbia
	14,04	122.08	0.0	30.6	69.4	Sabbia-Limosa

#### 4.2.2 Studio della distribuzione e caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo

Nelle due colonne in Tabella 4.3 vengono mostrati i valori medi della percentuale di sostanza organica e della concentrazione di sabbia in sospensione ricavati dalle analisi sui campioni prelevati alla bocca di porto di Lido nel giorno 19 Ottobre 2010.

Il contenuto organico, espresso in percentuale sul totale, risulta variabile tra lo 1.0% dei sedimenti raccolti dalla trappola bentica ed il 3.7% dei sedimenti raccolti dalla trappola mediana. La concentrazione della frazione sabbiosa aumenta progressivamente dalla superficie al fondo della colonna d'acqua. I valori si attestano tra i 1.1 mg/l di sabbia presente in superficie ai 37.9 mg/l in prossimità del fondo. Dai campioni di calibrazione prelevati con la pompa ad immersione e filtrati con setaccio di analoghe dimensioni risulta un'efficienza pari al 75%. L'efficienza reale delle trappole è un fattore in stretta relazione alla capacità con cui esse si lasciano attraversare dalla massa d'acqua che investe la loro apertura e la rete che raccoglie il sedimento. Ad una bassa efficienza viene a corrispondere un fattore moltiplicativo più alto per il calcolo della concentrazione in sospensione. È evidente quindi che una sottostima dell'efficienza porterebbe ad una sovrastima, anche rilevante, della concentrazione di materiale solido in sospensione.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tabella 4.3. Percentuali del contenuto organico e concentrazione della frazione sabbiosa dei campioni raccolti con le trappole.

Sigla	Contenuto Organico (%)	Concentrazione (mg/l) sabbia (diametro > 63 µm)
	Calante	Calante
	19/10/2010	19/10/2010
S	3.64	1.11
M	3.70	2.98
E	2.36	19.80
B	1.00	37.94

Oltre alle determinazioni descritte, l'analisi dei dati del *bottom tracking* dell'ADCP posizionato al fondo ha consentito di stimare l'entità del movimento del materiale del fondo che è stato quantificato come spostamento totale (in metri) secondo le componenti Nord ed Est e come risultante.

#### 4.3 Bocca di Chioggia, campagna TFCH, 19 Gennaio 2011

Le attività di misura effettuate durante la campagna di trasporto al fondo denominata TFCH sono state svolte durante la fase di marea calante del giorno 19 Gennaio 2011. L'escursione di marea è risultata di circa 1 m (Figura 4.6).

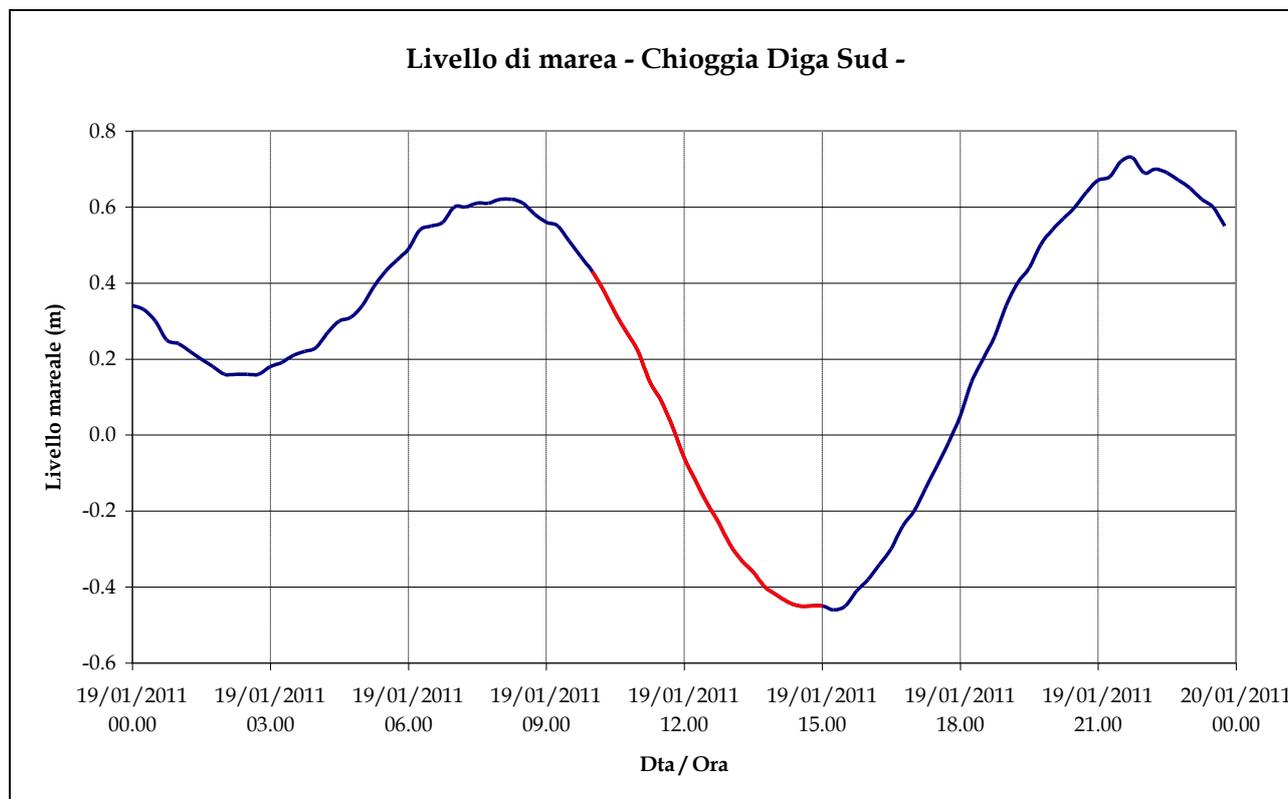


Figura 4.6. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato al mareografo di Chioggia, Diga Sud, per il giorno 19 Gennaio 2011. In rosso è indicato l'intervallo mareale durante il quale sono state effettuate le operazioni di misura.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Durante la giornata del 19 Gennaio 2011 le condizioni meteo marine sono state particolarmente variabili, ma durante l'intervallo di misura il vento è risultato più stabile, in particolare esso proveniva dal quadrante E con una intensità di circa 1-4 m/s (Figura 4.7).

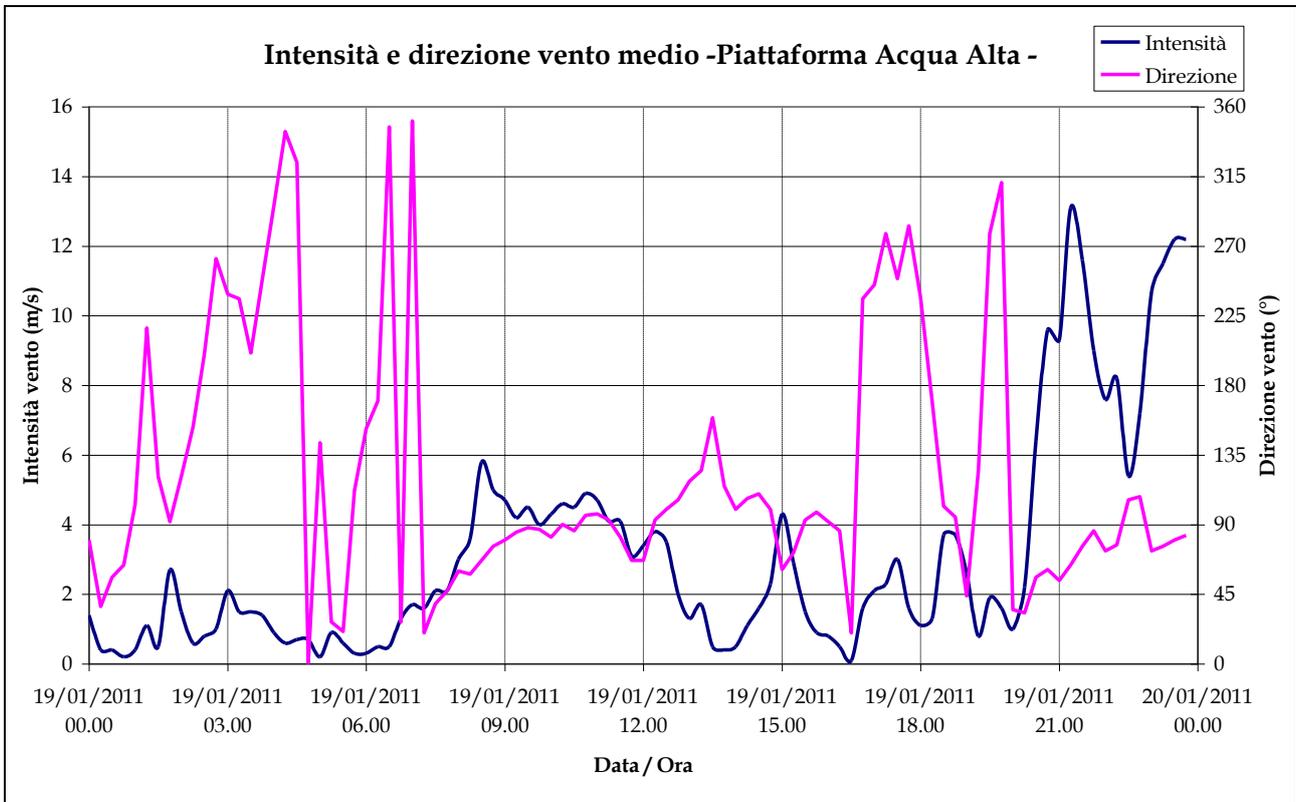


Figura 4.7. Intensità e direzione del vento (valori medi orari) registrati alla piattaforma CNR-ISMAR, per il giorno 19 Gennaio 2011.

#### 4.3.1 Granulometrie del 19 Gennaio 2011 misure in situ

Durante le attività di misura del 19 Gennaio è stato immerso dall'imbarcazione CORILA lo strumento LISST-100X per monitorare in tempo reale l'andamento e la variazione delle caratteristiche granulometriche nei pressi del punto in cui sono state lanciate le trappole per lo studio del materiale sospeso.

I dati ottenuti evidenziano un evidente andamento delle caratteristiche granulometriche del particolato solido sospeso (Figura 4.8). Le dimensioni del materiale in sospensione aumentano progressivamente dall'inizio alla fine delle misure. Inoltre il fuso delle curve granulometriche risulta piuttosto ampio denotando una variabilità dimensionale moderata. Il d50 riportato in Figura 4.9 mostra una moderata variabilità da un valore minimo di 55  $\mu\text{m}$  a uno massimo di 116  $\mu\text{m}$ . La graduale transizione verso distribuzioni più grossolane è ben evidenziata anche dal progressivo aumento del diametro caratteristico durante il calante di marea investigato. Tale tipologia di misura fornisce importanti informazioni circa le dimensioni del materiale in sospensione *in-situ* che tendenzialmente risultano maggiori rispetto a quelle ottenute durante misure effettuate in laboratorio in quanto vengono intercettati aggregati e flocculi.

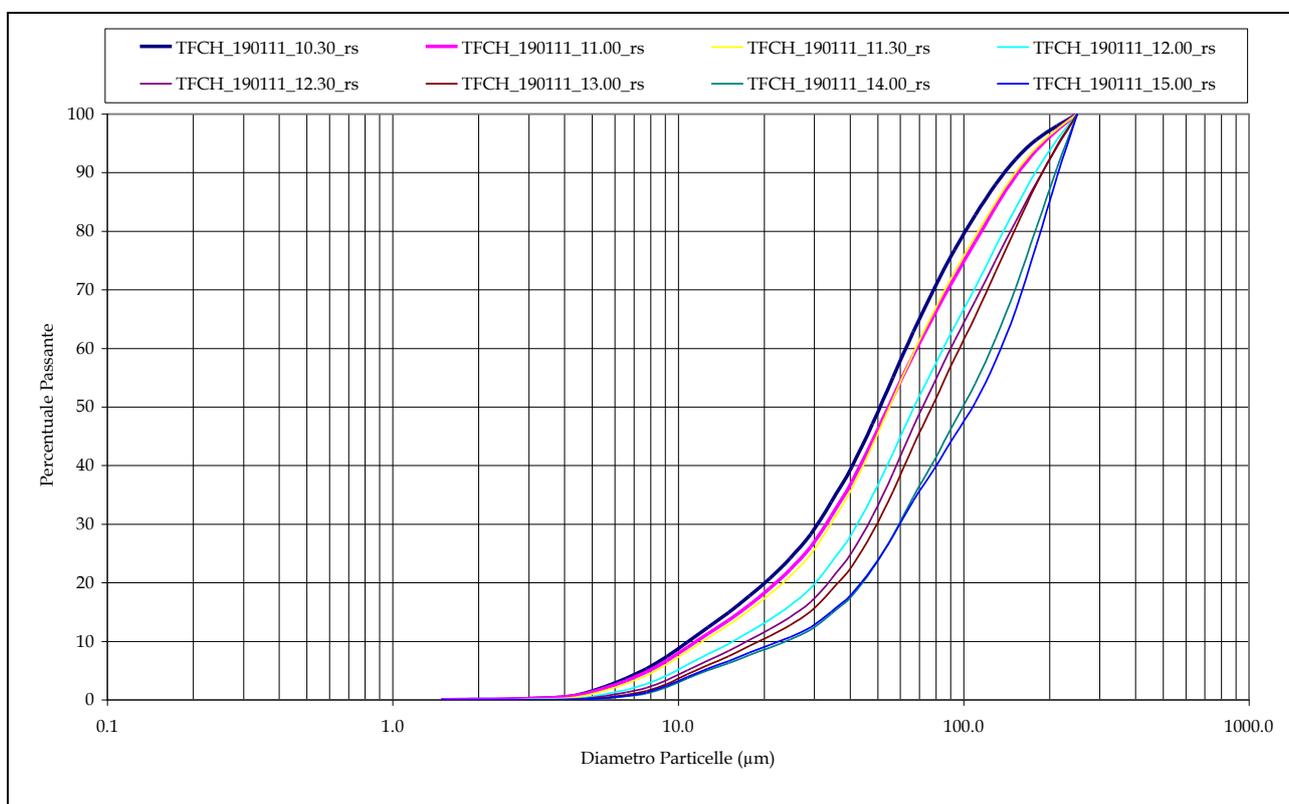


Figura 4.8. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto TFCH. Figura 1.17) nella fase di marea calante, il giorno 19 Gennaio 2011 presso la bocca di porto di Chioggia.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

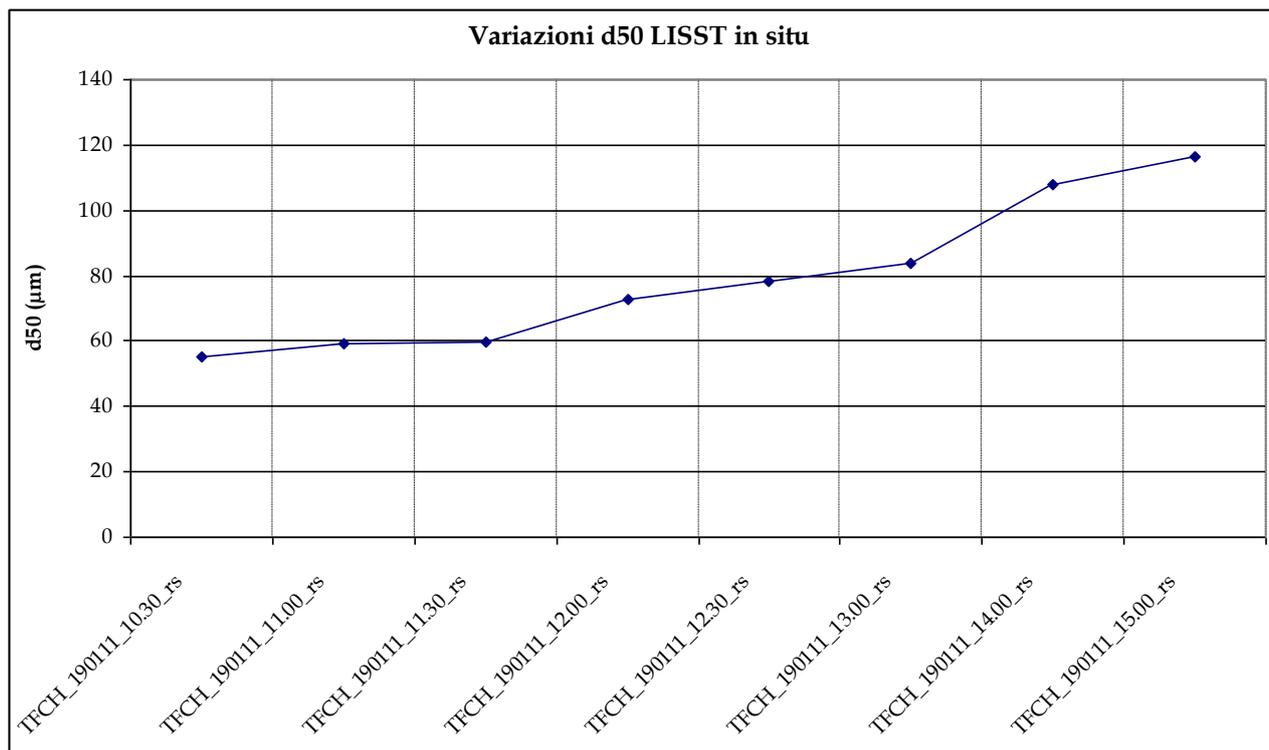


Figura 4.9. Variazione del d50 registrata durante la giornata del 19 Gennaio presso la bocca di porto di Chioggia (Punto TFCH, Figura 1.17).

In Tabella 4.4 vengono riportati i valori del d50, le percentuali in volume delle frazioni granulometriche in base alla scala di Wentworth (1922) e la classificazione di Shepard (1954) del particellato solido in sospensione analizzato *in situ*. Si nota la totale assenza della componente argillosa dallo spettro granulometrico dei sedimenti campionati. Le percentuali di frazione limosa invece variano tra il 31.0% delle ore 15.00 ed il 58.9% delle ore 10.30 del giorno 19 Gennaio. Corrispondentemente alle ore 10.30 è stata misurata la minore percentuale di frazione sabbiosa, pari al 41.1%, ed alle ore 15.00 è stata rilevata la maggiore quantità di frazione sabbiosa, pari al 69.0%. Sulla base della classificazione di Shepard (1954) si può notare come i campioni si dividano tra le categorie Limi-Sabbiosi e Sabbie-Limose.

Tabella 4.4. d50, percentuali in volume delle frazioni granulometriche secondo la scala di Wentworth e classificazione secondo Shepard del particellato solido in sospensione misurata nel giorno 19 Gennaio 2011 presso la bocca di porto di Chioggia (Punto TFCH, Figura 1.17).

Data	Sigla / Ora	d50	% Argilla	% Limo	% Sabbia	Classificazione
19/01/2011	TFCH_190111_10,30_rs	55.29	0.0	58.9	41.1	Limo Sabbioso
	TFCH_190111_11,00_rs	59.12	0.1	55.2	44.7	Limo Sabbioso
	TFCH_190111_11,30_rs	59.63	0.0	55.2	44.8	Limo Sabbioso
	TFCH_190111_12,00_rs	72.79	0.0	45.9	54.1	Sabbia Limosa
	TFCH_190111_12,30_rs	78.21	0.0	42.7	57.3	Sabbia Limosa
	TFCH_190111_13,00_rs	84.05	0.0	39.5	60.5	Sabbia Limosa
	TFCH_190111_14,00_rs	107.96	0.0	31.3	68.7	Sabbia Limosa
	TFCH_190111_15,00_rs	116.43	0.0	31.0	69.0	Sabbia Limosa

4.3.2 Studio della distribuzione e caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo

Nelle due colonne in Tabella 4.5 vengono mostrati i valori medi della percentuale di sostanza organica e della concentrazione di sabbia in sospensione ricavati dalle analisi sui campioni prelevati con le trappole *Helley - Smith* alla bocca di porto di Chioggia nel giorno 19 Gennaio 2011 (Campagna TFCH).

Il contenuto organico, espresso in percentuale sul totale, risulta relativamente elevato soprattutto per quanto concerne i campioni superficiali. Il contenuto organico varia infatti da un massimo di 11.80% trappola del campione superficiale a 3.07 % trappole del campione epibentico. Si osserva quindi un gradiente nel contenuto di materiale organico con un progressiva diminuzione verso il fondo. Per quanto riguarda le percentuali di frazione sabbiosa contenuta nel sedimento in sospensione si può osservare come essa sia variabile da un minimo presso la superficie di circa 0.83 % ad un massimo di circa 2.89 % presso il fondale. Anche in questo caso esiste quindi una transizione della composizione con aumento della percentuale sabbiosa dalla superficie al fondo.

Tabella 4.5. Percentuale del contenuto organico e concentrazione della frazione sabbiosa dei campioni raccolti con le trappole.

Sigla	Contenuto Organico (%)	Concentrazione (mg/l) sabbia (diametro > 63 µm)
	Calante	Calante
	19/01/2011	19/01/2011
S	11.80	0.83
M	5.26	1.28
E	3.07	2.42
B	5.00	2.89

Oltre alle determinazioni descritte, si è provveduto all'analisi dei dati del *bottom tracking* dell'ADCP posizionato al fondo al fine di stimare l'entità del movimento del materiale al fondo. La determinazione dello spostamento totale (in metri) considera le componenti Nord ed Est; inoltre attraverso la calibrazione del backscatter si è potuto caratterizzare l'entità del trasporto solido presso il fondale.

In Figura 4.10 sono riportati la velocità e gli spostamenti Est e Nord misurati dalla strumentazione ADCP 1200 kHz nel punto TFCH. Le misure sono iniziate quando la corrente al fondo era già piuttosto sostenuta e attorno a 0.5 m/s ed è interessante osservare che il movimento del fondo, rappresentato dagli spostamenti Est e Nord comincia ad essere apprezzabile nel momento in cui la velocità al fondo stessa supera il valore di circa 0.6 m/s. Infatti, quando la corrente supera tale "soglia critica" il gradiente delle curve dello spostamento aumenta, per poi ritornare quasi a zero nel momento in cui la corrente torna ad avere valori inferiori a 0.6 m/s.

Si è quindi calcolata la velocità di movimento del materiale del fondo considerando il totale dello spostamento e il tempo intercorso durante la misura. È stato valutato che durante l'intero ciclo di misura il fondo mobile si è spostato ad una velocità media di circa 0.15 cm/s; considerando solamente l'intervallo di tempo con velocità superiori a 0.6 m/s la velocità di spostamento aumenta a circa 0.3 cm/s. Lo spostamento totale misurato durante l'intervallo di misura è stato di 22 m ed è rappresentato in forma di vettore bidimensionale in Figura 4.11.

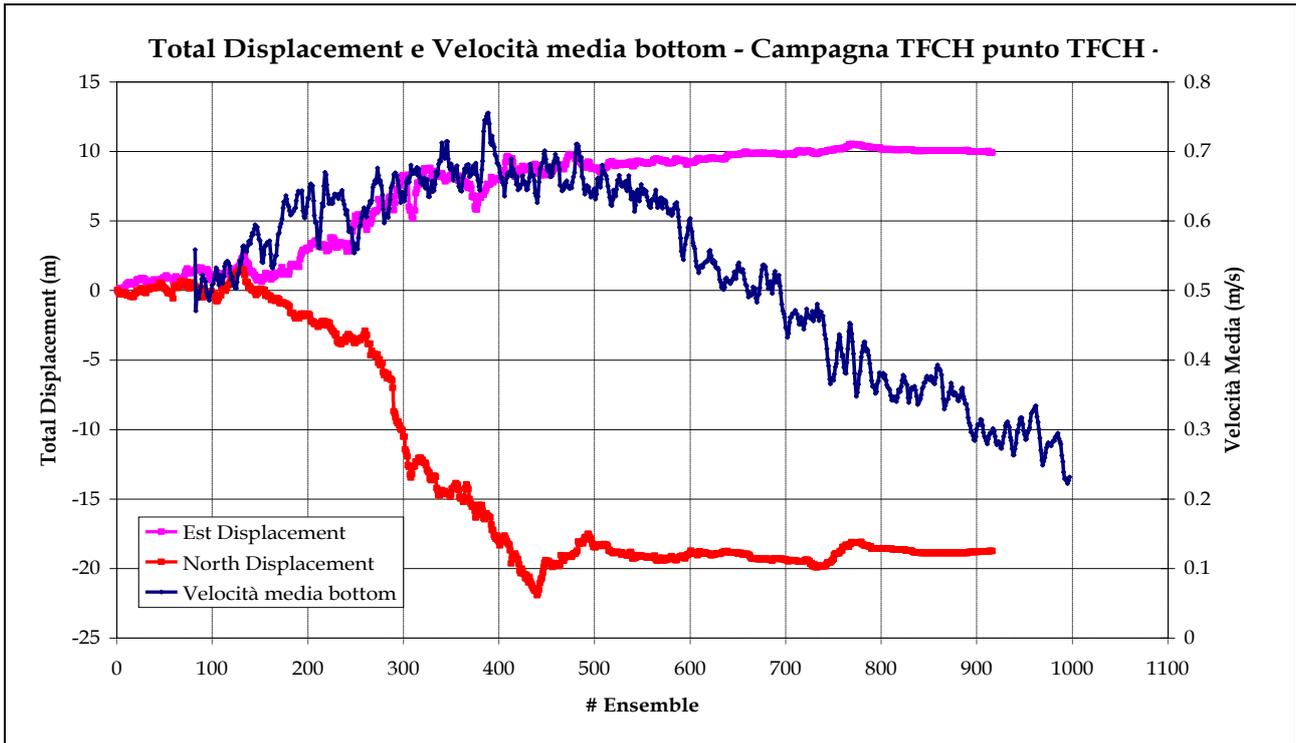


Figura 4.10. Total displacement e velocità al fondo misurate dalla strumentazione ADCP 1200kHz nel punto TFCH il giorno 19 Gennaio 2011.



Figura 4.11. Vettore dello spostamento misurato dalla strumentazione ADCP 1200 kHz, punto notevole TFCH. Campagna TFCH del 19 Gennaio 2011.

#### 4.4 Bocca di Malamocco, campagna TFB6MA, 3 Febbraio 2011

Le attività di misura effettuate durante la campagna di trasporto al fondo denominata TFB6MA sono state svolte durante la fase di marea calante del giorno 3 Febbraio 2011. L'escursione di marea è risultata di circa 1.1 m (Figura 4.12).

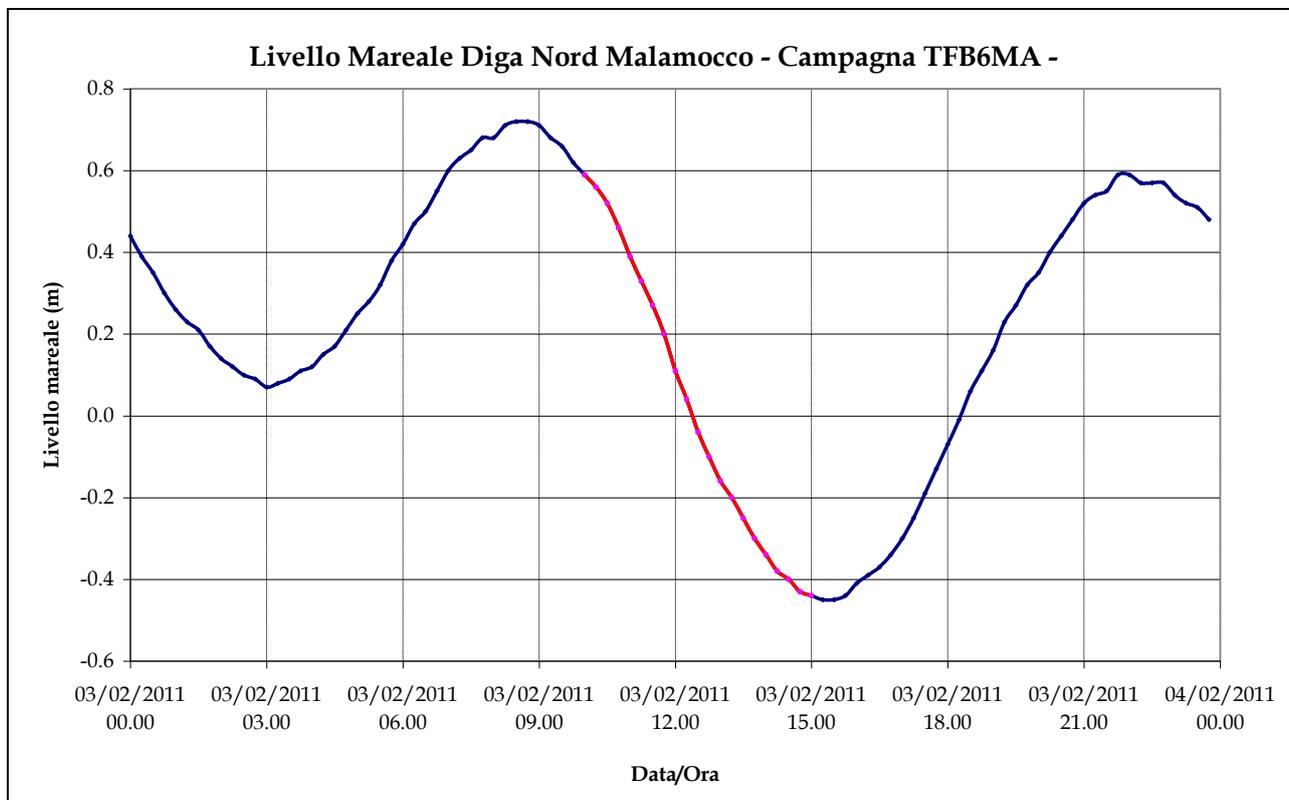


Figura 4.12. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato al mareografo di Malamocco, Diga Nord, per il giorno 3 Febbraio 2011. In rosso è indicato l'intervallo mareale durante il quale sono state effettuate le operazioni di misura.

Durante la giornata del 3 Febbraio 2011 è stata caratterizzata da una sostanziale uniformità delle condizioni meteo marine. Il vento ha mantenuto una provenienza dal quadrante N per l'intero intervallo di misura; l'intensità del vento ha progressivamente diminuito il suo valore da circa 10 m/s a circa 5m/s (Figura 4.13).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

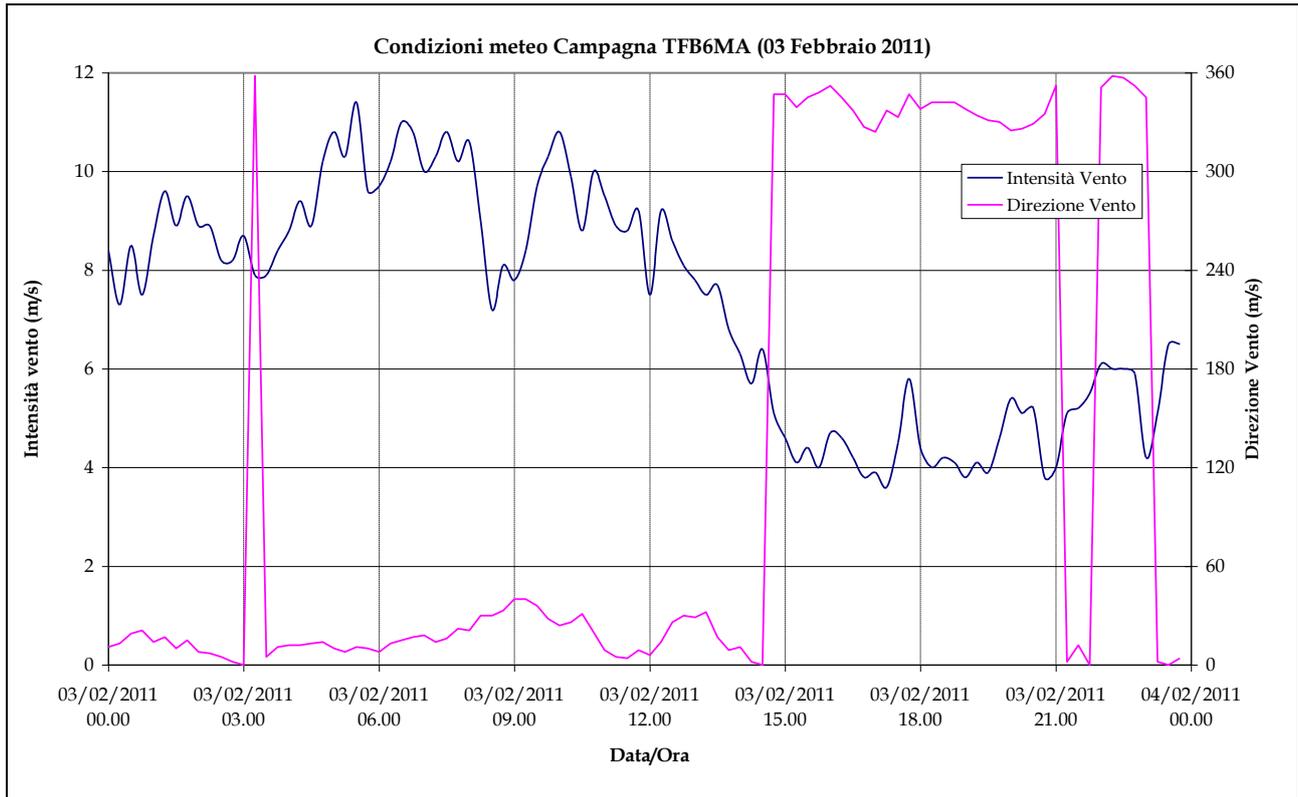


Figura 4.13. Intensità e direzione del vento (valori medi orari) registrati alla piattaforma CNR-ISMAR, per il giorno 3 Febbraio 2011.

#### 4.4.1 Granulometrie del 3 Febbraio 2011 misure in situ

Durante le attività di misura del 03 Febbraio è stata immersa dall'imbarcazione CORILA la strumentazione LISST-100X per monitorare in tempo reale l'andamento e la variazione delle caratteristiche granulometriche nei pressi del punto in cui sono state lanciate le trappole per lo studio dei materiali solidi sospesi.

Il materiale in sospensione in questo caso non mostra sostanziali variazioni nello spettro dimensionale. Le curve granulometriche (Figura 4.14) ottenute risultano essere caratterizzate da un fuso non molto ampio e da una sovrapposizione marcata. I valori del d50 (Figura 4.15) variano tra gli 80 e i 100  $\mu\text{m}$ . Tale tipologia di misura fornisce importanti informazioni circa le dimensioni del materiale in sospensione *in-situ* che tendenzialmente risulta maggiore rispetto alle misure effettuate in laboratorio in quanto vengono intercettati aggregati e flocculi.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

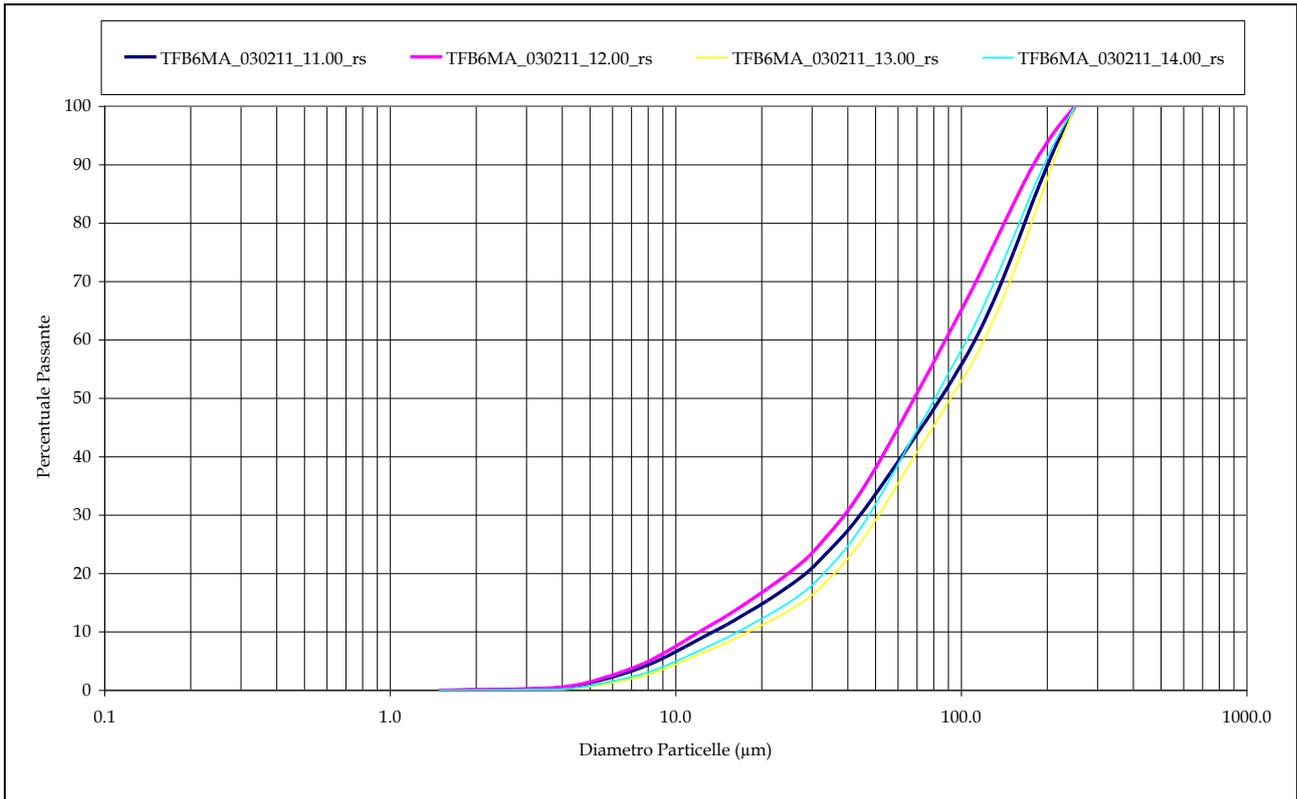


Figura 4.14. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto TFB6MA, Figura 1.18) nella fase di marea calante, il giorno 03 Febbraio 2011 presso la bocca di porto di Chioggia.

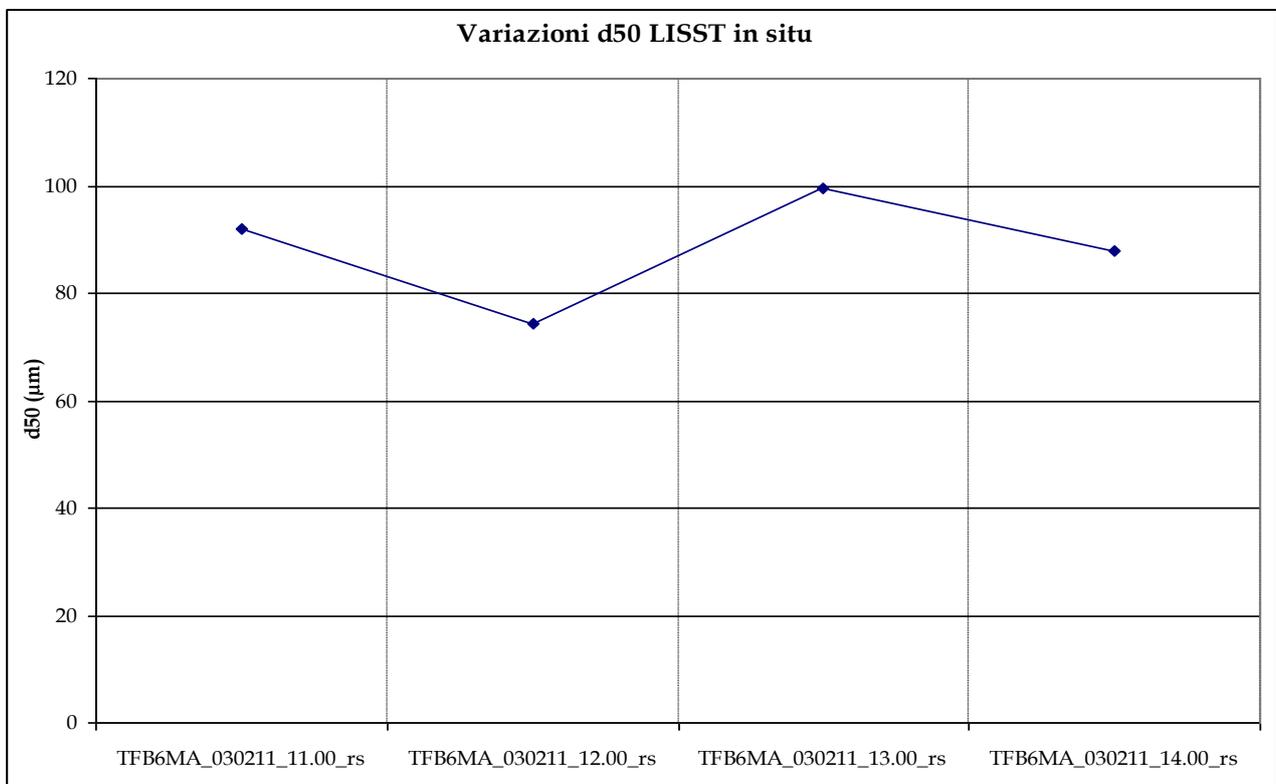


Figura 4.15. Variazione del d50 registrata durante la giornata del 3 Febbraio presso la bocca di porto di Malamocco (Punto TFB6MA, Figura 1.18).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

In Tabella 4.6 sono riportati i valori del d50, le percentuali in volume delle frazioni granulometriche in base alla scala di Wentworth (1922) e la classificazione di Shepard (1954) del particellato solido in sospensione analizzato *in situ*. Si nota la totale assenza della componente argillosa dallo spettro granulometrico dei sedimenti campionati. Le percentuali di limo invece variano tra il 36.20% delle ore 13.00 ed il 45.72% delle ore 12.00 del giorno 3 Febbraio. Corrispondentemente alle ore 12.00 è stata riscontrata la minore percentuale di sabbia, pari al 54.22%, ed alle ore 13.00 è stata rilevata la maggiore quantità di sabbia, pari all'63.80%. Sulla base della classificazione di Shepard (1954) si può notare come i campioni siano classificati come Sabbie-Limose.

Tabella 4.6. d50, percentuali in volume delle frazioni granulometriche secondo la scala di Wentworth e classificazione secondo Shepard del particellato solido in sospensione misurata nel giorno 3 Febbraio 2011 presso la bocca di porto di Chioggia (Punto TFB6MA, Figura 1.18).

Data	Sigla / Ora	d50	% Argilla	% Limo	% Sabbia	Classificazione
3/02/2011	TFB6MA_030211_11.00_rs	91.95	0.07	39.76	60.18	Sabbia-Limosa
	TFB6MA_030211_12.00_rs	74.20	0.06	45.72	54.22	Sabbia-Limosa
	TFB6MA_030211_13.00_rs	99.60	0.00	36.20	63.80	Sabbia-Limosa
	TFB6MA_030211_14.00_rs	87.72	0.00	39.53	60.47	Sabbia-Limosa

#### 4.4.2 Studio della distribuzione e caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo

Nelle due colonne in Tabella 4.7 sono riportati i valori medi della percentuale di sostanza organica e della concentrazione di sabbia in sospensione ricavati dalle analisi sui campioni prelevati alla bocca di porto di Malamocco nel giorno 3 Febbraio 2011 (Campagna TFB6MA).

Il contenuto organico, espresso in percentuale sul totale, risulta relativamente elevato soprattutto per quanto concerne i dati relativi alle trappole superficiali del fondale. Il contenuto organico varia infatti da un massimo di 16.43% della trappola superficiale del fondo a 8.61 % della trappole superficiale. Sembra quindi esistere un gradiente nella presenza del contenuto di materiale organico: maggiore presso il fondale e minore in superficie. Per quanto riguarda le percentuali di frazione sabbiosa contenuta nel sedimento in sospensione si può osservare come essa sia variabile da un minimo presso il fondale di circa 0.50 % ad un massimo di circa 2.03 % presso la superficie. Anche in questo caso esiste quindi un gradiente della concentrazione dal fondo alla superficie.

Tabella 4.7. Percentuale del contenuto organico e concentrazione della frazione sabbiosa dei campioni raccolti con le trappole.

Sigla	Contenuto Organico (%)	Concentrazione (mg/l) della frazione sabbiosa (diametro > 63 µm)
	Calante	Calante
	03/02/2011	19/01/2011
S	8.61	2.03
M	11.00	0.68
E	10.78	0.23
B	16.43	0.50

A causa di problemi avuti con la strumentazione ADCP 1200 kHz in relazione alla scelta del punto notevole in cui sono state eseguite le misure non è stato possibile eseguire l'analisi del *bottom tracking* per stimare l'entità dello spostamento del fondo mobile.

## 5. RILEVAZIONE DELLA TORBIDITÀ IN CONTINUO

### 5.1 La rete di stazioni fisse

Uno degli scopi della misura della torbidità in continuo alle bocche di porto è monitorarlo studio dei valori di torbidità naturale ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio e delle componenti biologiche (avifauna, vegetazione terrestre, insetti, fanerogame, tigne, bentos).

Gli eventi naturali (moto ondoso, eventi meteo) in grado di influenzare l'andamento della concentrazione del particolato in sospensione si succedono, infatti, in maniera irregolare dando luogo ad una variabilità spaziale e temporale delle condizioni naturali rilevabile solamente mediante l'analisi di serie temporali il più possibile prolungate nel tempo e relative a stazioni di misura opportunamente posizionate in modo da caratterizzare tutta l'area di interesse.

La misura della torbidità in continuo è inoltre utile per valutare l'eventuale diffusione del *plume* di torbida generato dalle operazioni di dragaggio e quindi gli effetti a breve termine delle attività di cantiere. In questo modo vengono caratterizzate le diverse tipologie di "sorgente" in periodi limitati ed in diverse condizioni operative.

Le stesse misure possono però risultare funzionali anche alla conoscenza degli effetti a lungo termine indotti dalla presenza delle opere le quali, modificando la morfologia dell'area prossima alle bocche porto, potrebbero avere degli effetti anche sull'idrodinamica e il trasporto di sedimenti.

L'attività di monitoraggio in continuo è iniziata a Maggio 2005 in otto stazioni di misura opportunamente posizionate nei canali delle tre bocche di porto e nelle immediate vicinanze sia all'interno della laguna che in mare e sta proseguendo quasi ininterrottamente e contemporaneamente all'acquisizione sia dei parametri chimico-fisici dell'acqua sia delle variabili meteo marine (livello, velocità e direzione del vento).

L'ubicazione e il numero delle postazioni di misura hanno subito delle modifiche nel corso dei tre anni di monitoraggio. A Giugno 2006 le stazioni a mare alle bocche di Malamocco (MAM) e Chioggia (CHM), sono state tolte in quanto ritenute troppo distanti dalla zona di scavo; solo la stazione MAM è stata riposizionata in loco, dopo un anno, per avere un altro punto in mare nel periodo di ripresa di grossi lavori alla bocca di Malamocco lato mare (conche navigazione, imbonimento per cantiere cassoni, ecc.).

A partire da Maggio 2009 è stata mantenuta nel monitoraggio la rete di stazioni fisse delle sole bocche di porto di Malamocco e Chioggia, essendo terminate alla bocca di Lido le attività in grado di influenzare significativamente la torbidità della colonna d'acqua.

Per una più dettagliata descrizione degli avvicendamenti delle stazioni di misura si rimanda al Rapporto Finale dello Studio B.6.72 B/4.

Si evidenzia inoltre che il giorno 11 Dicembre 2010 è stato verificato l'abbattimento del palo su cui era installata la sonda della stazione MAM. Il giorno 20 Dicembre il personale Thetis ha provveduto al recupero della strumentazione che è stata riportata in sede per manutenzione dove è stato successivamente verificato che la sonda era stata danneggiata in quanto la stessa non comunicava con il software per il recupero dei dati registrati. Pertanto per questa stazione si dispone dei dati solo fino al giorno 18 Novembre 2010. La sonda è stata inviata alla casa costruttrice per le necessarie riparazioni ed è stata quindi riposizionata il giorno 15 giugno 2011.

La Figura 5.1 mostra la localizzazione di tutte le stazioni di misura della torbidità nelle aree dei cantieri alle bocche di porto; in rosso le stazioni utilizzate il sesto anno di monitoraggio; esse coincidono con quelle utilizzate nel corso del precedente Studio B.6.72 B/5. Nella Tabella 5.1 sono riassunte le caratteristiche delle stazioni e, per ciascuna di queste, sono riportate le coordinate

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

geografiche espresse nel sistema UTM WGS 84 e Gauss Boaga e la profondità del battente d'acqua rispetto al livello medio del mare espressa in metri. La posizione del sensore è in tutti i casi alla quota di 1.5 metri dal fondo eccetto per LMR-2, in cui il sensore era a circa 7.5 metri dal fondo.

CORILA

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

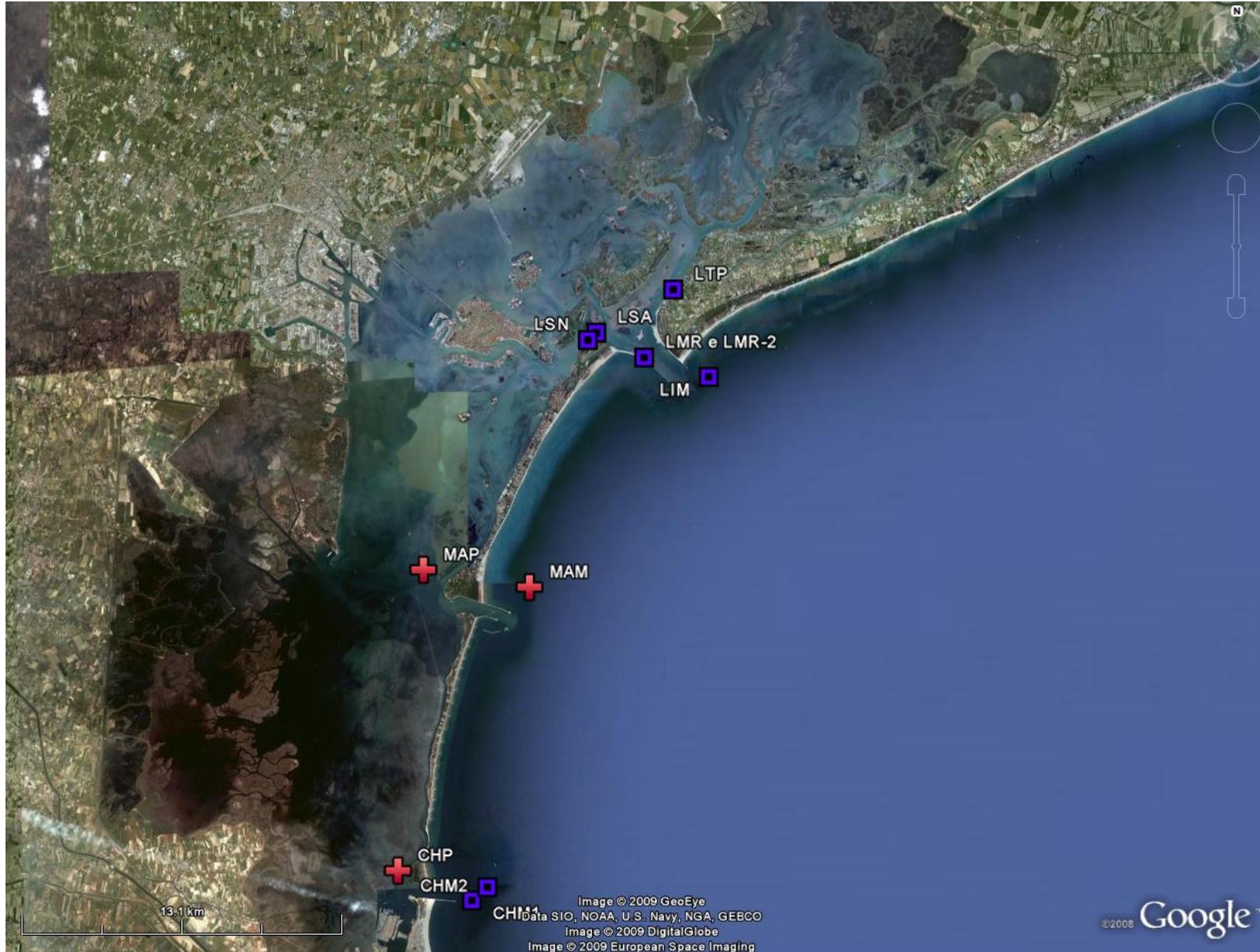


Figura 5.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel 2010-2011.

## CORILA

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.1. Caratteristiche delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.

<b>Sigla Identificativa</b>	<b>Località</b>	<b>Tipo postazione</b>	<b>Ente</b>	<b>Fondale (m)</b>	<b>Coordinate UTM WGS 84</b>	<b>Coordinate Gauss Boaga</b>	<b>Periodo di utilizzo</b>
<b>CHM1</b>	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	289952 E 5011996 N	2311697.67 5011917.71	Studio B.6.72 B/1
<b>CHM2</b>	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	0289792 E 5012068 N	2312244.76 5013024.91	Studio B.6.72 B/1
<b>CHP</b>	CHIOGGIA Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.1	286559 E 5012376 N	2306695.73 5012490.85	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5
<b>LIM</b>	LIDO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	9.0	300744 E 5033387 N	2321595.15 5033110.08	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LMR</b>	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LMR-2</b>	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LSA</b>	LIDO Canale S. Nicolò	Meda Bianco- Nera	Capitaneria Porto - Marifari	5	295870 E 5034915 N	2315918.06 5034973.54	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LSN</b>	LIDO Canale S. Nicolò	Postazione mareografica	MAV	7.0	295624 E 5034542 N	2315566.36 5034465.53	Studio B.6.72 B/1
<b>LTP</b>	LIDO Canale Treporti	Postazione mareografica	MAV	2.0	299083 E 5036390 N	2318835.86 5036184.94	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4

## CORILA

## ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

<b>Sigla Identificativa</b>	<b>Località</b>	<b>Tipo postazione</b>	<b>Ente</b>	<b>Fondale (m)</b>	<b>Coordinate UTM WGS 84</b>	<b>Coordinate Gauss Boaga</b>	<b>Periodo di utilizzo</b>
<b>MAM</b>	MALAMOCCO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	11.0	292432 E 5024099 N	2312635.53 5024136.00	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5
<b>MAP</b>	MALAMOCCO Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.7	288410 E 5024129 N	2308923.15 5024591.90	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

La rete è attualmente costituita da tre sole stazioni: le due stazioni MAP e CHP sono posizionate in aree vicine alle bocche di porto verso la laguna, mentre la stazione MAM è posizionata in mare.

Le prime due stazioni sono state allestite utilizzando le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 5.3 e 5.4). Per la stazione MAM è stata utilizzata una struttura già esistente impiegata anch'essa come mareografo, ma con caratteristiche tecniche completamente diverse da quelle delle postazioni mareografiche in laguna (Figura 5.2).

Le stazioni coincidono con le postazioni utilizzate nello Studio B.6.78/I.



Figura 5.2 Stazione MAM.



Figura 5.3. Stazione MAP.



Figura 5.4. Stazione CHP.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

I torbidimetri posizionati nelle stazioni sopra descritte forniscono 1 dato ogni 15 minuti. Il singolo dato viene rilevato come media delle 5 acquisizioni, effettuate una al minuto, all'inizio dell'intervallo temporale di 15 minuti. I file di dati registrati nella memoria di ciascuno strumento sono scaricati con una frequenza di circa 15 giorni.

Per la descrizione della strumentazione per la misura della torbidità, delle attività di gestione della rete di stazioni fisse, della metodologia per il trattamento dei dati registrati nonché la calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM (Suspended Particulate Matter), si faccia riferimento ai Rapporti di Valutazione.

## 5.2 Analisi dei dati

Di seguito è riportata la percentuale dei dati validati dopo la procedura di filtrazione delle serie temporali su tutto il periodo relativo al sesto anno di monitoraggio: Maggio 2010-Aprile 2011. Nel conteggio totale sono inclusi anche i periodi in cui i dati mancavano per malfunzionamento degli strumenti.

Tabella 5.2. Percentuale dei dati validati nel periodo Maggio 2010-Aprile 2011.

Stazione	Dati validati sul totale del monitoraggio
CHP	88.4%
MAM	37.5%
MAP	93.1%

La percentuale di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri nelle due stazioni in bocca di porto è superiore all'80%. La maggior copertura si riscontra per la stazione MAP (93.1%). Le alte percentuali generalmente riscontrate sono dovute agli interventi settimanali di pulizia delle sonde. La stazione a mare MAM è generalmente maggiormente soggetta a fouling di quanto non siano le altre stazioni. Per motivi logistici, la strumentazione di questa stazione viene infatti ripulita ogni due settimane. La bassa percentuale di dati disponibili in quest'anno (37.5%) è comunque principalmente dovuta alla mancanza di dati a partire dal mese di Novembre 2010, in seguito all'incidente sopra descritto.

In tutti i quadrimestri dell'anno, la percentuale di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri è, per le due stazioni lagunari, superiore all'80%. Generalmente il maggior numero di dati validati si ha da Settembre ad Aprile (secondo e terzo quadrimestre) perché generalmente a partire dal mese di Ottobre la temperatura dell'acqua scende al di sotto dei 15 °C, inibendo la formazione del *fouling* sul sensore ottico e limitando conseguentemente la percentuale di informazioni perse.

Per facilitare la comprensione del grado di copertura delle registrazioni, nella Figura 5.5 viene visualizzata l'estensione temporale delle acquisizioni effettuate dai singoli strumenti.

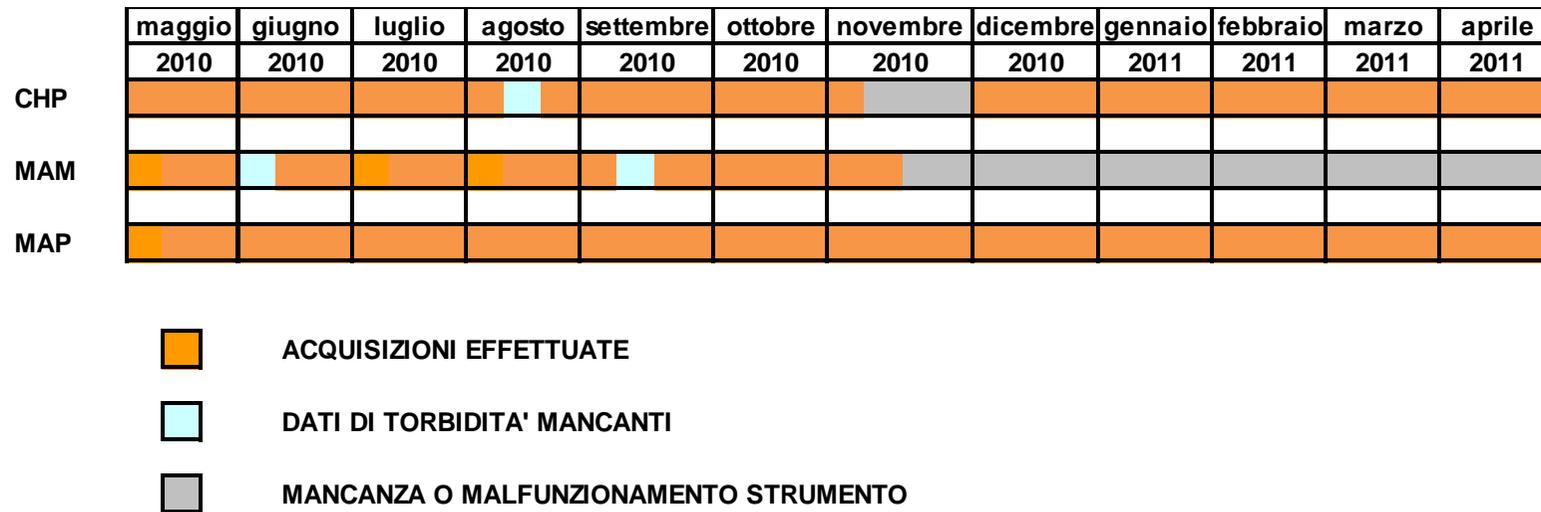


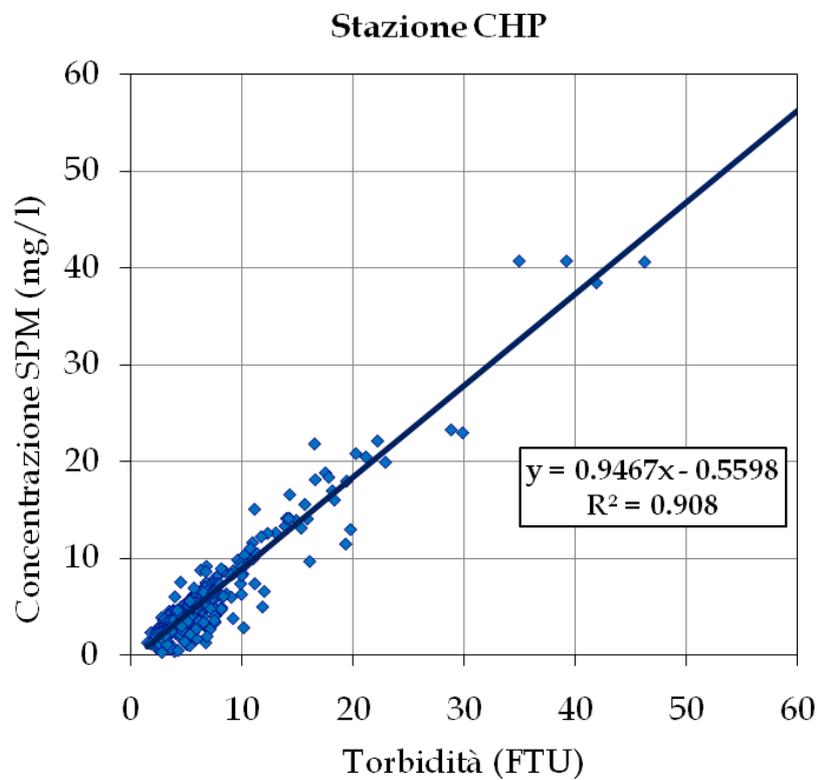
Figura 5.5. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle tre stazioni oggetto del monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Le relazioni utilizzate per la calibrazione dei dati registrati in ciascuna delle stazioni sono riportate nella Tabella 5.3 e visualizzate nelle Figure 5.6 (a-c). Ciascuna di queste relazioni è stata utilizzata per derivare la serie temporale della concentrazione di SPM a partire dalla serie della torbidità della corrispondente stazione, opportunamente corrette e validate secondo le procedura descritta nei Rapporti di Valutazione (vedi paragrafo seguente).

Tabella 5.3. Coefficienti ed equazioni delle rette di regressione utilizzate per la calibrazione dei sensori OBS.

Stazione	Equazione e coefficiente retta di calibrazione
CHP	$y = 0.9467x - 0.5598$ $R^2 = 0.908$
MAM	$y = 1.0229x - 0.9184$ $R^2 = 0.8931$
MAP	$y = 0.9317x - 1.1318$ $R^2 = 0.7929$



(a)

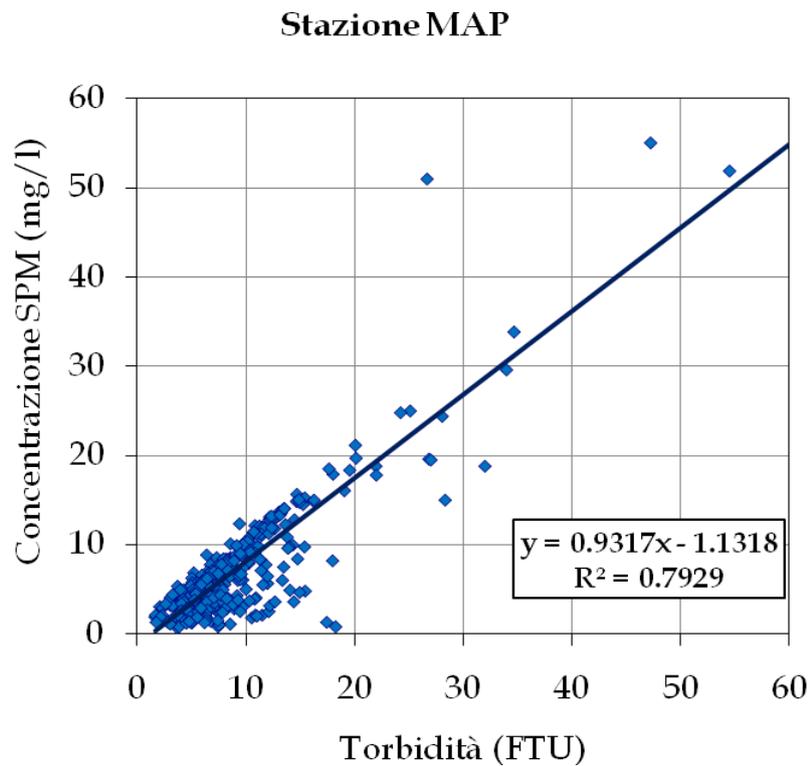
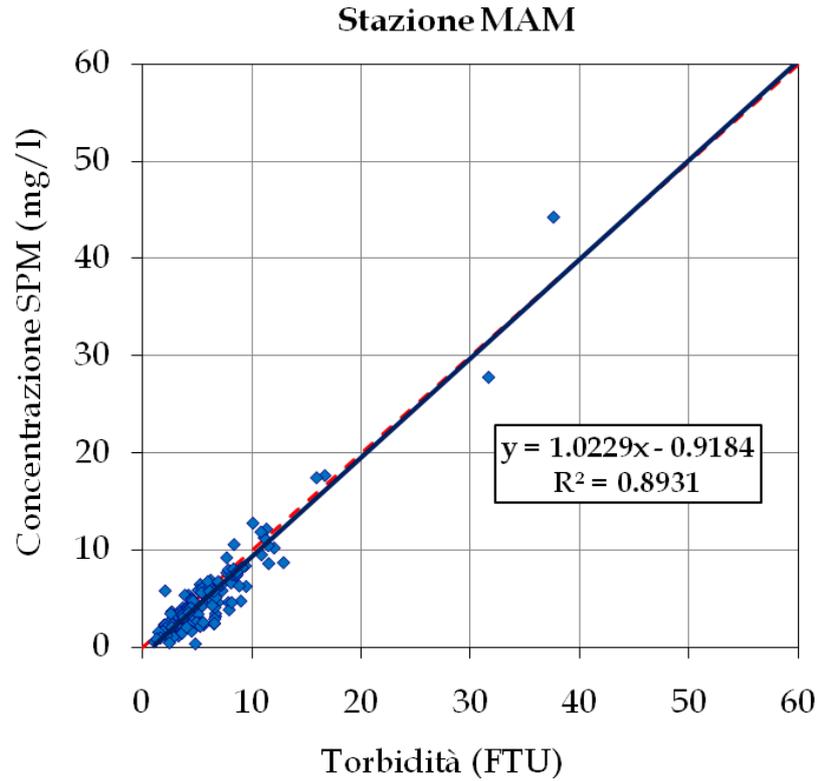


Figura 5.6. Diagrammi di regressione fra la torbidità registrata dalle sonde nelle diverse stazioni considerate ed i corrispondenti valori di concentrazione di SPM nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione. Le rette sono state elaborate includendo tutti i valori disponibili, da Maggio 2005 fino ad Aprile 2011.

Si osserva come la pendenza della retta di regressione sia piuttosto vicina all'unità (pari ad 1 per MAM) il che significa una quasi corrispondenza tra valori del materiale sospeso e torbidità.

Il valore di  $R^2$  tendente all'unità, invece, indica la bassa dispersione dei dati: a tal proposito si nota che nella stazione MAP questo coefficiente assume un valore più basso delle altre stazioni; è stata infatti qui riscontrata la scarsa correlazione tra valori misurati e campioni prelevati, probabilmente dovuta alla sistematica presenza, davanti alle finestre ottiche del sensore, di incrostazioni dure, la cui rimozione meccanica durante le normali operazioni di manutenzione in campo sarebbe critica per la possibilità di danneggiamento della finestra stessa; il problema dovrebbe essere eliminato con uno specifico intervento di manutenzione in laboratorio già programmato anche per le altre sonde unità del parco strumenti.

### **5.3 Serie temporali della torbidità/SPM**

L'intera serie temporale del periodo Maggio 2010 - Aprile 2011 per ciascuna delle stazioni è inclusa nei files del database allegato al presente rapporto.

Di seguito vengono presentate due tipologie di elaborati grafici in cui i dati vengono raggruppati in trimestri: nella prima vengono rappresentate la concentrazione di SPM e la curva di marea del mareografo più vicino alla stazione in questione (Diga Nord di Malamocco, Diga Sud di Chioggia, - Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia), mentre nella seconda si rappresentano l'SPM e la velocità del vento, misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR, raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza.

I grafici bimestrali della concentrazione del particolato in sospensione sono riportati nei tre Rapporti di Valutazione:

- I Rapporto di Valutazione, Settembre 2010. Periodo di riferimento: Maggio-Agosto 2010;
- II Rapporto di Valutazione, Gennaio 2011. Periodo di riferimento: Settembre-Dicembre 2010;
- III Rapporto di Valutazione, Maggio 2011. Periodo di riferimento: Gennaio-Aprile 2011.

I risultati dell'elaborazione statistica delle informazioni disponibili per le stazioni sono riportati nella Tabella 5.4.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

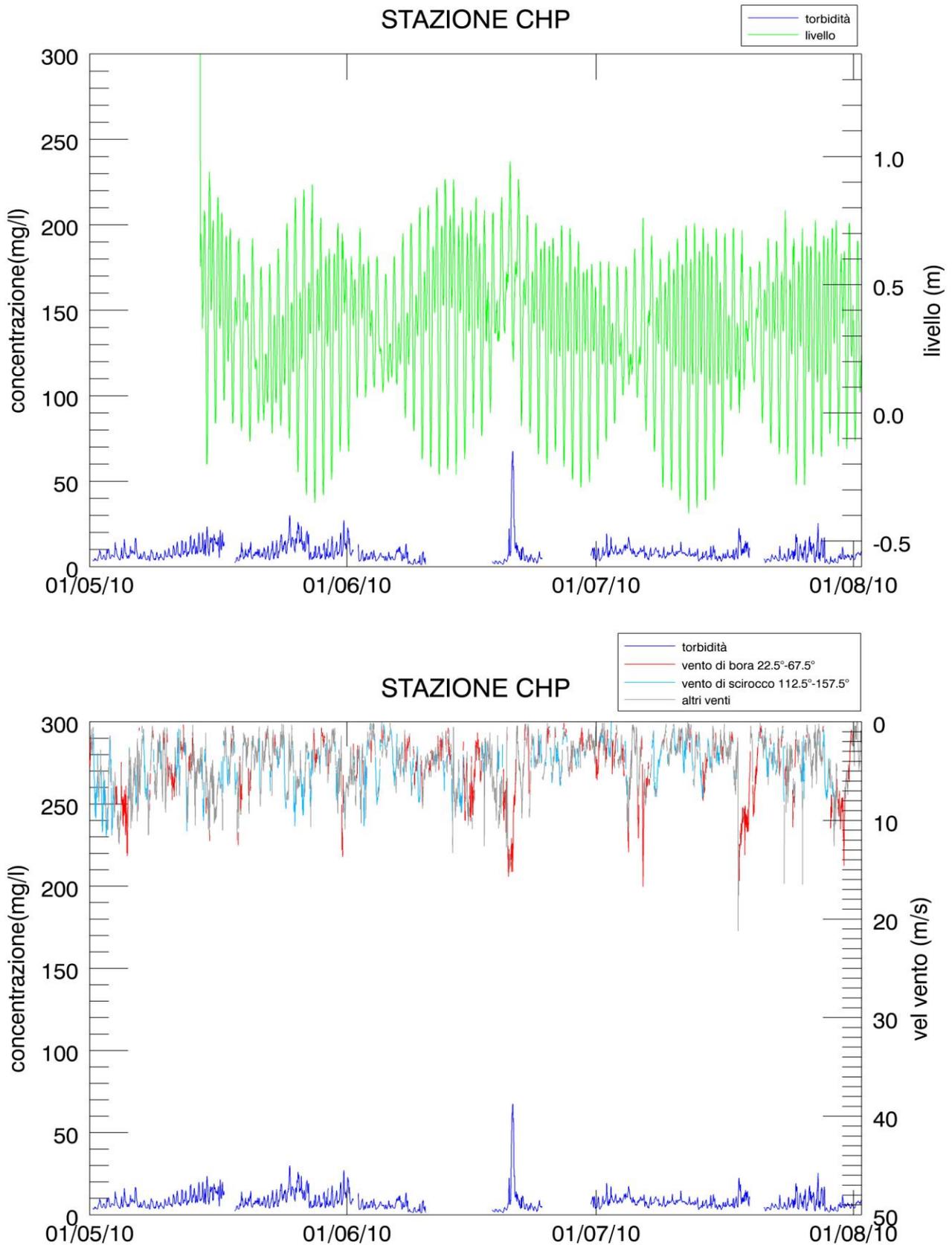


Figura 5.7 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione CHP nel periodo Maggio-Luglio 2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

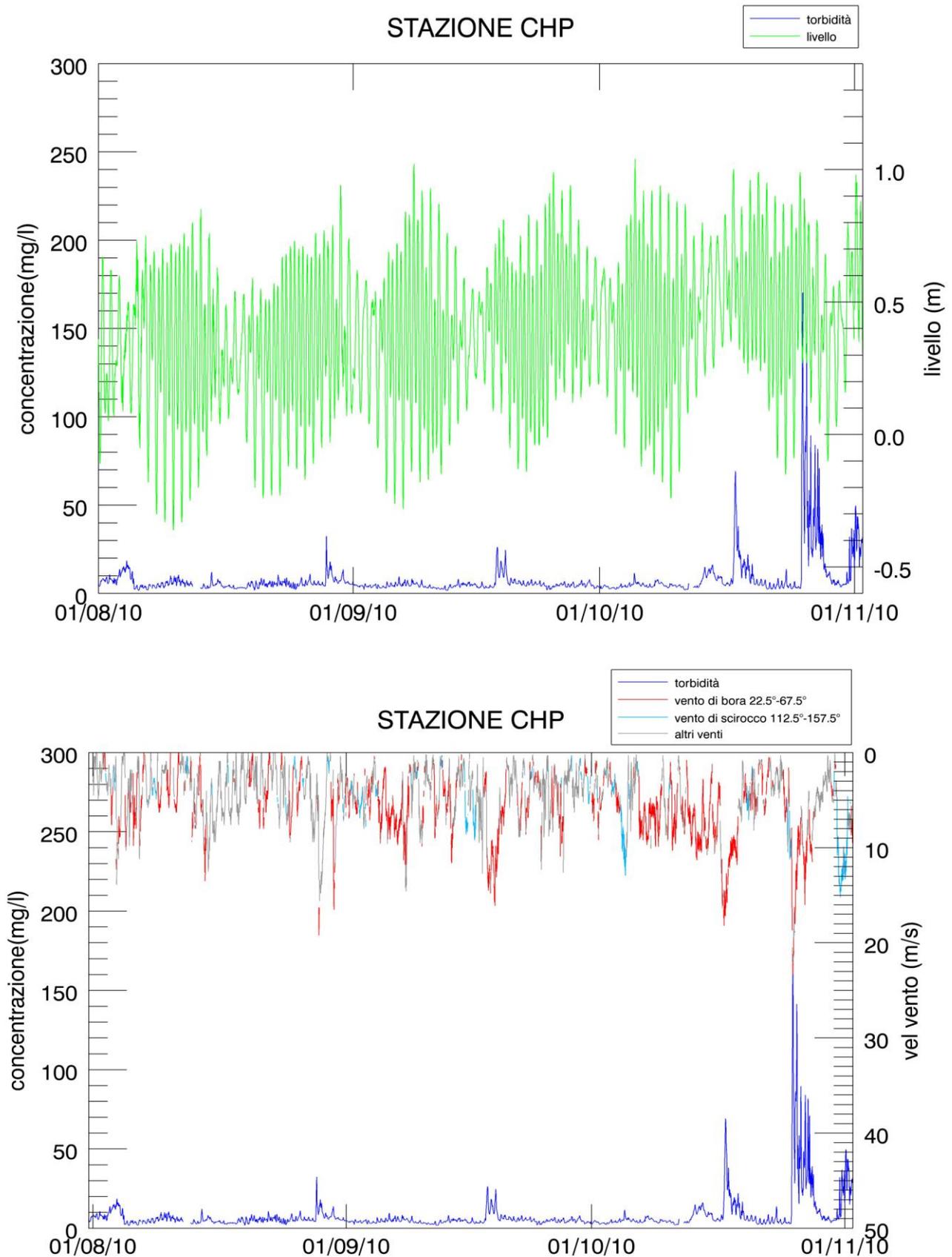


Figura 5.7 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) , raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione CHP nel periodo Agosto-Ottobre 2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

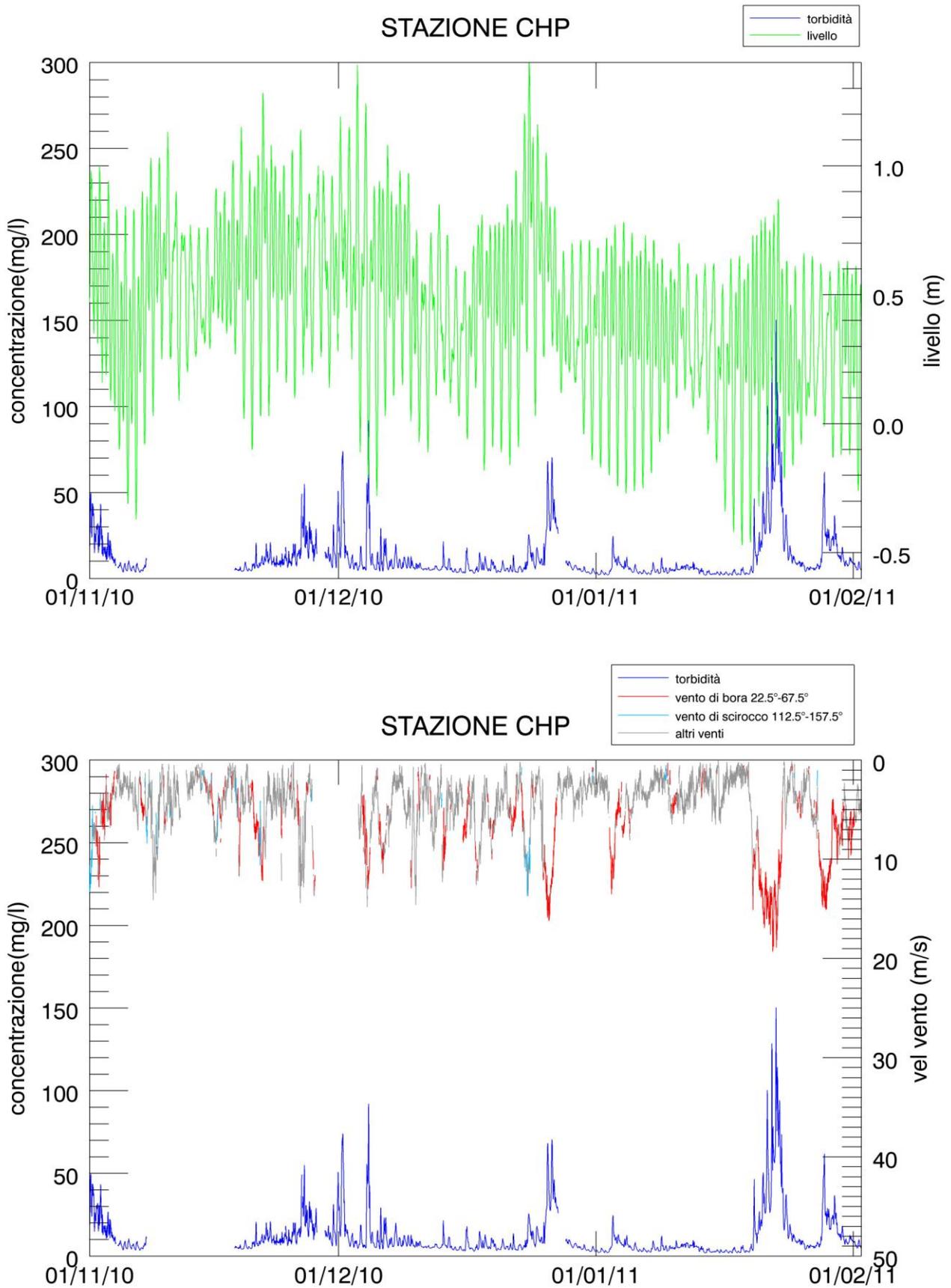


Figura 5.7 (c). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione CHP nel periodo Novembre 2010-Gennaio 2011

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

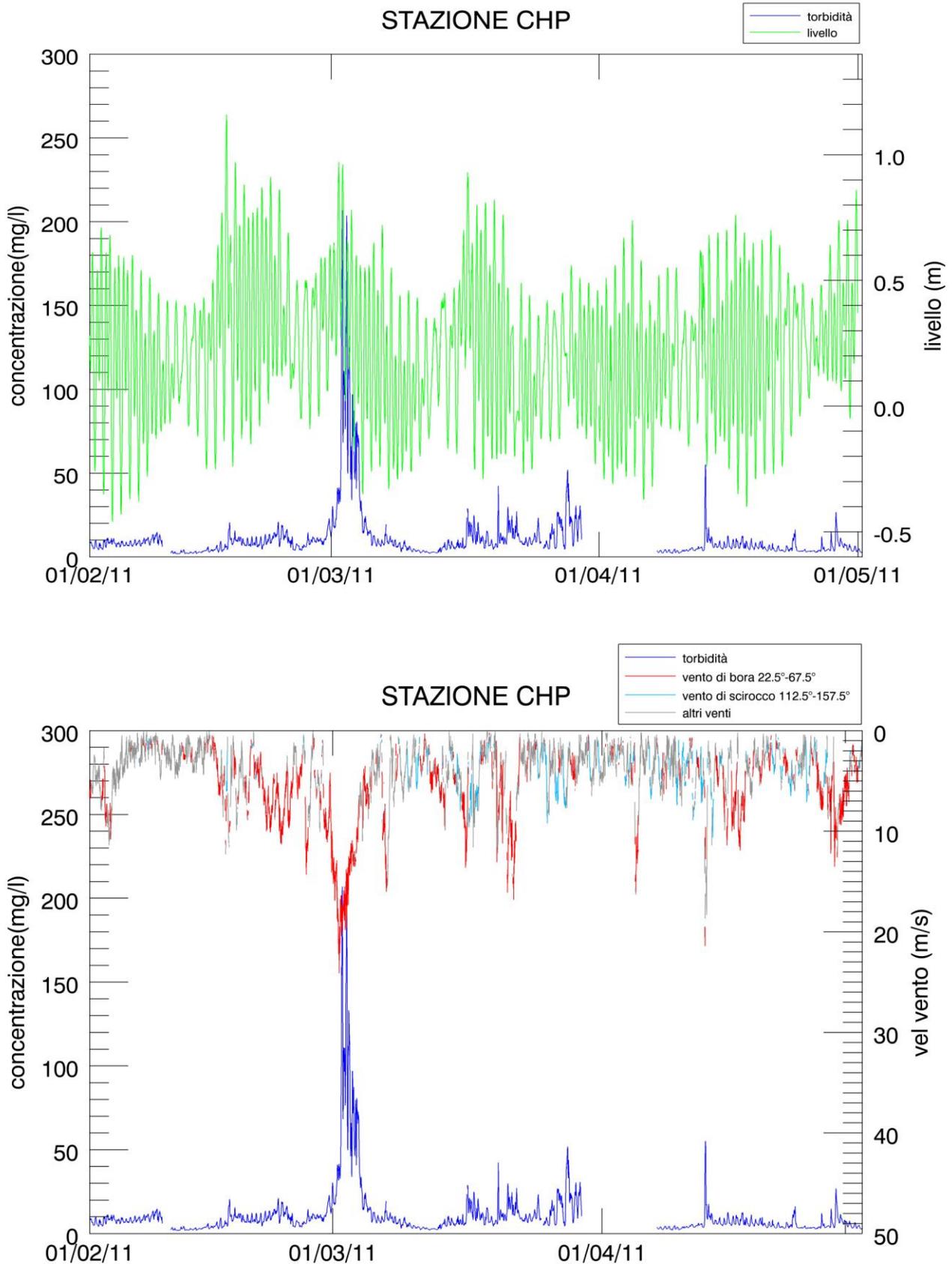


Figura 5.7 (d). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso),raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione CHP nel periodo Febbraio-Aprile 2011.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

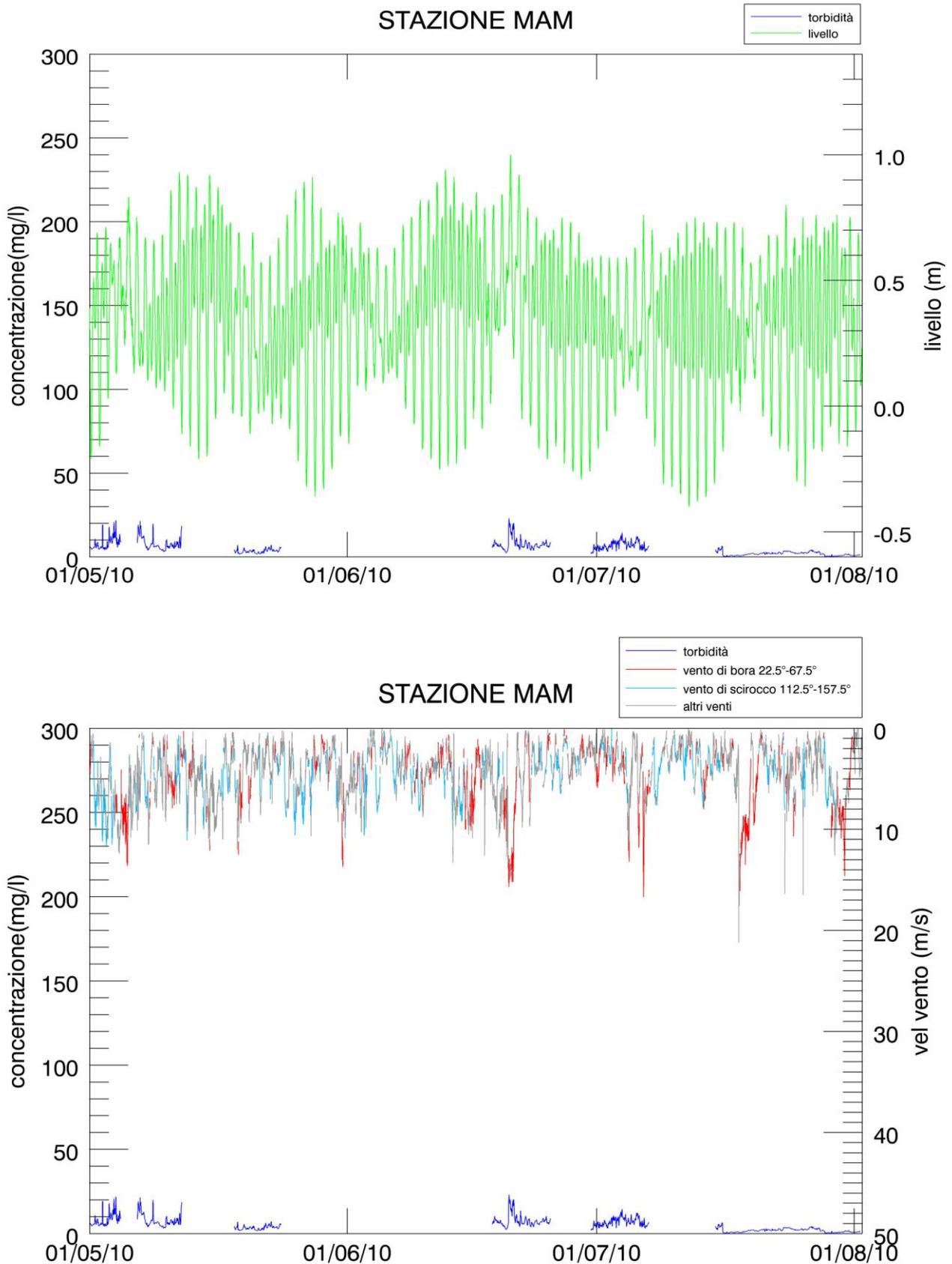


Figura 5.8 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione MAM nel periodo Maggio-Luglio 2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

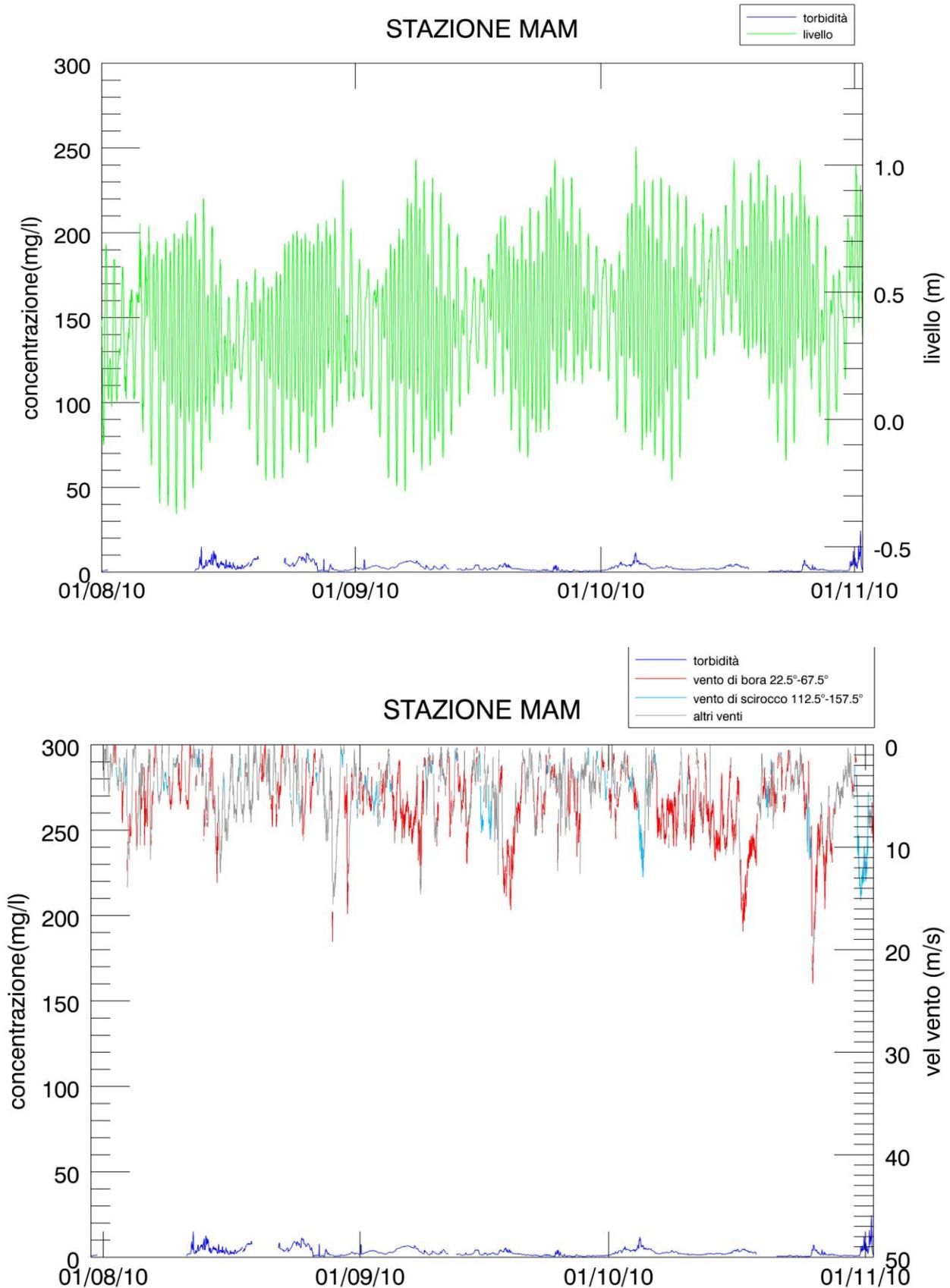


Figura 5.8 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione MAM nel periodo Agosto-Ottobre 2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

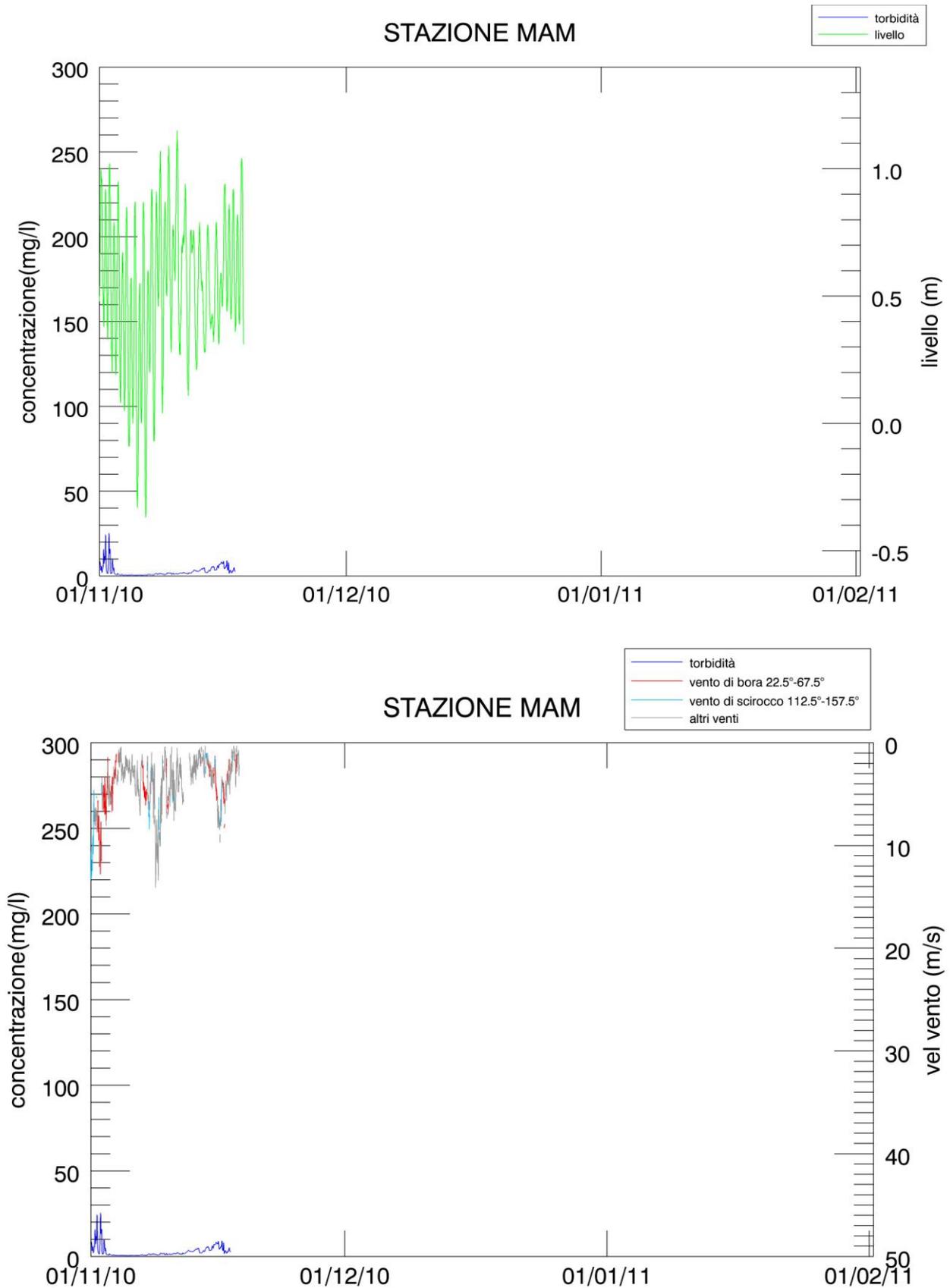


Figura 5.8 (c). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) , raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione MAM nel periodo Novembre 2010-Gennaio 2011.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

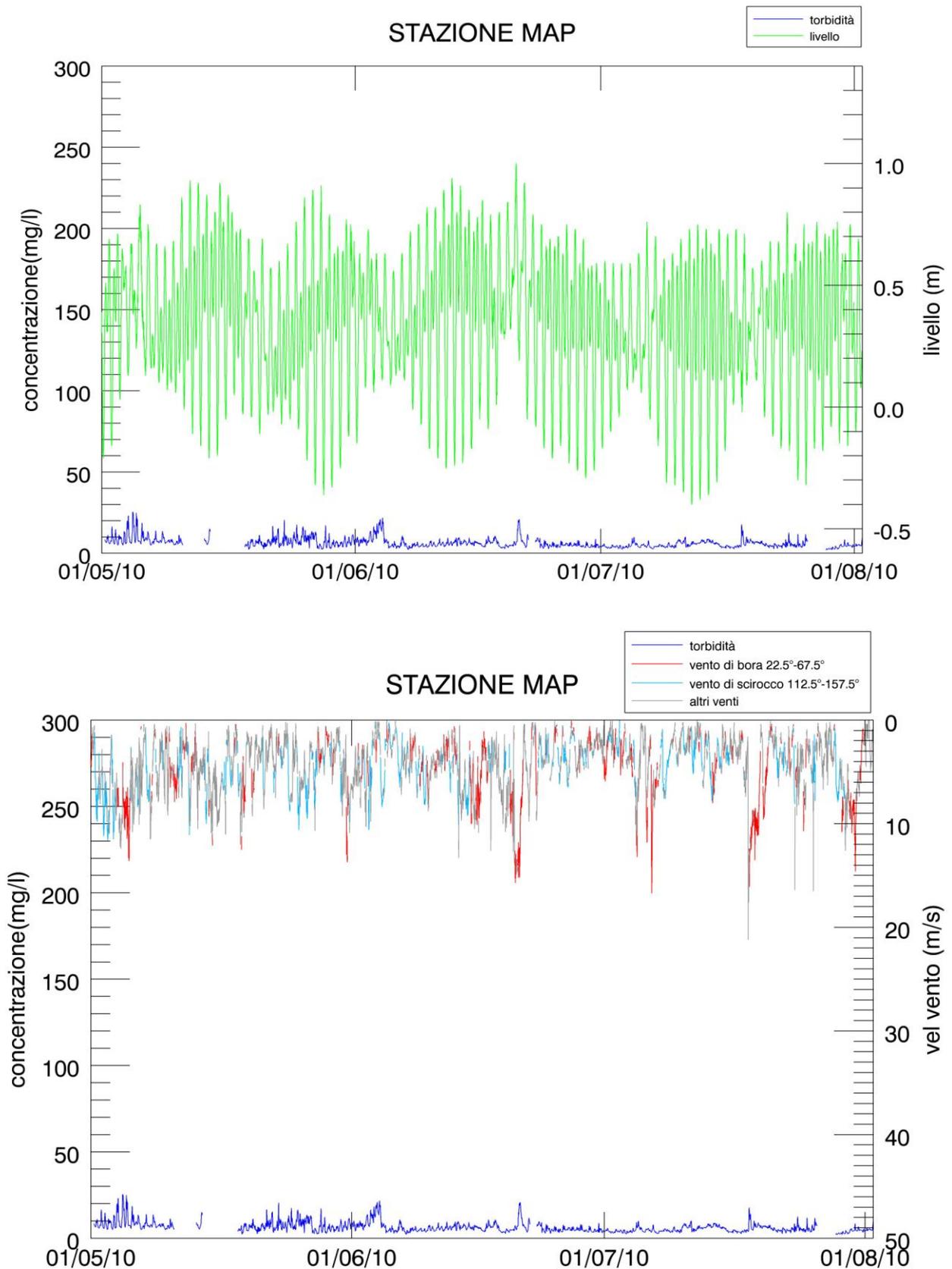


Figura 5.9 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione MAP nel periodo Maggio-Luglio 2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

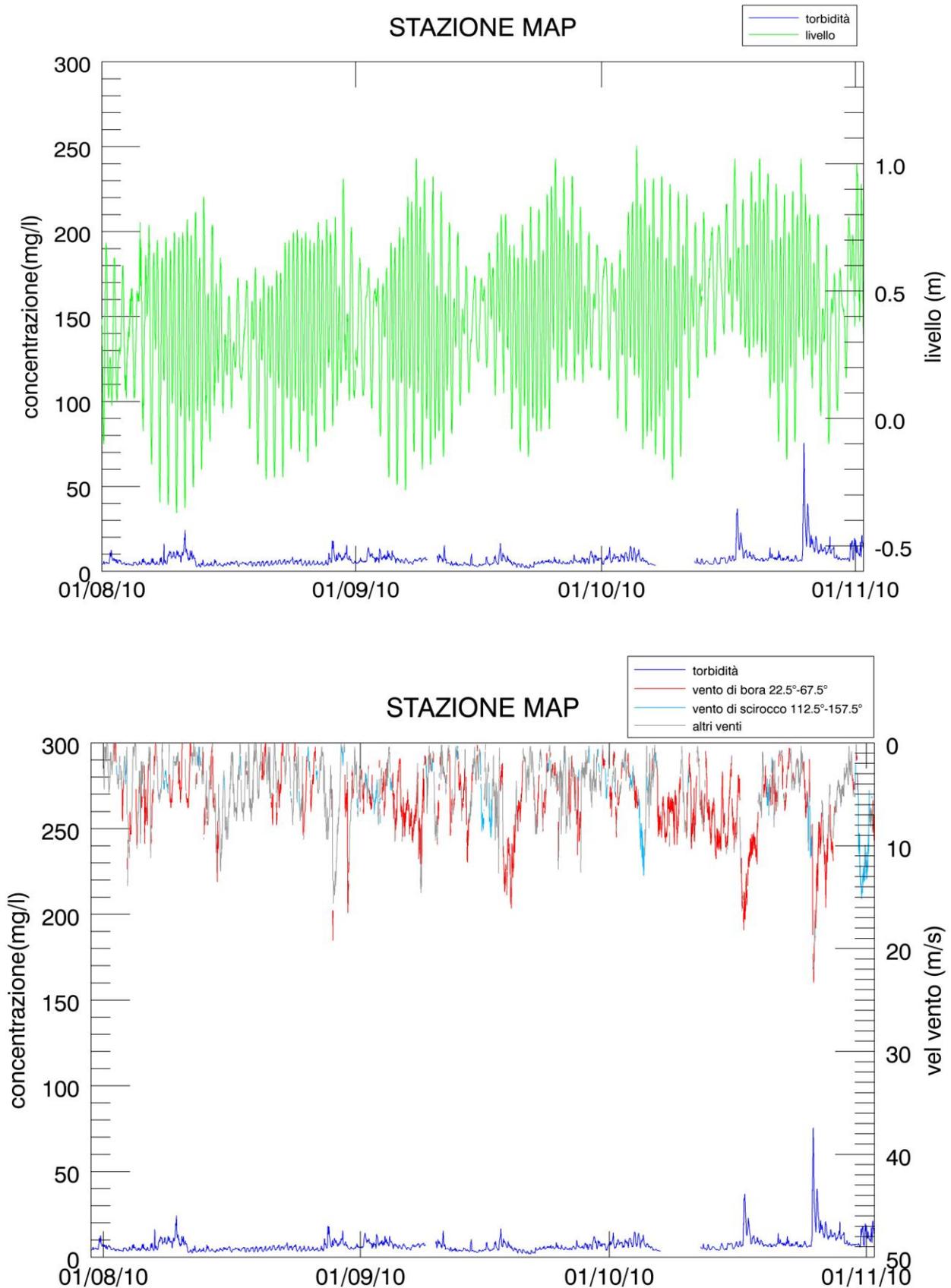


Figura 5.9 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione MAP nel periodo Agosto-Ottobre 2010.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

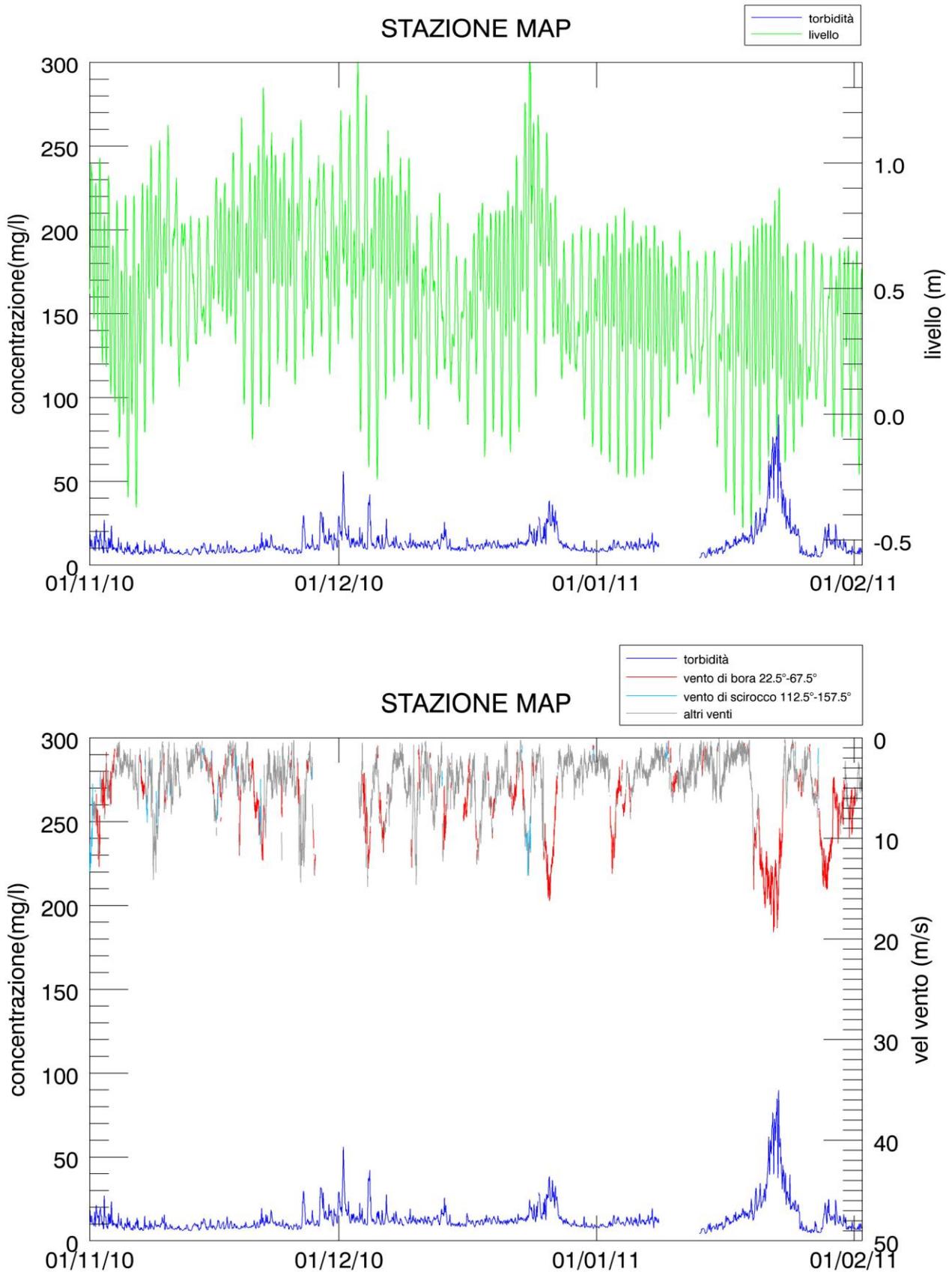


Figura 5.9 (c). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione MAP nel periodo Novembre 2010-Gennaio 2011.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

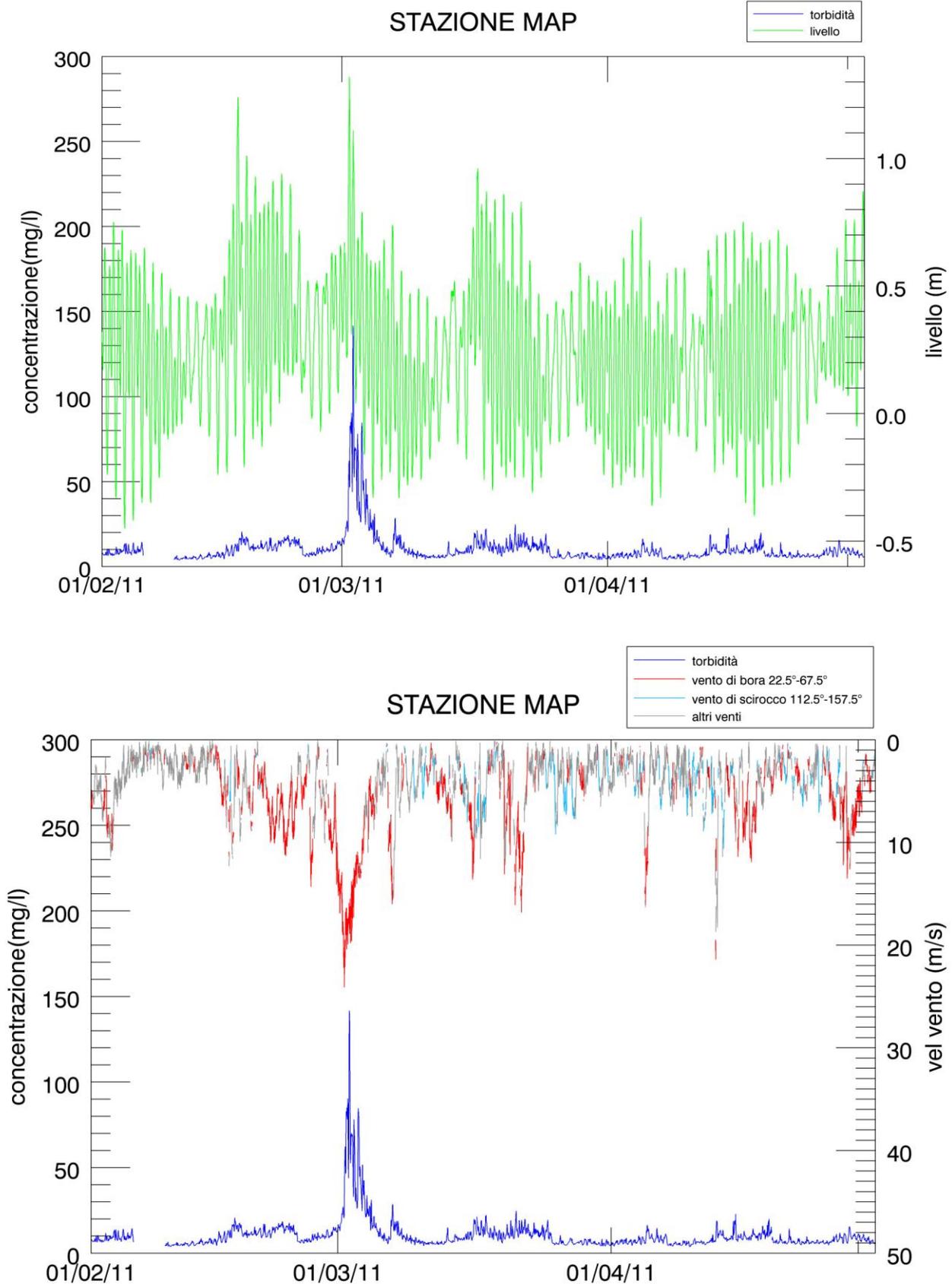


Figura 5.9 (d). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso), raffigurata con colori diversi in base alla direzione di provenienza, alla stazione MAP nel periodo Febbraio-Aprile 2011.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

In particolare, appare utile evidenziare nella Tabella 5.4 gli eventi meteo nel periodo Maggio 2010-Aprile 2011 durante i quali la velocità del vento, misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR, ha superato i 15 m/s.

Tabella 5.4. Eventi meteo significativi registrati nel periodo Maggio 2010-Aprile 2011

<b>Giorno</b>	<b>Orario</b>	<b>Velocità del vento</b>	<b>Direzione media e tipo di vento</b>
20 Giugno 2010	Dalle 8.30 alle 23.30	12 ÷15.7 m/s	30 ° - bora
6 Luglio 2010	Dalle 15.30 alle 16.00	14.4 ÷16.7 m/s	52 ° - bora
18 Luglio 2010	Dalle 2.45 alle 6.15	15 ÷21 m/s	333 ° - maestrale 26 ° - bora
23 Luglio 2010	Alle 16.00	16.4 m/s	230° - libeccio
25 Luglio 2010	Dalle 20.30 alle 20.45	15.1 ÷16.5 m/s	82° - levante
28 Agosto 2010	Dalle 15.45 alle 17.30	15 ÷19.2 m/s	45 ° - bora
30 Agosto 2010	Dalle 11.30 alle 12.15	15.2 ÷16.5 m/s	25 ° - bora
19 Settembre 2010	Dalle 2.30 alle 4.45	14.1 ÷16 m/s	40 ° - bora
17 Ottobre 2010	Dalle 0.00 alle 11.00	14.4 ÷18 m/s	35 ° - bora
25 Ottobre 2010	Dalle 12.45 alle 23.30	15 ÷23.3 m/s	30 ° - bora
26 Dicembre 2010	Dalle 6.15 alle 10.30	14 ÷16 m/s	50 ° - bora
19 - 20 Gennaio 2011	Dalle 20.30 alle 00.30	10-15.1 m/s	30 ° - bora
20 - 23 Gennaio 2011	Dalle 15.15 alle 8.30	10÷19.3 m/s	44 ° - bora
27 - 29 Gennaio 2011	Dalle 15.15 alle 8.30	10÷15.1 m/s	40 ° - bora
28 Febbraio - 3 Marzo 2011	Dalle 19.15 alle 21.30	10÷24.1 m/s	40 ° - bora
7 Marzo 2011	Dalle 00.30 alle 10.30	10÷16 m/s	60 ° - bora
19-21 Marzo 2011	Tutto il giorno	10÷16 m/s	60 ° - bora
4 Aprile 2011	Dalle 18.45 alle 4.30	10÷16.3 m/s	40 ° - bora
12-13Aprile 2011	Dalle 19.15 alle 2.00	11÷ 21.4 m/s	30 ° - bora 90 ° - levante

Dalla tabella si nota che nel periodo estivo, da Giugno a Settembre, si sono per lo più verificati eventi brevi con forti raffiche mentre gli eventi intensi di bora anche di lunga durata che si sono verificati a partire dal mese di Ottobre hanno provocato nelle bocche di porto aumenti della torbidità di diversa intensità, come descritto nel paragrafo 5.4.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.5. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nelle stazioni di misura della torbidità nel periodo Maggio 2010-Aprile 2011.  $N_{tot}$  è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione. Le concentrazioni sono in mg/l.

	CHP	MAM	MAP
<b>Ntot</b>	30975	13127	32609
<b>Media</b>	9.5	3.5	9.3
<b>Dev. St.</b>	12.4	3.0	7.6
<b>Max</b>	206.9	25.2	141.7
<b>Min</b>	1.1	0.2	1.8
<b>25° percentile</b>	4.4	1.4	5.5
<b>50° percentile</b>	6.2	2.5	7.5
<b>75° percentile</b>	9.7	4.7	10.7
<b>95° percentile</b>	25.0	9.0	18.8
<b>Media interquartile</b>	7.0	3.05	8.1

Vista la scarsa disponibilità di dati misurati alla stazione MAM, non si ritiene attendibile un confronto su base annuale con le altre stazioni; a tal proposito si rimanda al "I Rapporto di Valutazione" e al "II Rapporto di Valutazione" relativi al primo e secondo quadrimestre quando la sonda era presente.

#### Valori medi, massimi e minimi di torbidità

Per quanto riguarda le medie semplici, è evidente la somiglianza dei valori delle due stazioni all'interno delle bocche di porto (CHP 9.5 mg/l e MAP 9.3 mg/l); un comportamento analogo si ha anche per le medie interquartili (media tra il 25° e il 75° percentile) che non sono influenzate dagli outlier e permettono pertanto un confronto più bilanciato (CHP mg/l 7.0 e MAP 8.1 mg/l).

Dalla Tabella 5.5 risulta che i valori di torbidità massimi (206.9 mg/l della stazione CHP e 141.7 mg/l registrati nella stazione MAP) sono stati registrati nel corso dell'evento meteorologico dei giorni 28 Febbraio -3 Marzo (vedi paragrafo 5.4).

I periodi in cui non si sono verificati eventi meteo marini sono stati caratterizzati da acque limpide; infatti i valori minimi di torbidità sono scesi fino a 1.1 mg/l (CHP) e 1.8 mg/l (MAP). Valori così bassi oltre a tracciare condizioni di particolare trasparenza dell'acqua, sono anche un indice del perdurare di condizioni di pulizia ottimale della finestra ottica del sensore di torbidità.

#### Percentili

Per quanto riguarda i valori del 25° percentile, che rappresentano con una buona approssimazione le condizioni di assenza di perturbazioni (assenza di moto ondoso e velocità della corrente di marea inferiore a qualche cm/s), le due stazioni lagunari presentano valori abbastanza simili tra loro (4.4 mg/l per la stazione CHP e 5.5 mg/l per la stazione MAP).

La similitudine è evidente anche nei valori del 50° percentile, che rappresenta le condizioni più probabili, (6.2 mg/l per CHP e 7.5 mg/l per MAP) e per i valori del 75° percentile (9.7 mg/l per CHP e 10.7 mg/l per MAP), che si può considerare come indice dei valori di torbidità relativamente elevati dovuti al carico organico particolarmente cospicuo nei mesi estivi, o ad eventi meteo marini di moderata intensità.

Si nota come i valori dei percentili (25°, 50°, 75°) siano minori a Chioggia che a Malamocco.

Al contrario invece, il valore del 95° percentile relativo a CHP (25 mg/l) è superiore al 95° relativo a MAP (18.8 mg/l). La distribuzione del 95° percentile è rappresentativa dei valori estremi legati al verificarsi di eventi meteomarinari intensi, che possono provocare un apprezzabile innalzamento della concentrazione del materiale solido sospeso in laguna, nonché un aumento del trasporto di sedimenti lungo costa con aumenti del carico rilevabili anche nei giorni successivi all'evento.

Si potrebbe quindi ipotizzare che la stazione di Chioggia abbia risentito maggiormente degli eventi più intensi legati alla bora (infatti anche il valore massimo è più elevato in questa stazione) e che vi sia una variabilità spaziale collegata alla variabilità meteorologica intra-annuale: in altre parole, eventi di vento locale elevato o moto ondoso in Adriatico (a cui corrispondono valori elevati di torbidità tendenzialmente più elevati rispettivamente in laguna o in mare) eserciterebbero un'influenza diversa a seconda della posizione della stazione torbidimetrica.

Un'altra possibile causa può essere dovuta alla vicinanza delle foci dei fiumi Adige e Brenta o alla minore risospensione che si ha a Malamocco, come descritto nel paragrafo successivo.

Un altro elemento che può essere rilevante in termini di variabilità spaziale è il possibile diverso effetto del *fouling* sulle varie sonde.

Nel complesso, pertanto, la variabilità spaziale può oscurare la variabilità temporale sul lungo periodo (variabilità interannuale) ed ancora di più gli eventuali effetti delle opere.

#### **5.4 Analisi dei picchi di torbidità ed effetti delle attività di scavo**

In condizioni generali, i superamenti del valore di soglia pari a 30 mg/l ("Definizione dei valori soglia della torbidità all'interno delle bocche di porto", Studio B.6.72 B/1, settembre 2005; "Linee guida misure speditive", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2006; "Rapporto Finale", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2006) sono legati a numerose e differenti cause, valide solamente per alcune stazioni e per particolari tipologie e durate di eventi:

- eventi di risospensione riconducibili al vento locale, soprattutto bora, tanto in mare quanto specialmente all'interno della laguna;
- aumento della risospensione e del trasporto litoraneo, e quindi del carico, rilevabile anche nei giorni successivi all'evento scatenante di vento sostenuto, o addirittura in assenza di vento (moto ondoso creato a distanza);
- eventi di breve o brevissima durata (nell'arco di 1 ora circa) rilevati nelle stazioni all'interno delle bocche di porto ed in laguna possono essere dovuti al passaggio di imbarcazioni di grandi dimensioni (porta-container o navi cisterna nella bocca di Malamocco) che sono caratterizzate da un pescaggio elevato (superiore ai 9 m.);
- attività di dragaggio dei canali alle bocche di porto.

Riguardo all'influenza delle attività di dragaggio si può affermare che il pennacchio (*plume*) di materiale risospeso dai mezzi di scavo operanti nelle aree di cantiere non presenta solitamente un'estensione tale da interessare significativamente le stazioni fisse per la registrazione della torbidità.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Poiché l'obiettivo del monitoraggio è sia quello di acquisire i valori di torbidità di fondo ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio sia quello di verificare la dispersione della torbidità generata dalle draghe è stata comunque effettuata per ogni stazione un'analisi dei superamenti della soglia di 30 mg/l rilevati nel periodo Maggio2010-Aprile 2011.

Nella Tabella 5.6 si riporta pertanto per ogni stazione il numero totale di superamenti della soglia e si individuano quelli dovuti o meno al vento.

Tabella 5.6. Analisi picchi di torbidità durante il periodo Maggio 2010 - Aprile 2011. Si considera che i torbidimetri funzionano fornendo 1 dato ogni 15 minuti; il singolo dato viene rilevato come media delle 5 acquisizioni, effettuate una al minuto, all'inizio dell'intervallo temporale di 15 minuti.

Stazione	CHP	MAM	MAP
Numero dati in condizioni eccezionali con C>30 mg/l	963	0	619
Numero di dati CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento	940	0	619
Numero di dati la cui causa non è legata alla risospensione da vento	23	0	0

Dalla Tabella 5.6 appare evidente che nel periodo Maggio2010-Aprile 2011 quasi tutti i superamenti sono dovuti alla risospensione determinata da vento-moto ondosio; si esclude inoltre che il picco rilevato il giorno 28 Marzo nella stazione CHP sia dovuto alle attività di scavo in quanto dalle indicazioni della Direzione Lavori emerge che non sono state effettuate lavorazioni in quel giorno.

Non è quindi necessaria una più approfondita valutazione per individuare ulteriori cause né alcuna analisi per mettere in correlazione la torbidità con i dragaggi.

Di seguito pertanto viene proposta, per ogni stazione, l'analisi dei picchi di torbidità in relazione alla sola velocità del vento (si veda anche la Tabella 5.4).

- 20 Giugno: per tutto il giorno la velocità del vento di bora ha assunto valori compresi tra i 12.0 e i 15.7 m/s. Anche se il superamento di 15.0 m/s è durato solo per un breve lasso di tempo, questo evento ha avuto un apprezzabile effetto sulla torbidità rilevata nella stazione CHP (67.49 mg/l). Ha invece avuto minori effetti nelle stazioni MAM (23.1 mg/l) e MAP (20.7 mg/l).
- 28 Agosto: per un paio d'ore la velocità del vento (bora) ha assunto valori compresi tra i 15.0 e i 19.2 m/s. Ha avuto un apprezzabile effetto sulla torbidità rilevata nella stazione CHP (32.34 mg/l).
- Il giorno 19 Settembre dalle ore 2.30 alle 4.45 la velocità del vento di bora ha assunto valori compresi tra i 15.0 e i 16.0 m/s creando un aumento di concentrazione nella stazione CHP senza causare però il superamento del valore di 30 mg/l.
- Il giorno 17 Ottobre dalle ore 0.00 alle 15.00 la velocità del vento di bora ha assunto valori compresi tra i 12 e 18 m/s; per quasi tutto questo intervallo temporale è stato superato il valore di 15 m/s. Questo evento ha avuto un apprezzabile effetto sulla torbidità rilevata nella stazione CHP (69.1 mg/l) ma minori effetti nell'altra stazione lagunare MAP (34.6 mg/l). Non ha invece avuto effetto sulla stazione a mare MAM.
- Il periodo 25-28 Ottobre è stato caratterizzato da venti di bora con velocità generalmente superiore a 10.0 m/s; in particolare, il giorno 25 Ottobre dalle ore 12.45 alle 23.30 ha assunto valori compresi tra i 15.0 e i 23.3 m/s. Questo evento ha avuto effetti evidenti sulla torbidità

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

rilevata nella stazione CHP che infatti presenta numerosi valori al di sopra di 30 mg/l fino ad un valore massimo di 170.0 mg/l. Per quanto riguarda la stazione MAP gli effetti sono meno apprezzabili e la torbidità presenta un paio di picchi di valori pari a circa 40.7 e 74.24 mg/l. Nella stazione MAM si osserva invece un innalzamento della concentrazione di circa 4-6 mg/l che si può considerare trascurabile

- Nei giorni 31 Ottobre e 1-2 Novembre la velocità del vento di bora, pur rimanendo inferiore a 15.0 m/s, in alcune ore ha superato i 10.0 m/s creando un effetto locale ma visibile nella stazione CHP; essa presenta dei picchi di concentrazione di solidi sospesi variabili tra i 30 e i 50 mg/l. Questo evento non ha invece avuto effetti sulle stazioni di MAM e MAP.
- Dal 26 al 28 Novembre e dal 4 al 6 Dicembre si osserva che la velocità del vento, pur rimanendo inferiore a 15.0 m/s, supera i 10.0 m/s, creando una risospensione di sedimenti sia nella stazione CHP, dove si hanno dei picchi di torbidità con valori variabili tra 49.16 e 91.3 mg/l, sia nella stazione MAP dove invece il valore del picco di torbidità è più basso (42.0 mg/l). Durante i giorni 29 Novembre -3 Dicembre non abbiamo a disposizione i dati dell'anemometro a causa di un malfunzionamento dello strumento; si può però ragionevolmente supporre che i picchi di 71.8 mg/l di CHP e di 55.8 mg/l di MAP siano comunque dovuti ad una elevata velocità del vento. Per la stazione MAM non si hanno i dati di torbidità a partire dal 18 Novembre 2010.
- Il giorno 26 Dicembre dalle ore 6.15 alle 10.30 la velocità del vento di bora ha assunto valori compresi tra i 14.0 e i 16.0 m/s rimanendo superiore a 10.0 m/s per tutto il giorno. L'effetto di questo evento è visibile nella stazione CHP con due picchi di torbidità di valore circa 70 mg/l e nella stazione MAP con dei picchi di valore circa 35 mg/l.
- Il periodo 19-23 Gennaio è stato caratterizzato da vento di bora con velocità variabile tra 10.0 e 19.0 m/s che ha causato, in entrambe le stazioni, un evidentemente aumento della concentrazione, con un massimo di 87.0 mg/l a MAP e 150.34 mg/l a CHP.
- In entrambe le stazioni si nota un aumento di concentrazione e la presenza di alcuni picchi sia il giorno 28 Gennaio alle ore 12.30 circa, con vento di bora che arriva a 14.6 m/s (60.12 mg/l a CHP e 22.6 mg/l a MAP), che il giorno 29 Gennaio alle ore 18 circa (36.05 mg/l a CHP e 23.61 mg/l a MAP), sempre con vento di bora ma con velocità inferiore ai 10.0 m/s. Visto il comportamento analogo e contemporaneo in entrambe le stazioni, si può escludere una causa diversa dal meteo e si può supporre che si tratti di un effetto della risospensione causata dall'evento dei giorni precedenti.
- Dal 16 Febbraio al 28 Febbraio il vento supera spesso la velocità di 10.0 m/s, causando in entrambe le stazioni un aumento graduale di concentrazione, che però non supera i 30 mg/l.
- Dal 28 Febbraio al 3 Marzo sono stati registrati numerosi picchi in entrambe le stazioni (valori di torbidità tra i 40 e 140 mg/l a MAP e tra i 70.0 e 206.8 mg/l a CHP) dovuti all'evento meteo di lunga durata nel quale il vento di bora arriva fino a 24.0 m/s.
- Nei giorni 19-20 Marzo la velocità del vento supera i 10.0 m/s causando un leggero aumento della linea di base della concentrazione nella stazione MAP e, anche se sono presenti numerosi picchi, non si raggiunge il superamento della soglia. Per quanto riguarda invece la stazione CHP si evidenzia la presenza di un picco di 42.34 mg/l il giorno 20 Marzo.
- Il giorno 28 Marzo nella stazione CHP è evidente un aumento di concentrazione ed alcuni picchi, il massimo dei quali arriva a 49.62 mg/l. Non essendo presente un evento meteo questo potrebbe essere dovuto ad una risospensione causata dal passaggio di imbarcazioni oppure ad una residua influenza del fouling anche dopo il trattamento dei dati; si esclude infatti che sia dovuto alle attività di scavo in quanto dalle indicazioni della Direzione Lavori emerge che non

sono state effettuate lavorazioni che possano aver influenzato la torbidità in acqua in quel giorno.

- Nei giorni 12-13 Aprile, dalle 19.45 alle 1.00, si ha una velocità del vento di 11.0÷21.4 m/s che causa nella stazione MAP un leggero aumento nella linea di base e la presenza di alcuni picchi di concentrazione di 18-22 mg/l. Il giorno 12 Aprile, in seguito ad una velocità del vento di bora di 21.4 m/s, nella stazione CHP si evidenzia un picco di concentrazione di 51.89 mg/l.

Da questa analisi risulta che i picchi di concentrazione rilevati alla stazione CHP sono maggiori rispetto ai valori misurati nella stazione MAP (e nella stazione MAM, per il periodo in cui sono disponibili le acquisizioni, cioè limitatamente ai primi due quadrimestri dell'anno di monitoraggio); si può quindi supporre che la stazione di Chioggia abbia risentito maggiormente del vento intenso di bora, come evidenziato anche nel paragrafo 5.3 in merito al diverso comportamento dei valori dei percentili.

La minore risospensione riscontrata nella stazione MAM potrebbe essere dovuta alla maggior profondità del fondale (11 m).

Per quanto riguarda invece la stazione MAP si riscontra, rispetto a Chioggia, (Figura 5.20 e Figura 5.11) una maggior estensione delle praterie di fanerogame le quali hanno una funzione stabilizzatrice del fondale e potrebbero inibire la mobilizzazione ed il trasporto dei sedimenti.

A Chioggia, in adiacenza alla stazione CHP, sono presenti delle estese aree di fondale denudate che sono riservate alle coltivazione di *Tapes sp.* In questo caso, la minore protezione del fondale da parte delle fanerogame può portare ad una maggiore risospensione dei sedimenti.

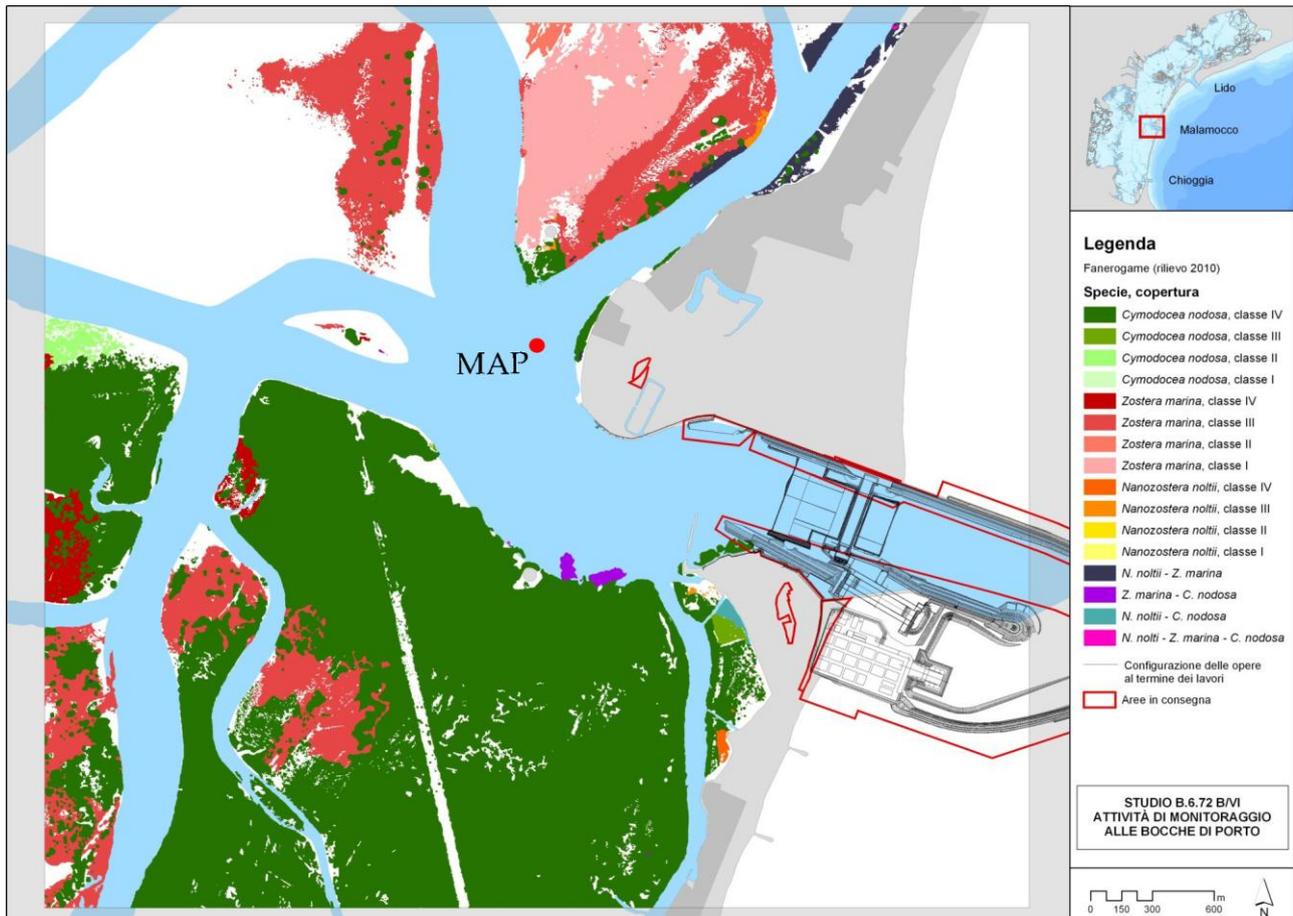


Figura 5.10 Mappatura praterie di fanerogame della bocca di porto di Malamocco relativa al 2011.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

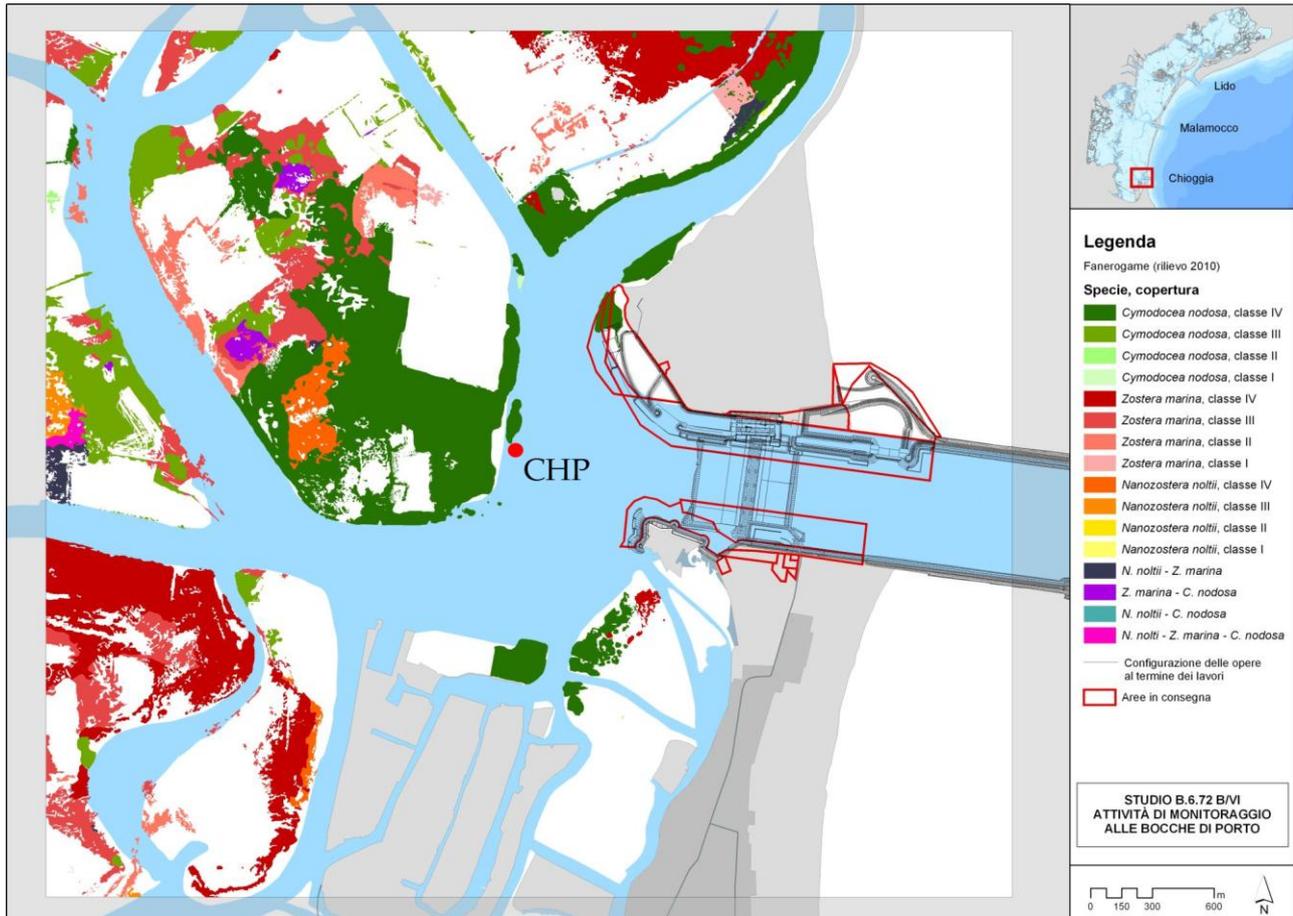


Figura 5.11 Mappatura praterie di fanerogame della bocca di porto di Chioggia relativa al 2011.

Si può inoltre anche supporre che la vicinanza delle foci dei fiumi Adige e Brenta abbiano un'influenza sulla concentrazione misurata nella stazione di Chioggia. A tal proposito nell'ambito di un progetto di collaborazione fra CORILA e Regione Veneto, avente per oggetto il bilancio dei sedimenti fluviali e marittimi a scala regionale si sta svolgendo un'analisi per individuare una eventuale correlazione tra le portate dei corsi d'acqua e le concentrazioni.

Si riportano, a titolo di esempio (Figura 5.12(a-c)), alcuni grafici in cui viene rappresentato l'andamento della concentrazione media settimanale della torbidità misurata nella stazione CHP unitamente alle medie settimanali della somma delle portate dell' Adige, misurata a Boara Pisani, e del Brenta, misurata a Barziza, a cui è stata sommata la portata dei suoi affluenti nella vicinanza della foce (Bacchiglione misurata a Montegalda e Gorzone misurata a Stanghella).

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

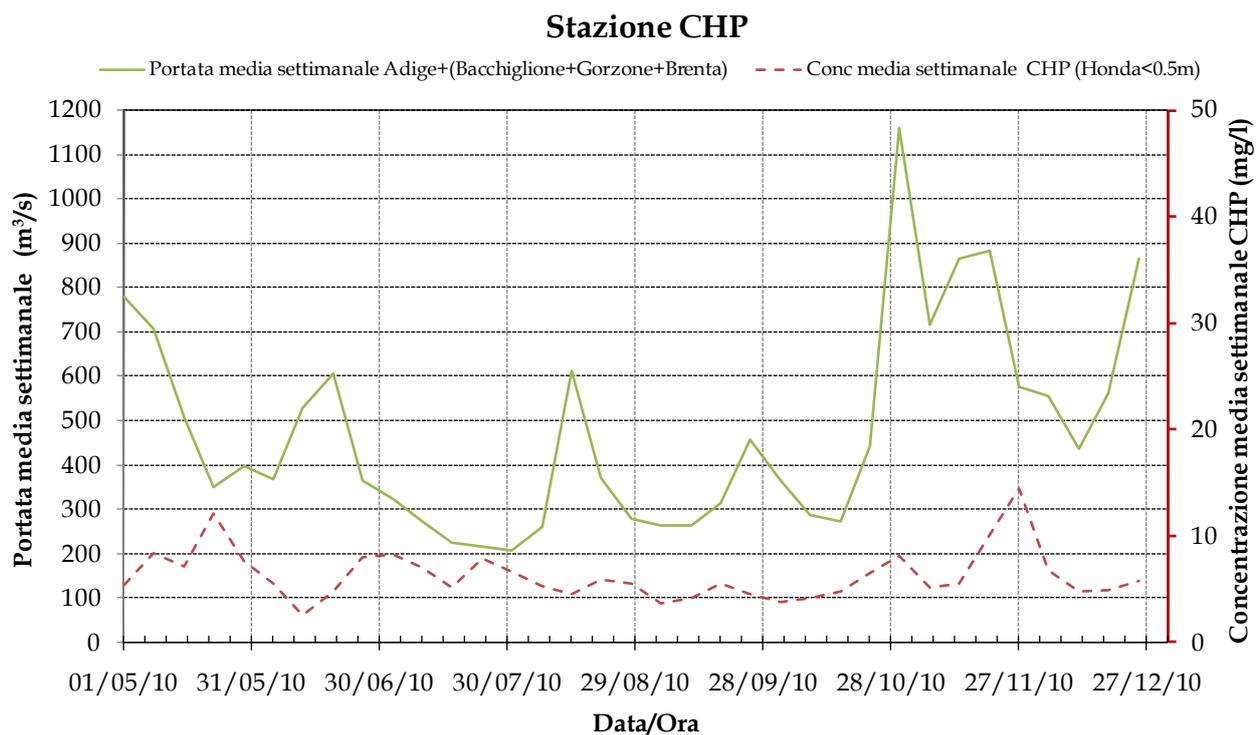


Figura 5.12 (a). Andamento della portata media settimanale complessiva dei fiumi Adige, Brenta, Bacchiglione, Gorzone e della concentrazione media settimanale di SPM misurata nella stazione CHP nel periodo Maggio-Dicembre 2010.

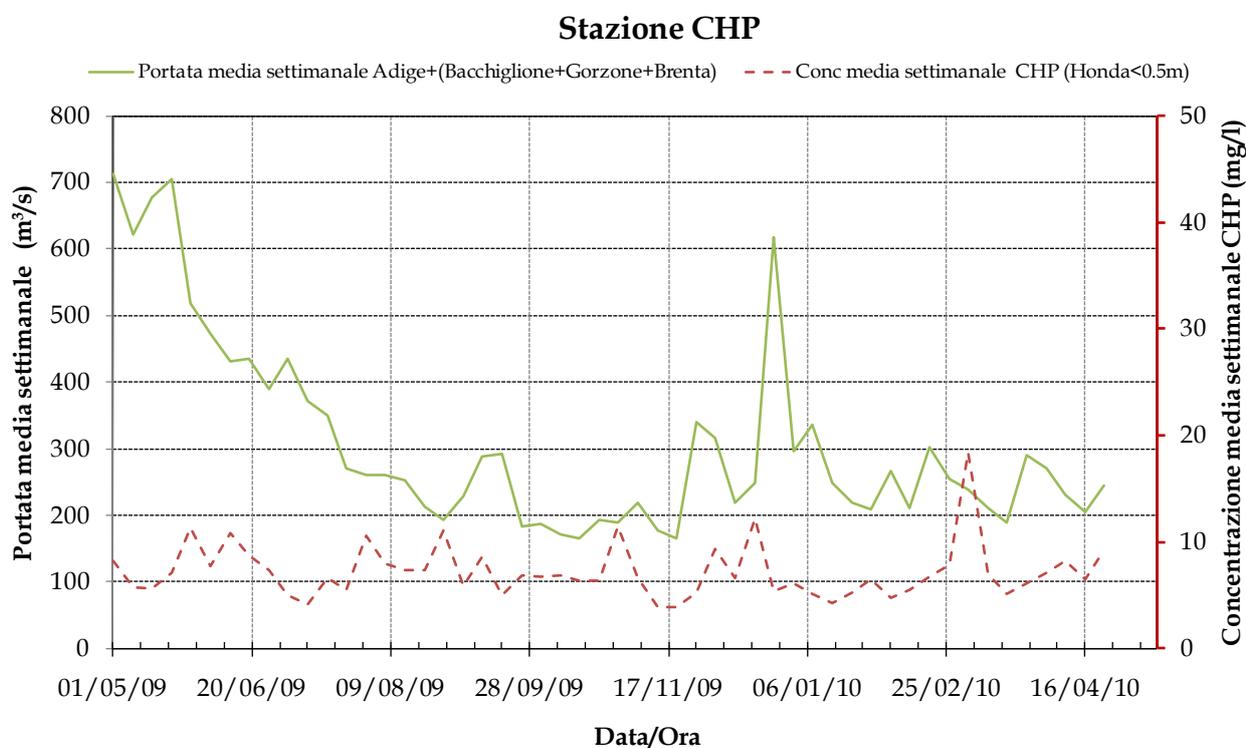


Figura 5.12 (b). Andamento della portata media settimanale complessiva dei fiumi Adige, Brenta, Bacchiglione, Gorzone e della concentrazione media settimanale di SPM misurata nella stazione CHP nel periodo Maggio2009-Aprile 2010.

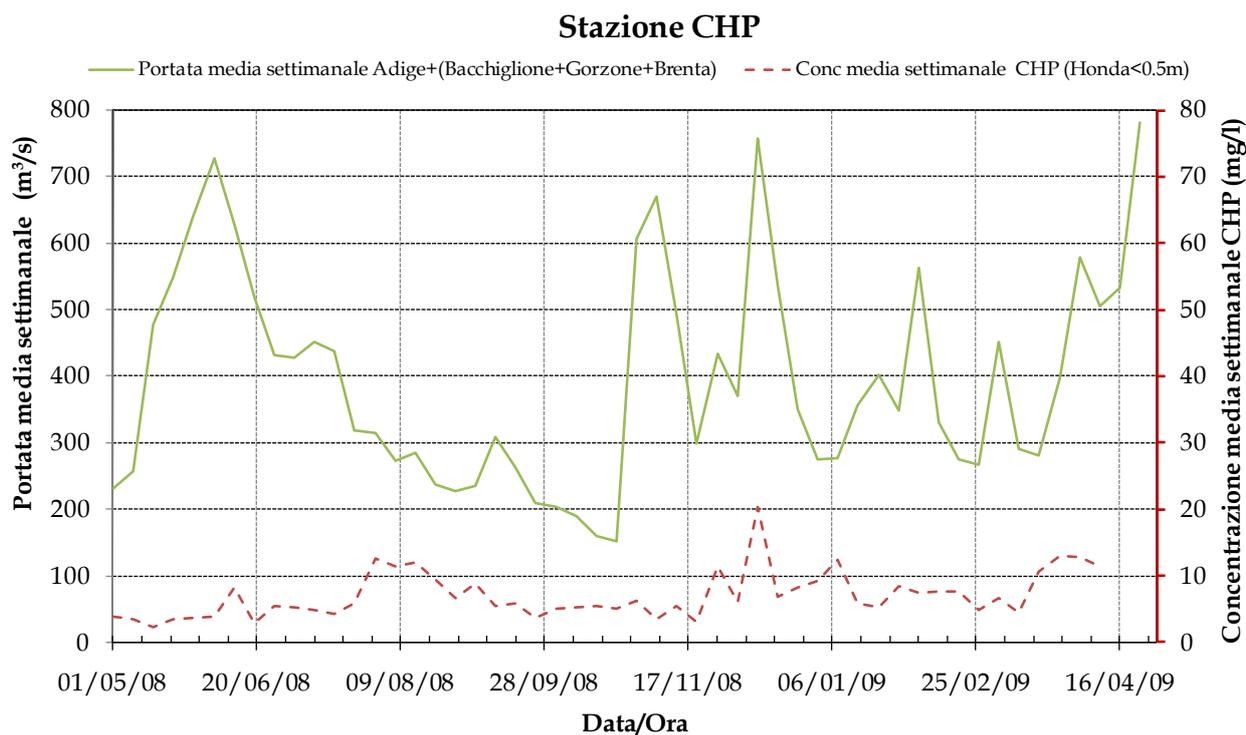


Figura 5.12 (c). Andamento della portata media settimanale complessiva dei fiumi Adige, Brenta, Bacchiglione, Gorzone e della concentrazione media settimanale di SPM misurata nella stazione CHP nel periodo Maggio2008-Aprile 2009.

Al fine di mettere in evidenza la sola influenza delle portate dei corsi d'acqua, nel calcolo delle concentrazioni medie settimanali di SPM non sono stati considerati quei valori misurati in presenza di moto ondoso in mare di altezza superiore a 0.5 m. (misurate alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR).

Dai grafici non risulta una stretta correlazione tra gli andamenti della portata dei fiumi e della concentrazione di particolato rilevato nella stazione CHP. La non corrispondenza diretta può essere dovuta a numerosi fattori: l'effetto del moto ondoso sulla stazione CHP, comunque presente anche avendo escluso le onde superiori a 0.5; la portata misurata dalle stazioni fluviali può differire da quella sfociante in mare per la presenza di derivazioni irrigue o idrovore lungo la parte terminale del percorso; l'effetto delle foci sulla stazione CHP si fa sentire durante la marea entrante, ma disponendo solo delle portate medie giornaliere non è possibile fare un'analisi distinta per fasi di marea.

E anche probabile che i corsi d'acqua che arrivano nella laguna sud (Lova, Montalbano, Cuori, etc.) possano influenzare la torbidità locale.

Questa influenza potrebbe essere messa in evidenza da una correlazione con le portate di questi canali legata a precipitazioni locali e di breve durata diverse da quelle regionali che possono determinare condizioni di piena che interessano sia i grandi bacini dei fiumi esterni alla laguna sia i territori del bacino scolante della stessa laguna.

L'influenza dei corsi d'acqua potrebbe essere analizzata in maniera più dettagliata utilizzando un modello di trasporto solido fluviale in non equilibrio sviluppato dall'Università di Padova.

### 5.5 Attività di scavo nel periodo considerato

Nel periodo che va da Maggio 2010 ad Aprile 2011 sono state effettuate le seguenti attività di dragaggio:

#### Bocca di Malamocco

- OP/415-4B: zona della spalla sud.
- OP/490-1: area di fronte alla sponda del forte S. Pietro.
- OP/326: zona della conca di navigazione lato forte S. Pietro.
- OP/391-3B: zona della spalla nord.

#### Bocca di Chioggia

- OP/358-1B: protezione dei fondali.
- OP/443-4: zona degli edifici tecnologici presso la spalla sud.

#### Bocca di Lido

- OP/424-4: barriera palancole preparazione dei recessi opere civili.

Per il periodo corrispondente all'intervallo Maggio2010-Aprile 2011 sono state rese disponibili dalla Direzione Lavori, per ogni opera di dragaggio, alcune informazioni che vengono riportate nella Tabella 5.: periodo dell'attività, effettivi giorni di scavo e volumi scavati.

Tabella 5.7. Localizzazione attività di dragaggio, denominazione dell'opera, inizio e fine del periodo di scavo, numero effettivo di giornate, e metri cubi di materiale.

	<b>Opera</b>	<b>Periodo</b>	<b>gg scavo</b>	<b>mc</b>
<b>Bocca di Malamocco</b>	OP/415-4B	dal 3/5/10 al 21/5/10	7	6950
	OP/490-1	dal 12/5/10 al 30/6/10 dal 1/9/10 al 29/10/10	25	38.100
	OP/326	dal 2/9/10 al 29/11/10	11	29.800
	OP/391-3B	dal 5/11/10 al 21/12/10	10	17.450
<b>Bocca di Chioggia</b>	OP/358-1B	dal 3/5/10 al 30/6/10 dal 13/10/10 al 21/12/10 dal 31/01/11 al 31/03/11	53	66.250
	OP/443-4	dal 26/11/10 al 10/12/10 dal 4/2/11 al 31/03/11	21	21.850
<b>Bocca di Lido</b>	OP/424-4	dal 20/10/10 al 31/03/11	96	71.622

Il *plume* generato dalle draghe (che abbiamo visto non influire sulle stazioni fisse) è stato monitorato dalla strumentazione montata su imbarcazione e segnalato nei rapporti di campagna (si vedano i paragrafi 2.1.1 ,2.1.2 ,2.1.3).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

**5.6 Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite negli anni di monitoraggio**

Nelle Tabelle 5.9-5.18 si riportano i parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite in ogni stazione di misura nei periodi di monitoraggio (Tabella 5.8):

Tabella 5.8. Periodi di misura per ogni stazione

	<b>B/1</b> 1-4-2005 31- 05-2006	<b>B/2</b> 1-6-2006 30- 04-2007	<b>B/3</b> 1-5-2007 30- 04-2008	<b>B/4</b> 1-5-2008 30- 04-2009	<b>B/5</b> 1-5-2009 30- 04-2010	<b>B/6</b> 1-5-2010 30- 04-2011
<b>STAZIONI MARINE</b>						
LIM	X	X	X	X		
MAM	X		X	X	X	X
CHM	X					
<b>STAZIONI LAGUNARI</b>						
LMR	X	X	X	X		
LMR-2		X	X	X		
LTP	X	X	X	X		
LSN	X					
LSA		X	X	X		
MAP	X	X	X	X	X	X
CHP	X	X	X	X	X	X

Per ciascuna stazione l'analisi è stata svolta per la serie relativa al periodo complessivo delle misure di torbidità degli Studi B/1-B/6, ma anche considerando le serie temporali relative ai singoli anni di misura B/1, B/2, B/3,B/4,B/5,B/6. I risultati sono forniti in forma tabellare e, subito dopo, in forma grafica con scala logaritmica. Si ricorda che la stazione MAM per il periodo B/6 è caratterizzata da una bassa disponibilità di dati.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.9. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità LIM in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

LIM	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
NUM DATI	123861	27679	25257	32034	16047	22844	-
MEDIA	15.59	15.05	22.97	13.98	15.50	10.39	-
SQM	31.71	22.24	55.10	26.37	21.27	10.65	-
SQM/MEDIA	2.03	1.48	2.40	1.89	1.37	1.02	-
MAX	451.20	113.10	451.20	395.80	290.50	168.90	-
MIN	0.20	0.70	0.20	0.60	0.90	1.20	-
10°percentile	2.80	2.10	2.50	2.80	4.10	3.90	-
25°percentile	4.30	3.40	3.60	4.20	5.80	5.00	-
50°percentile	6.90	7.00	5.60	6.60	9.90	7.10	-
75°percentile	13.10	14.40	10.80	12.60	16.70	11.30	-
90°percentile	30.00	37.60	52.40	28.10	27.80	20.30	-
95°percentile	56.10	66.40	134.20	47.80	44.80	28.60	-
Media interquartile	8.70	8.90	7.20	8.40	11.25	8.15	-

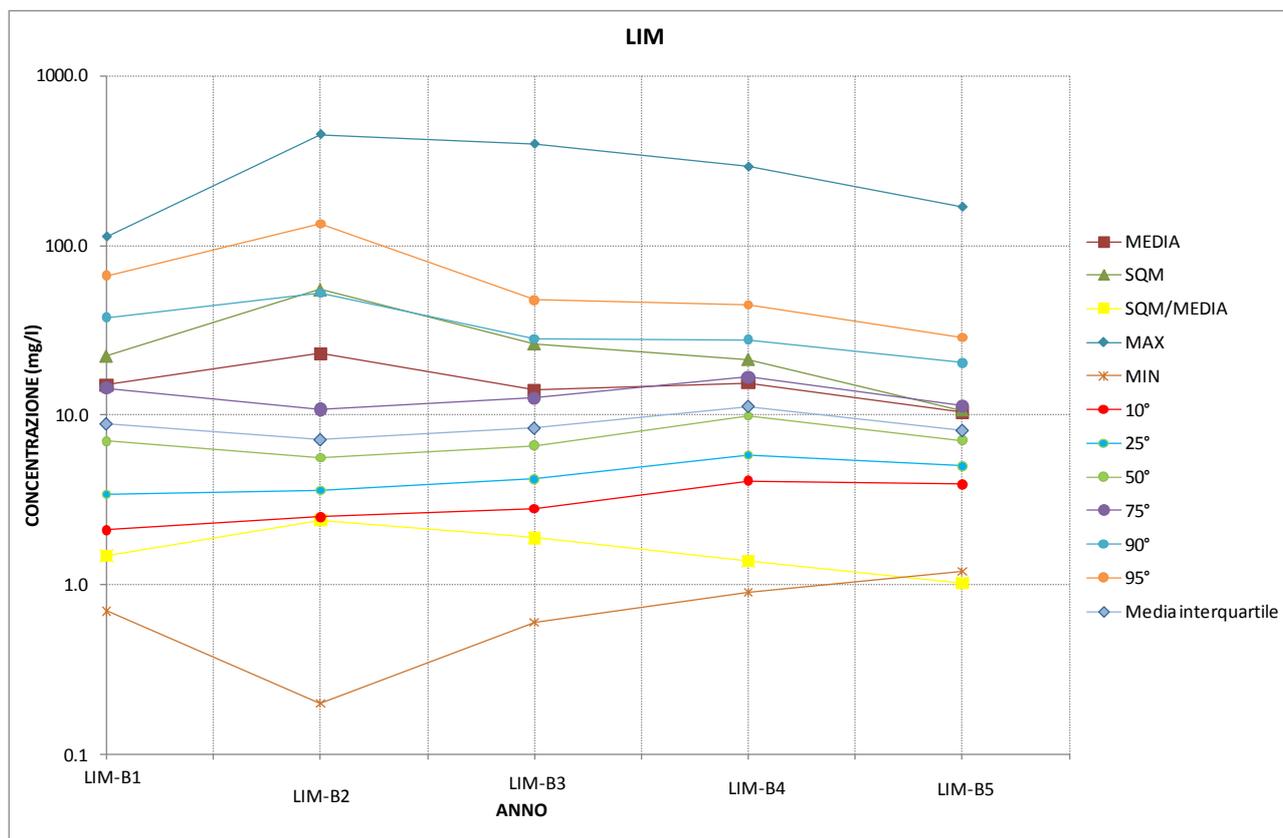


Figura 5.13 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione LIM durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.10. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità MAM in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

MAM	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
NUM DATI	113536	29119	-	24400	26189	20701	13127
MEDIA	11.01	14.63	-	6.92	12.25	13.93	3.47
SQM	18.50	24.41	-	10.39	17.98	20.31	2.99
SQM/MEDIA	1.68	1.67	-	1.50	1.47	1.46	0.86
MAX	381.60	140.40	-	133.50	239.50	381.60	25.24
MIN	0.10	0.10	-	0.60	1.10	1.30	0.22
10°percentile	1.90	1.90	-	1.60	3.40	3.70	0.72
25°percentile	3.20	3.30	-	2.30	4.80	5.30	1.35
50°percentile	5.76	5.80	-	3.60	7.10	8.80	2.54
75°percentile	10.70	12.60	-	7.10	11.40	16.40	4.75
90°percentile	22.60	37.40	-	13.80	23.10	24.90	7.32
95°percentile	38.60	61.20	-	22.80	40.20	35.40	8.96
Media interquartile	6.95	7.95	-	4.70	8.10	10.85	3.05

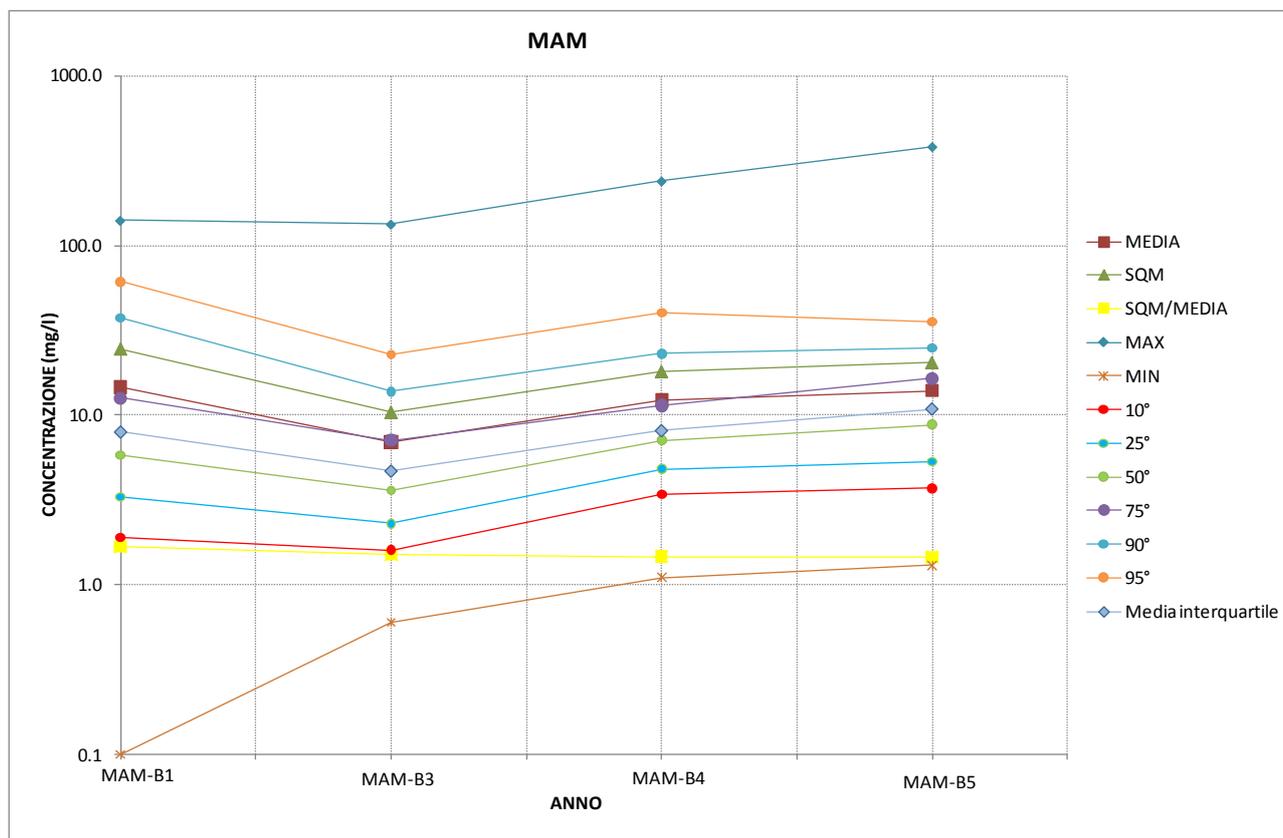


Figura 5.14 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione MAM durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tabella 5.11. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità CHM in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6) che coincide con l'anno B/1 (CHM-B/1). Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione. Nell'analisi non si è considerato l'evento meteo intenso verificatosi nel mese di novembre 2005.

CHM	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
<b>NUM DATI</b>	15056	15056	-	-	-	-	-
<b>MEDIA</b>	16.85	16.85	-	-	-	-	-
<b>SQM</b>	34.92	34.92	-	-	-	-	-
<b>SQM/MEDIA</b>	2.07	2.07	-	-	-	-	-
<b>MAX</b>	422.30	422.30	-	-	-	-	-
<b>MIN</b>	0.40	0.40	-	-	-	-	-
<b>10°percentile</b>	1.80	1.80	-	-	-	-	-
<b>25°percentile</b>	3.00	3.00	-	-	-	-	-
<b>50°percentile</b>	6.70	6.70	-	-	-	-	-
<b>75°percentile</b>	14.80	14.80	-	-	-	-	-
<b>90°percentile</b>	33.10	33.10	-	-	-	-	-
<b>95°percentile</b>	67.30	67.30	-	-	-	-	-
<b>Media interquartile</b>	8.90	8.90	-	-	-	-	-

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.12. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità LMR in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

LMR	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
NUM DATI	128973	35429	27700	32505	33339	-	-
MEDIA	8.19	8.51	6.95	7.51	9.53	-	-
SQM	11.39	15.52	6.66	9.75	10.61	-	-
SQM/MEDIA	1.39	1.82	0.96	1.30	1.11		
MAX	159.30	159.30	142.20	153.10	155.00	-	-
MIN	1.00	2.10	1.60	1.00	1.60	-	-
10°percentile	3.00	3.10	3.10	2.50	3.40	-	-
25°percentile	3.80	3.70	3.90	3.40	4.40	-	-
50°percentile	5.30	5.10	5.30	4.70	6.50	-	-
75°percentile	8.20	7.50	7.50	7.30	10.20	-	-
90°percentile	13.90	12.70	11.50	13.10	17.20	-	-
95°percentile	22.60	22.50	15.80	25.40	26.20	-	-
Media interquartile	6.00	5.60	5.70	5.35	7.30	-	-

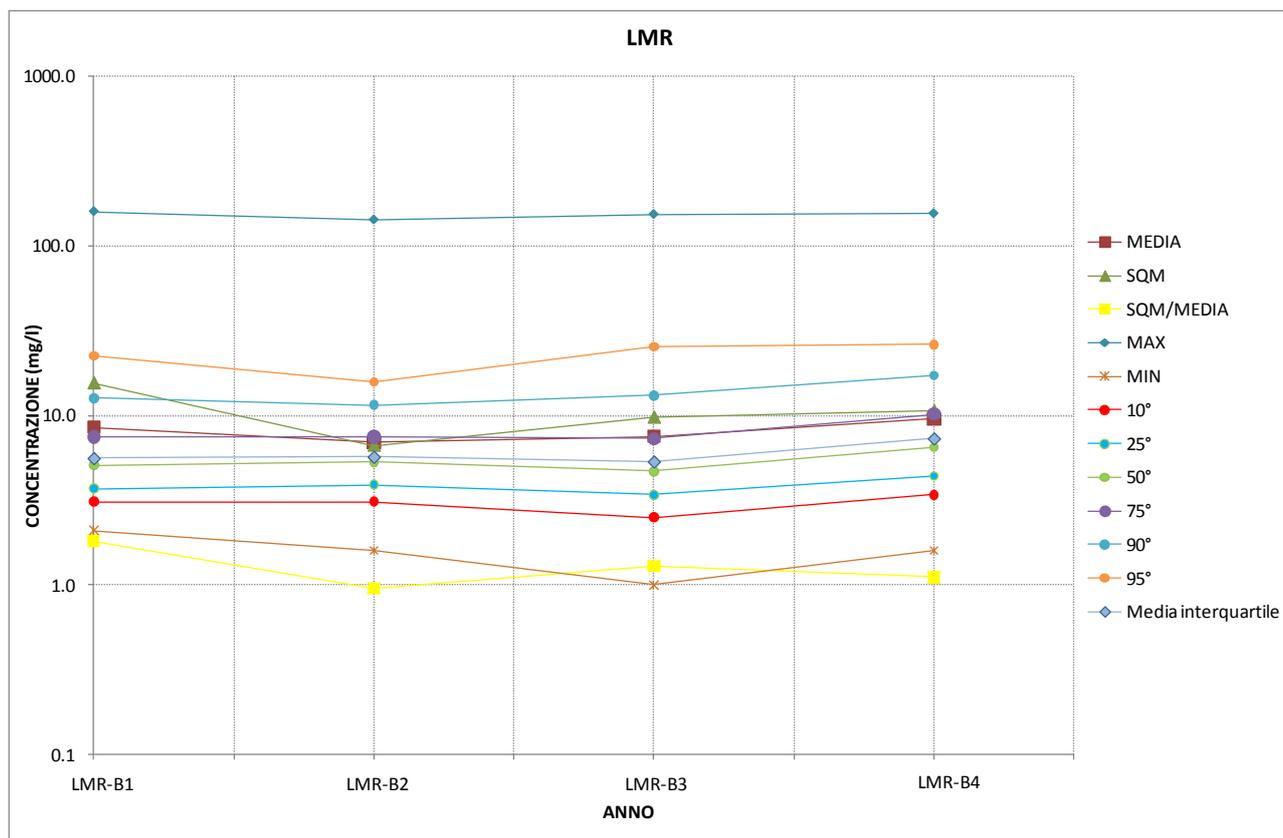


Figura 5.15 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione LMR durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.13. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità LMR-2 in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

LMR-2	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
NUM DATI	80969	-	27218	27788	25963	-	-
MEDIA	8.85	-	9.05	8.13	9.42	-	-
SQM	10.17	-	7.47	10.14	12.38	-	-
SQM/MEDIA	1.15	-	0.83	1.25	1.31	-	-
MAX	233.10	-	137.30	157.50	233.10	-	-
MIN	0.60	-	1.60	0.60	1.30	-	-
10°percentile	3.10	-	3.80	2.30	3.02	-	-
25°percentile	4.30	-	4.90	3.60	4.40	-	-
50°percentile	6.40	-	7.00	5.60	6.60	-	-
75°percentile	9.90	-	10.50	8.90	10.00	-	-
90°percentile	15.60	-	16.40	14.60	15.70	-	-
95°percentile	22.20	-	21.60	20.90	24.90	-	-
Media interquartile	7.10	-	7.70	6.25	7.20	-	-

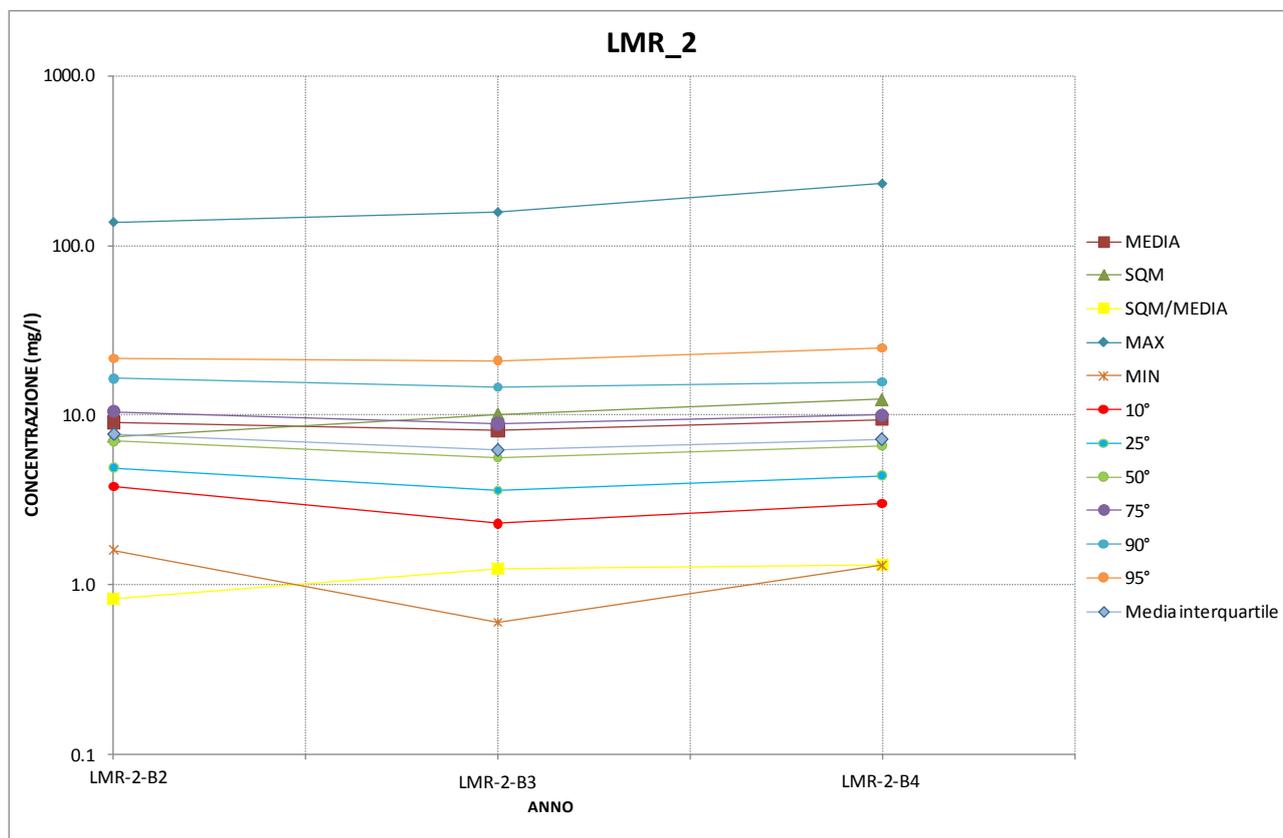


Figura 5.16 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione LMR-2 durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.14. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità LTP in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

LTP	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
NUM DATI	113491	24722	29586	31748	27435	-	-
MEDIA	16.38	17.93	13.44	13.82	21.10	-	-
SQM	16.49	14.89	8.66	13.24	24.50	-	-
SQM/MEDIA	1.01	0.83	0.64	0.96	1.16	-	-
MAX	502.60	186.10	193.10	301.70	502.60	-	-
MIN	1.10	2.30	1.60	2.40	1.10	-	-
10°percentile	6.80	7.60	6.40	6.20	8.70	-	-
25°percentile	9.20	10.20	8.50	8.00	11.30	-	-
50°percentile	12.80	14.20	11.70	11.10	15.20	-	-
75°percentile	18.00	20.10	15.80	15.50	22.00	-	-
90°percentile	26.30	29.40	21.60	21.20	34.10	-	-
95°percentile	36.00	41.60	27.00	28.20	51.40	-	-
Media interquartile	13.60	15.15	12.15	11.75	16.65	-	-

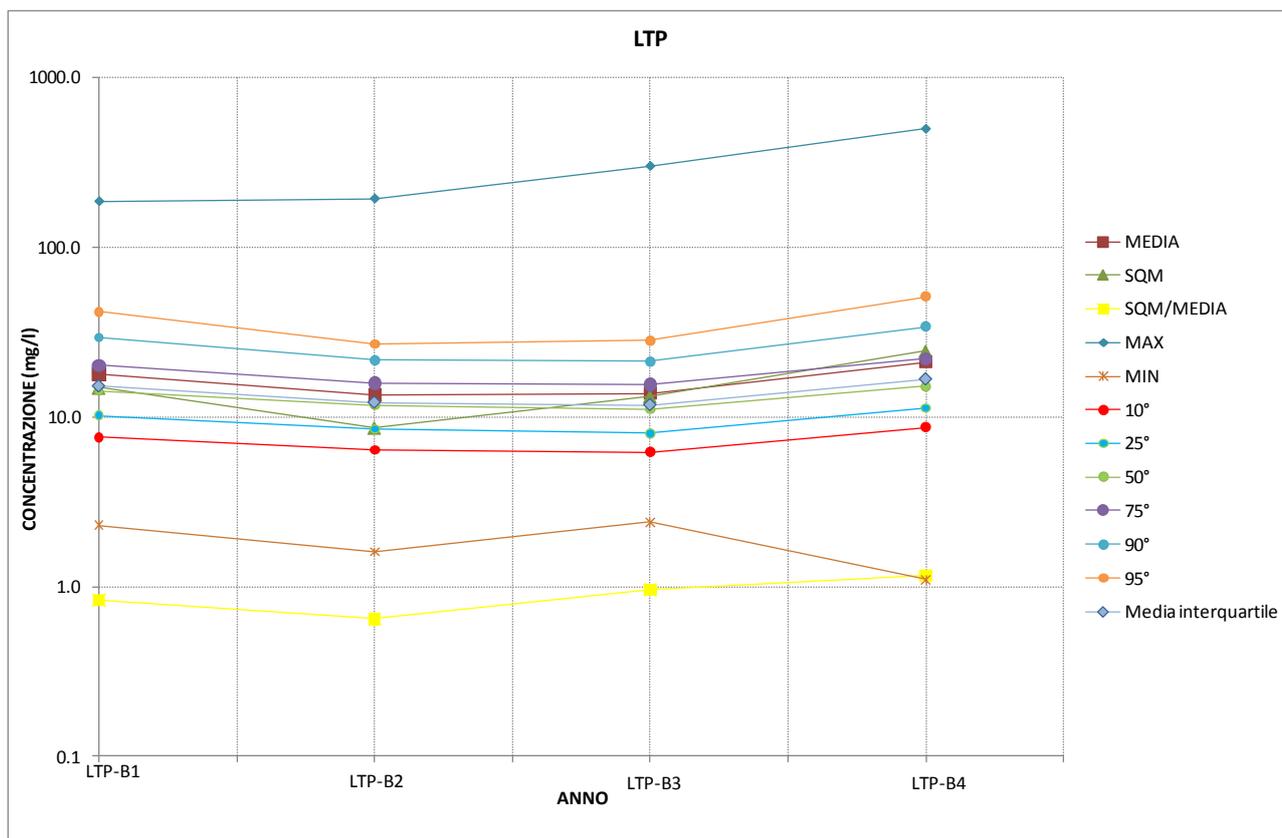


Figura 5.17 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione LTP durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tabella 5.15. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità LSN in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

LSN	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
<b>NUM DATI</b>	18598	18598	-	-	-	-	-
<b>MEDIA</b>	17.03	17.03	-	-	-	-	-
<b>SQM</b>	11.36	11.36	-	-	-	-	-
<b>SQM/MEDIA</b>	0.67	0.67	-	-	-	-	-
<b>MAX</b>	134.80	134.80	-	-	-	-	-
<b>MIN</b>	3.30	3.30	-	-	-	-	-
<b>10°percentile</b>	7.70	7.70	-	-	-	-	-
<b>25°percentile</b>	10.30	10.30	-	-	-	-	-
<b>50°percentile</b>	14.40	14.40	-	-	-	-	-
<b>75°percentile</b>	20.20	20.20	-	-	-	-	-
<b>90°percentile</b>	28.20	28.20	-	-	-	-	-
<b>95°percentile</b>	35.20	35.20	-	-	-	-	-
<b>Media interquartile</b>	15.25	15.25	-	-	-	-	-

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.16. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità LSA in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

LSA	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
<b>NUM DATI</b>	85040	-	24943	33034	27063	-	-
<b>MEDIA</b>	15.40	-	18.41	9.55	19.76	-	-
<b>SQM</b>	13.55	-	11.74	6.56	18.13	-	-
<b>SQM/MEDIA</b>	0.88	-	0.64	0.69	0.92	-	-
<b>MAX</b>	374.60	-	221.30	101.70	374.60	-	-
<b>MIN</b>	2.10	-	5.20	2.10	3.10	-	-
<b>10°</b>	5.70	-	8.90	4.80	7.10	-	-
<b>25°</b>	7.90	-	11.30	6.00	9.60	-	-
<b>50°</b>	11.50	-	15.70	8.00	14.30	-	-
<b>75°</b>	18.70	-	22.10	11.00	24.60	-	-
<b>90°</b>	28.20	-	29.20	15.00	37.10	-	-
<b>95°</b>	37.10	-	36.80	19.30	47.90	-	-
<b>Media interquartile</b>	13.30	-	16.70	8.50	17.10	-	-

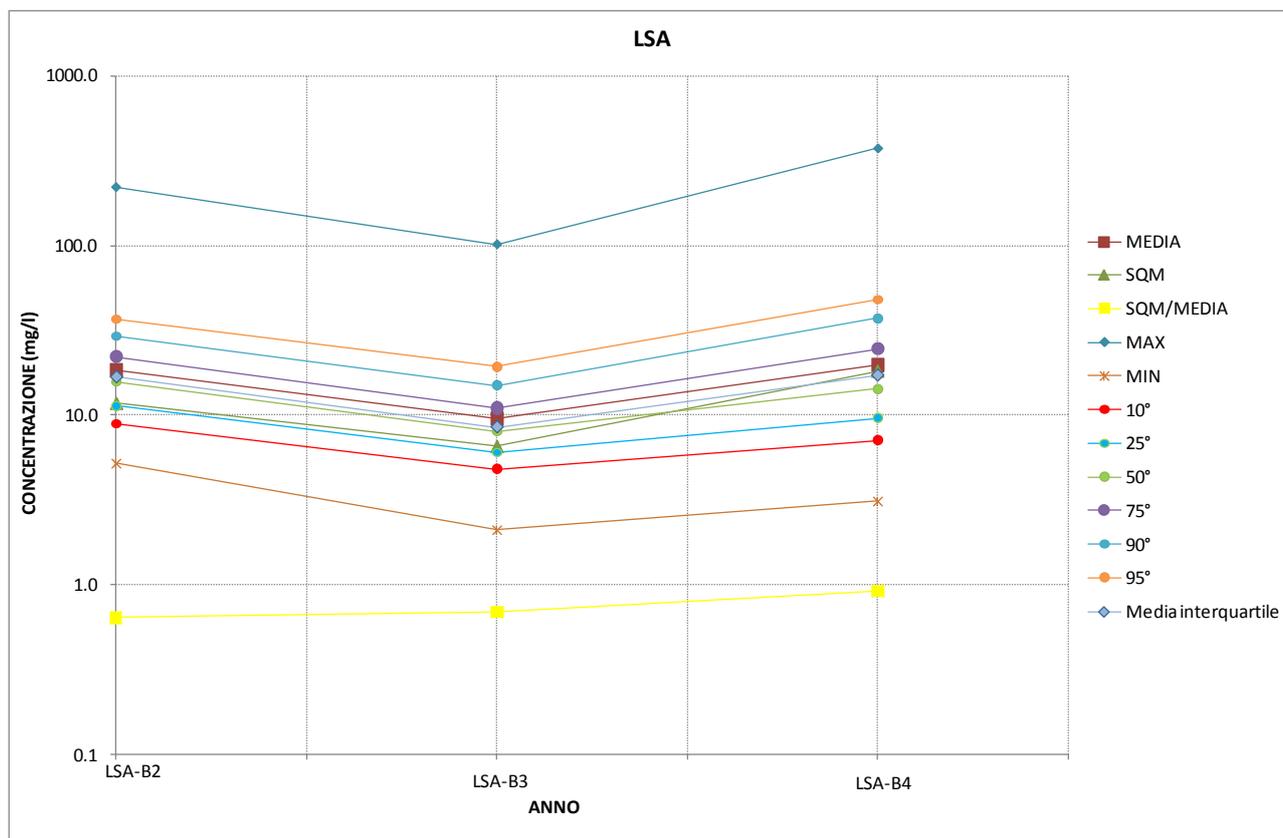


Figura 5.18 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione LSA durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.17. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità MAP in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6), e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

MAP	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
NUM DATI	181266	24968	31092	33311	25920	33366	32609
MEDIA	10.52	9.01	6.69	11.92	16.22	10.57	9.29
SQM	11.58	6.70	5.41	12.12	17.44	13.53	7.64
SQM/MEDIA	1.10	0.74	0.81	1.02	1.08	1.28	0.82
MAX	299.90	91.10	107.30	158.90	230.70	299.90	141.65
MIN	0.30	2.00	1.10	0.30	0.70	1.30	1.78
10°percentile	4.10	4.50	3.30	3.70	6.70	4.70	4.24
25°percentile	5.50	5.50	4.20	6.20	8.80	5.70	5.48
50°percentile	7.80	7.00	5.50	9.30	12.10	7.50	7.53
75°percentile	11.60	9.80	7.50	13.20	17.30	10.70	10.74
90°percentile	17.80	15.30	10.30	20.30	25.80	17.20	14.58
95°percentile	24.60	21.30	13.80	28.70	38.20	24.90	18.76
Media interquartile	8.55	7.65	5.85	9.70	13.05	8.20	8.11

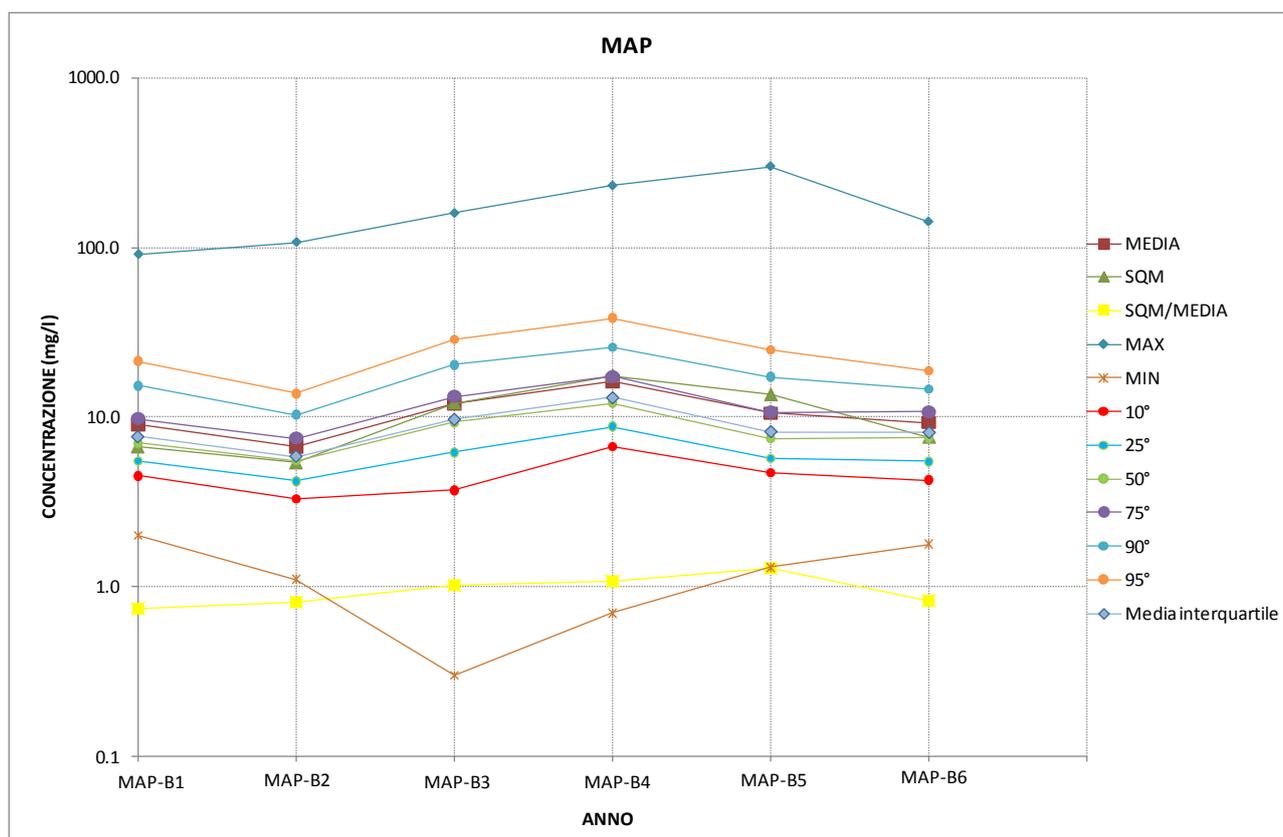


Figura 5.19 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione MAP durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.18. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nella stazione di misura della torbidità CHP in tutto il periodo di monitoraggio (B/1-B/6) e nei singoli anni. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

CHP	B/1-B/6	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
<b>NUM DATI</b>	176729	22510	25395	32524	33120	32205	30975.00
<b>MEDIA</b>	9.14	10.87	6.65	6.85	10.70	10.31	9.46
<b>SQM</b>	12.75	11.59	10.43	8.93	16.99	13.10	12.36
<b>SQM/MEDIA</b>	1.39	1.07	1.57	1.30	1.59	1.27	1.31
<b>MAX</b>	309.00	194.20	221.20	169.80	309.00	215.60	206.88
<b>MIN</b>	0.30	0.50	1.00	0.30	0.30	1.50	1.07
<b>10°percentile</b>	3.00	4.00	2.40	2.80	3.00	3.50	3.26
<b>25°percentile</b>	4.10	5.20	3.30	3.50	4.20	4.90	4.38
<b>50°percentile</b>	5.80	7.10	4.60	4.70	6.10	7.00	6.25
<b>75°percentile</b>	9.10	11.10	6.40	6.80	10.10	10.80	9.67
<b>90°percentile</b>	16.40	21.00	9.70	11.30	20.20	18.50	16.08
<b>95°percentile</b>	25.20	33.20	15.50	16.50	32.40	26.00	25.04
<b>Media interquartile</b>	6.60	8.15	4.85	5.15	7.15	7.85	7.03

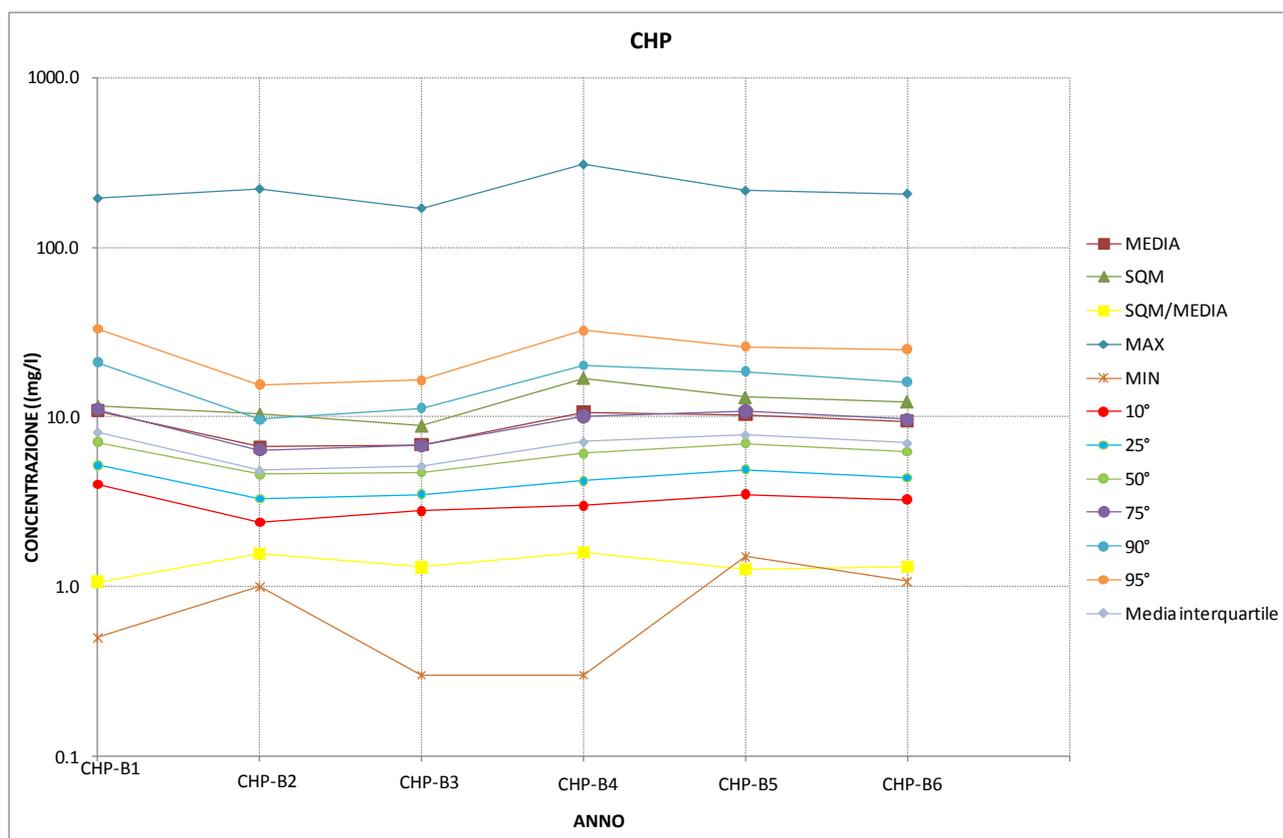


Figura 5.20 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nella stazione CHP durante gli anni di monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Le Tabelle 5.9-5.18 e le corrispondenti Figure 5.13-5.20 mettono in evidenza la variabilità temporale interannuale dei parametri statistici della concentrazione della torbidità rilevata nelle varie stazioni di misura. Tale variabilità è notevole per tutti i parametri, ma non è evidente alcuna loro sistematica tendenza ad una crescita o decrescita in funzione del tempo. In generale gli andamenti temporali dei parametri statistici si presentano sensibilmente paralleli fra di loro, indicando una successione irregolare di anni "complessivamente" più o meno torbidi.

Dalle tabelle si osserva che il coefficiente di variazione (sqm/media) assume per ogni stazione e per ogni anno valori elevati (sempre maggiori di 0.5); questo indica che si ha una notevole dispersione dei dati attorno al valore medio cioè una variabilità temporale dovuta per esempio alle condizioni naturali o a eventi meteo.

Si osserva peraltro che tali andamenti non appaiono molto consistenti fra una stazione e l'altra, indicando una non trascurabile variabilità spaziale in termini meteo marini fra le diverse stazioni.

Al fine di individuare un eventuale legame tra le variazioni rilevate nelle varie stazioni e gli eventi meteo, si riporta nella Tabella 5.19, e in forma grafica nella Figura 5.21, l'analisi statistica della velocità del vento effettuata per ogni anno, calcolando gli stessi parametri utilizzati per la concentrazione.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.19. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali della velocità del vento misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR nei singoli anni.

	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/6
<b>MEDIA</b>	4.86	4.23	5.19	5.06	4.85	4.82
<b>MAX</b>	23.80	15.50	20.70	17.40	19.60	15.70
<b>10°percentile</b>	1.30	1.20	1.30	1.50	1.40	1.40
<b>25°percentile</b>	2.30	2.10	2.40	2.60	2.40	2.40
<b>50°percentile</b>	3.90	3.40	4.20	4.20	3.90	4.10
<b>75°percentile</b>	6.20	5.50	6.90	6.70	6.40	6.40
<b>90°percentile</b>	9.90	8.60	10.30	10.20	9.80	9.30
<b>95°percentile</b>	13.00	10.90	13.20	12.20	12.30	11.30

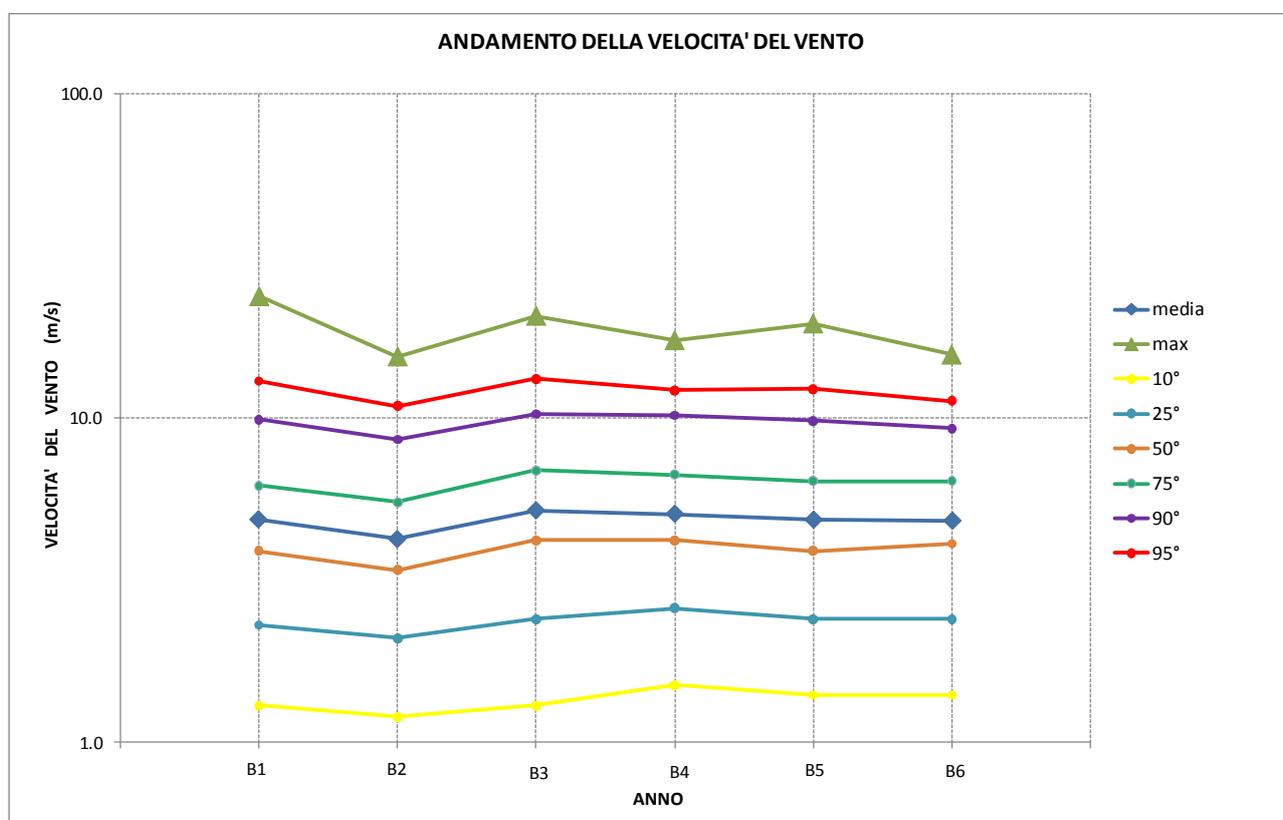


Figura 5.21 Andamento dei parametri statistici della velocità del vento (rappresentata in scala logaritmica) misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR, durante gli anni di monitoraggio.

Dai grafici si osserva che le oscillazioni interannuali dei parametri relativi al vento non si presentano molto consistenti con le oscillazioni dei parametri relativi alla concentrazione rilevata nelle varie stazioni; la riconosciuta correlazione tra vento e concentrazione a livello di singolo evento, infatti, non è evidente a livello interannuale. Si precisa anche che non tutte le direzioni del vento danno lo stesso effetto di risospensione in tutte le stazioni.

L'importanza della variabilità spaziale fra le diverse stazioni di misura, del resto, è confermata e resa ancor più evidente dall'andamento dei parametri statistici della concentrazione di SPM misurata durante le campagne di monitoraggio con ADCP montato su imbarcazione in assenza di

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

draghe nel periodo 2005-2010. Non sono state considerate le campagne svolte nel periodo B/6 in quanto erano presenti le draghe.

Nelle Tabelle 5.20-5.21-5.22, quindi, si riporta la stessa analisi statistica svolta utilizzando i dati delle suddette campagne.

Tabella 5.20. Parametri statistici rappresentativi delle misure di concentrazione effettuate durante le campagne di monitoraggio con ADCP montato su imbarcazione effettuate nella bocca di porto di Lido nel periodo 2005-2010. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

LIDO	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/1-B/5
NUMDATI	280	3426	2822	1990	1313	9831
MEDIA	22.93	13.65	12.06	7.29	7.30	11.32
SQM	12.04	16.72	16.76	5.96	3.10	14.21
SQM/MEDIA	0.52	1.22	1.39	0.82	0.42	1.26
MAX	63.99	255.24	132.00	45.15	33.70	255.24
MIN	1.95	1.34	0.28	1.12	2.74	0.28
10°	5.24	4.65	2.91	2.59	3.72	3.20
25°	14.39	5.97	3.74	3.30	4.71	4.23
50°	22.63	9.18	4.65	4.62	7.07	6.80
75°	31.38	13.33	15.29	10.19	9.25	12.40
90°	37.09	25.84	27.21	15.77	10.91	23.79
95°	42.23	34.78	48.89	19.24	12.28	34.33
Media interquartile	22.88	9.65	9.51	6.75	6.98	8.32

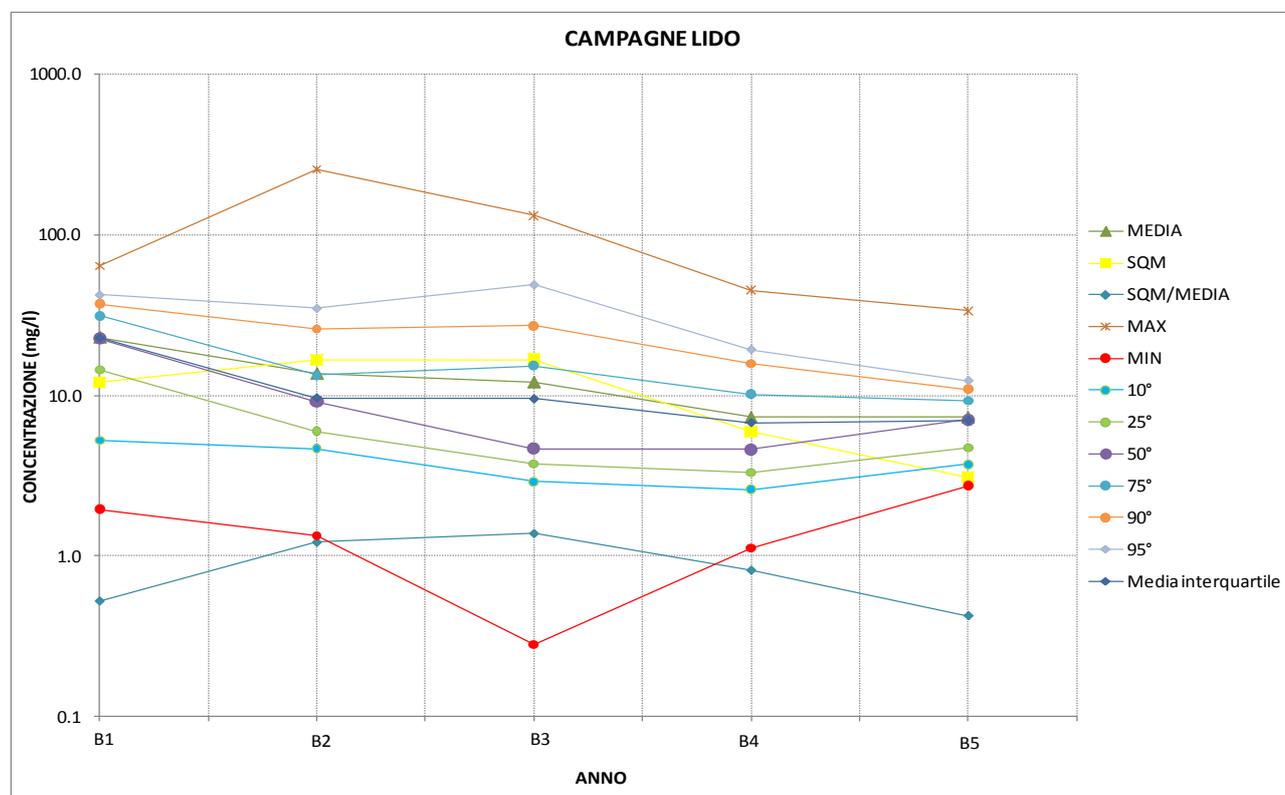


Figura 5.22 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata durante campagne di monitoraggio effettuate nella bocca di porto Lido nel periodo 2005-2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.21. Parametri statistici rappresentativi delle misure di concentrazione effettuate durante le campagne di monitoraggio con ADCP montato su imbarcazione effettuate nella bocca di porto di Malamocco nel periodo 2005-2010. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

MALAMOCCO	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/1-B/5
NUMDATI	230.00	-	-	50	2291	2571
MEDIA	3.96	-	-	5.1	5.0	4.91
SQM	3.11	-	-	2.2	2.9	2.96
SQM/MEDIA	0.78			0.4	0.6	0.60
MAX	25.55	-	-	9.3	16.8	25.55
MIN	1.05	-	-	2.0	0.3	0.32
10°	1.75	-	-	2.4	1.3	1.35
25°	2.25	-	-	3.4	2.6	2.55
50°	3.05	-	-	4.7	4.8	4.62
75°	4.59	-	-	6.9	7.1	6.93
90°	6.20	-	-	8.7	8.5	8.45
95°	9.17	-	-	8.7	9.9	9.89
Media interquartile	3.42	-	-	5.1	4.9	4.74

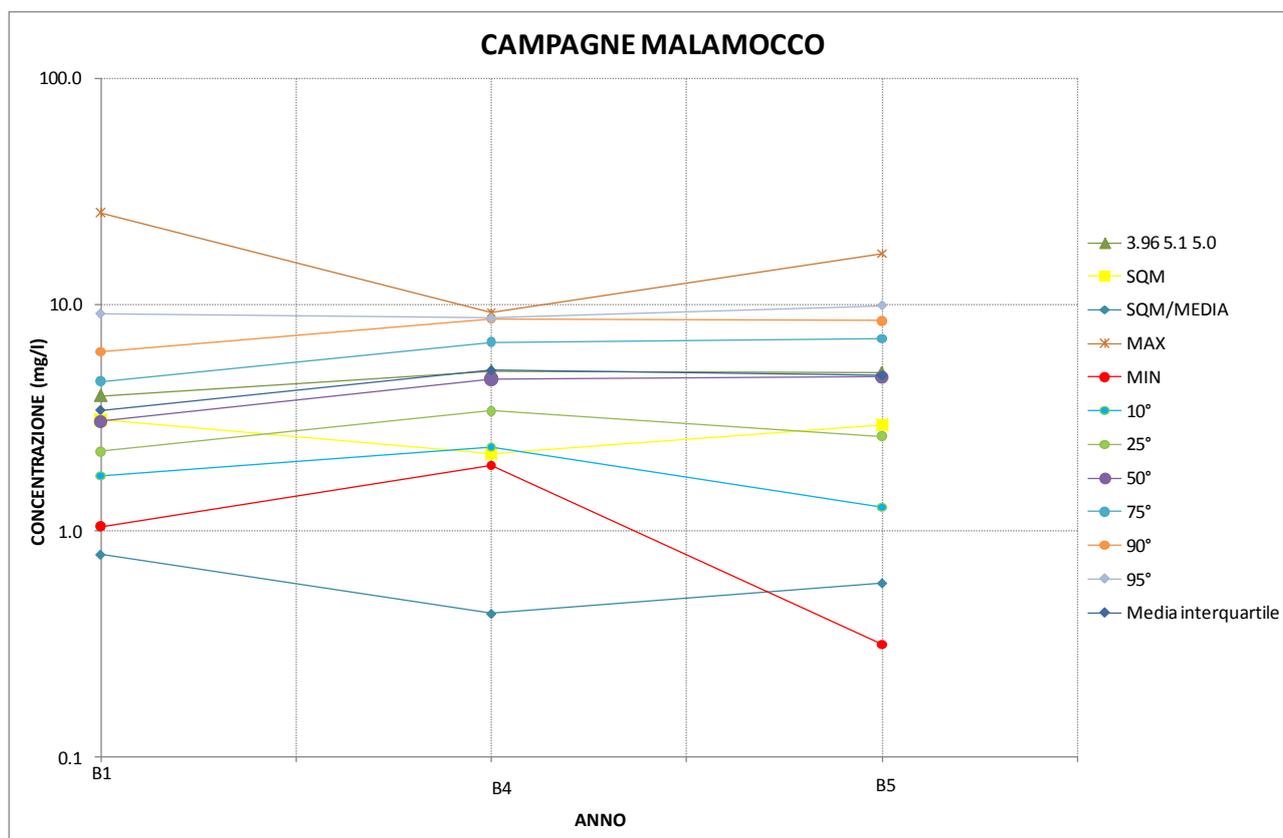


Figura 5.23 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata durante le campagne di monitoraggio effettuate nella bocca di porto di Malamocco nel periodo 2005-2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella 5.22. Parametri statistici rappresentativi delle misure di concentrazione effettuate durante le campagne di monitoraggio con ADCP montato su imbarcazione effettuate nella bocca di porto di Chioggia nel periodo 2005-2010. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

CHIOGGIA	B/1	B/2	B/3	B/4	B/5	B/1-B/5
NUMDATI	159	1776	1733	2933	629	7230
MEDIA	8.5	3.5	2.6	5.2	6.4	4.3
SQM	3.3	2.9	0.5	4.0	4.1	3.5
SQM/MEDIA	0.4	0.8	0.2	0.8	0.6	0.8
MAX	21.7	39.3	4.6	33.9	39.7	39.7
MIN	3.9	1.5	1.6	0.1	1.1	0.1
10°	5.2	1.9	1.8	2.3	3.2	2.0
25°	6.1	2.2	2.2	2.9	4.2	2.5
50°	7.6	2.8	2.6	3.9	5.4	3.2
75°	10.2	4.0	2.9	5.7	7.8	4.7
90°	13.0	5.3	3.2	10.1	10.7	7.8
95°	14.5	6.1	3.4	13.8	13.6	11.1
Media interquartile	8.1	3.1	2.6	4.3	6.0	3.6

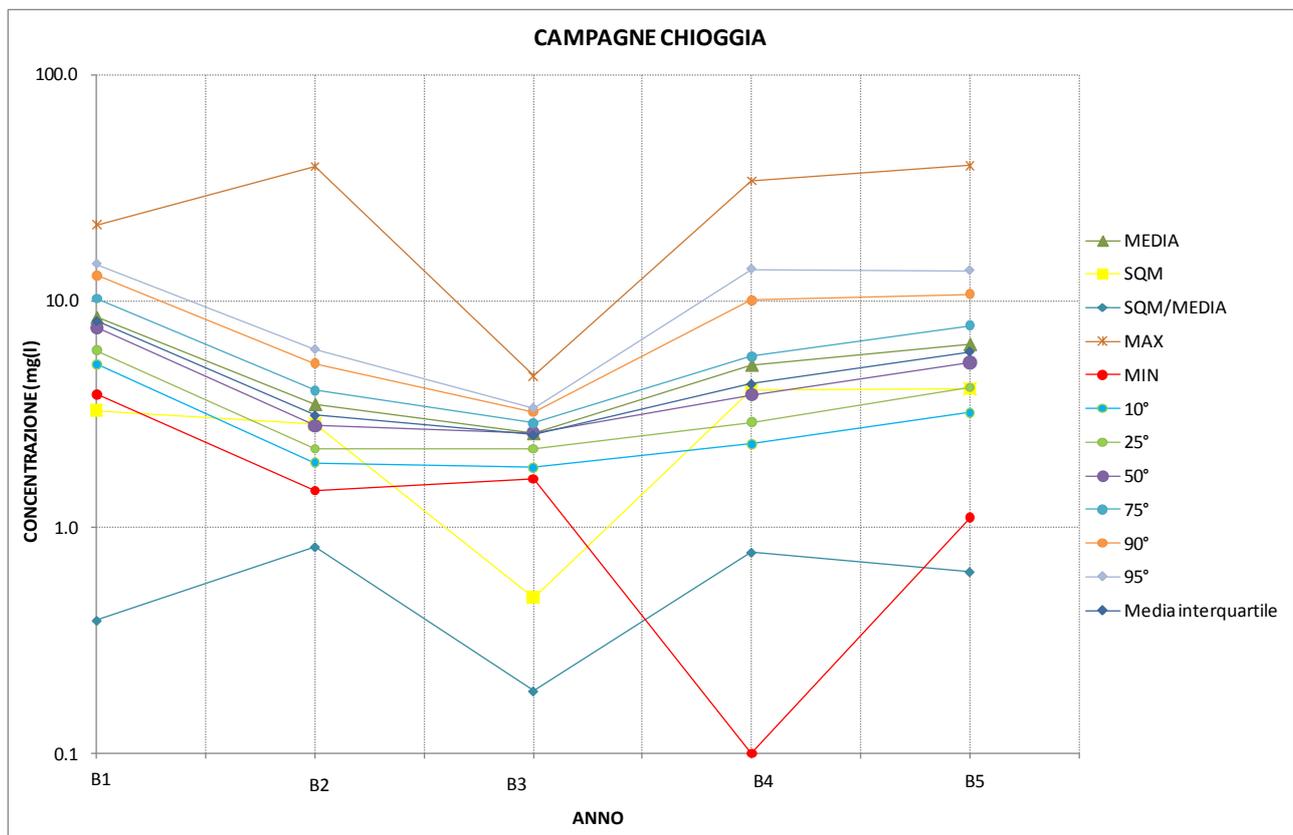


Figura 5.24 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata durante le campagne di monitoraggio effettuate nella bocca di porto di Chioggia nel periodo 2005-2010.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Dalle Tabelle 5.20-5.21 e 5.22 e dalle Figure 5.22- 5.23- 5.24 si vede che, anche per quanto riguarda le misure effettuate durante le campagne di monitoraggio, la variabilità interannuale dei parametri statistici è elevata in tutte le bocche di porto, ma con andamenti ancora distinti fra loro nonché diversi da quelli delle stazioni fisse e da quello del vento.

Nella Tabella 5.23 si riassumono, per ogni stazione, i risultati dell'analisi statistica effettuata su tutti i dati relativi a tutti gli anni di monitoraggio (B/1-B/6) con lo scopo di mettere in evidenza la variabilità spaziale delle misure. Per una più immediata lettura dei risultati, gli stessi sono riportati in Figura 5.21.

Tabella 5.23. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nelle stazioni di misura della torbidità in tutto il periodo di monitoraggio. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

	CHM	CHP	LIM	LMR	LMR-2	LSA	LTP	LSN	MAM	MAP
<b>NUM DATI</b>	15056	176729	123861	128973	80969	85040	113491	18598	100409	181266
<b>MEDIA</b>	16.85	9.14	15.59	8.19	8.85	15.40	16.38	17.03	11.99	10.52
<b>SQM</b>	34.92	12.75	31.71	11.39	10.17	13.55	16.49	11.36	19.43	11.58
<b>SQM/MEDIA</b>	2.07	1.39	2.03	1.39	1.15	0.88	1.01	0.67	1.62	1.10
<b>MAX</b>	422.30	309.00	451.20	159.30	233.10	374.60	502.60	134.80	381.60	299.90
<b>MIN</b>	0.40	0.30	0.20	1.00	0.60	2.10	1.10	3.30	0.10	0.30
<b>10°</b>	1.80	3.00	2.80	3.00	3.10	5.70	6.80	7.70	2.20	4.10
<b>25°</b>	3.00	4.10	4.30	3.80	4.30	7.90	9.20	10.30	3.50	5.50
<b>50°</b>	6.70	5.80	6.90	5.30	6.40	11.50	12.80	14.40	6.30	7.80
<b>75°</b>	14.80	9.10	13.10	8.20	9.90	18.70	18.00	20.20	11.90	11.60
<b>90°</b>	33.10	16.40	30.00	13.90	15.60	28.20	26.30	28.20	24.60	17.80
<b>95°</b>	67.30	25.20	56.10	22.60	22.20	37.10	36.00	35.20	41.80	24.60
<b>Media interquartile</b>	8.90	6.60	8.70	6.00	7.10	13.30	13.60	15.25	7.70	8.55

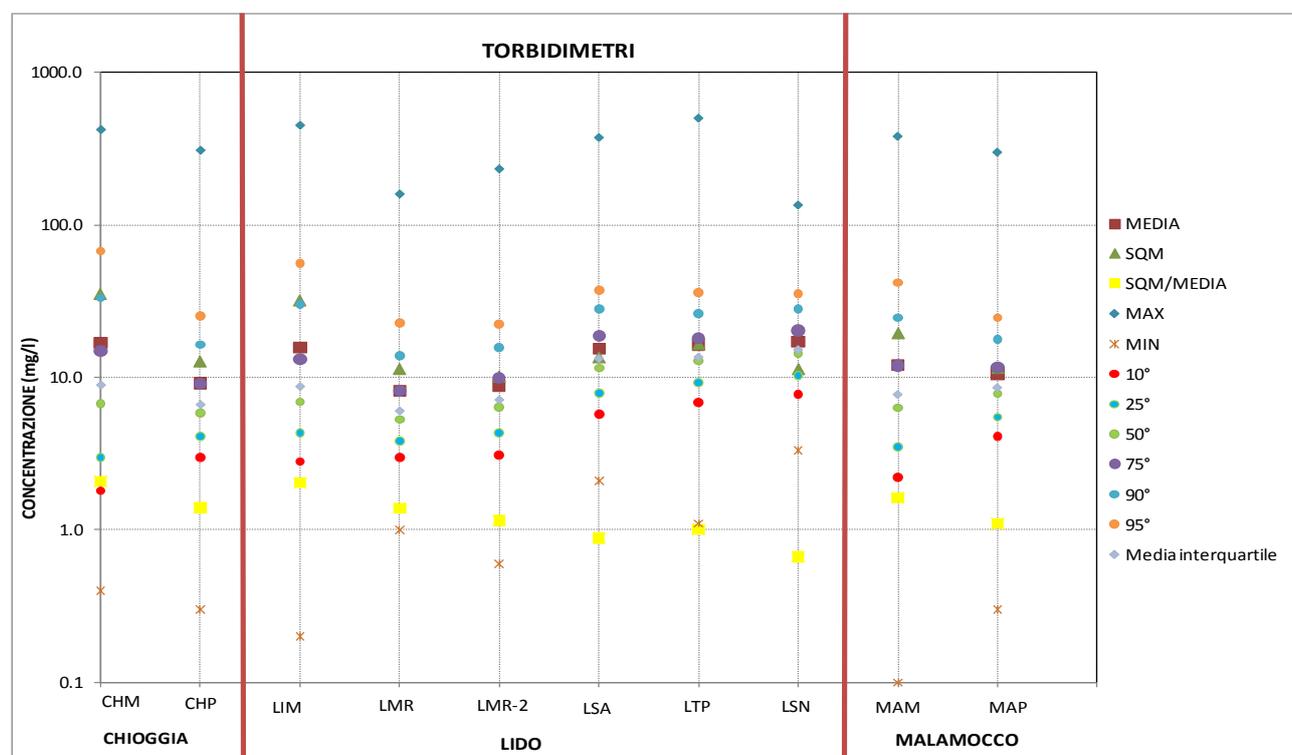


Figura 5.25 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata nelle stazioni fisse durante gli anni di monitoraggio nel periodo B/1-B/6. Per una più facile lettura si suddivide il grafico in tre zone distinte, una per ogni bocca di porto.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Analogamente a quanto fatto per le stazioni fisse, sempre con lo scopo di mettere in evidenza la variabilità spaziale delle misure, nella Tabella 5.24 si riassumono, per ogni bocca di porto, i risultati dell'analisi statistica effettuata sulle misure di concentrazione effettuate durante le campagne di misura nel periodo 2005-2010.

Tabella 5.24. Parametri statistici rappresentativi delle misure di concentrazione effettuate durante le campagne di monitoraggio con ADCP montato su imbarcazione effettuate nelle tre bocche di porto nel periodo 2005-2010. Le concentrazioni sono in mg/l. NUMDATI è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione.

	CAMP. CH	CAMP. LIDO	CAMP. MAL.	CAMP. TOTALE
<b>NUM DATI</b>	7230	9831	2571	19632
<b>MEDIA</b>	4.34	11.32	4.91	7.91
<b>SQM</b>	3.51	14.21	2.96	10.89
<b>SQM/MEDIA</b>	0.81	1.26	0.60	1.38
<b>MAX</b>	39.66	255.24	25.55	255.24
<b>MIN</b>	0.00	0.28	0.32	0.00
<b>10°</b>	2.02	3.20	1.35	2.22
<b>25°</b>	2.50	4.23	2.55	3.04
<b>50°</b>	3.23	6.80	4.62	4.67
<b>75°</b>	4.71	12.40	6.93	8.50
<b>90°</b>	7.79	23.79	8.45	15.60
<b>95°</b>	11.07	34.33	9.89	24.32
<b>Media interquartile</b>	3.61	8.32	4.74	5.77

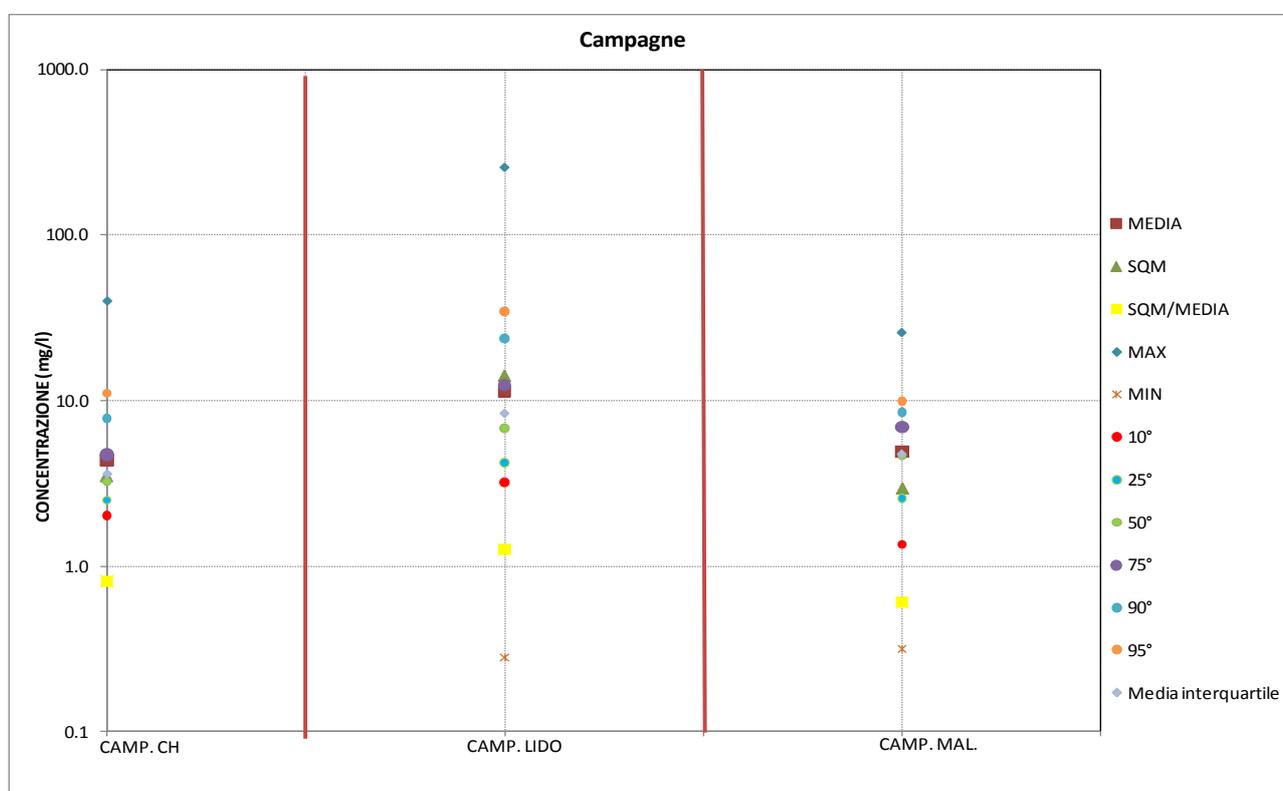


Figura 5.26 Andamento dei parametri statistici della concentrazione (rappresentati in scala logaritmica) misurata durante le campagne di monitoraggio nel periodo 2005-2010. Per una più facile lettura si suddivide il grafico in tre zone distinte, una per ogni bocca di porto.

Dalla Figura 5.26 si vede come i dati delle campagne di Lido siano più dispersi rispetto a quelli di Malamocco e Chioggia. Tale circostanza (confermata dal valore assai più elevato per Lido dello scarto quadratico medio) ha effetti pratici notevoli nella definizione dei “valori di soglia”, come sarà visto meglio nel successivo Capitolo 6.

Si osserva inoltre che i dati di Lido presentano valori massimi e medi più elevati: questo può essere dovuto al fatto che le campagne nella bocca di porto di Lido, per questioni logistiche, a differenza delle altre bocche, possono essere effettuate anche in condizioni di vento di bora di moderata intensità. Pertanto le concentrazioni rilevate durante questi eventi sono influenzate dal materiale risospeso dalla bora proveniente dai litorali creando intervalli di variabilità più elevati e anche valori medi più elevati rispetto alle misure effettuate nelle altre bocche.

### 5.7 Struttura dell'archivio dei dati

L'archivio dei dati, allegato al presente Rapporto, raggruppa le serie temporali di ciascuna delle otto stazioni. Le serie temporali sono organizzate in file, ciascuno dei quali contiene le acquisizioni di una singola stazione ed è identificato con la sigla della stazione stessa secondo lo schema della Tabella 5.1.

Ogni cartella, in formato Microsoft Excel comprende una serie di fogli che contengono:

- foglio di lavoro contenente tutti i dati in successione temporale (foglio identificato con la sigla della stazione p.e. “CHP - tutti”).
- un grafico di regressione della torbidità (FTU) in funzione della concentrazione di SPM (mg/l) nei campioni prelevati per la calibrazione del sensore ottico e la corrispondente equazione della retta di regressione (foglio identificato con la dicitura Calibrazione);
- un foglio di lavoro contenente l'intero insieme di dati utilizzati per la calibrazioni e la costruzione del grafico di regressione della torbidità (FTU) in funzione della concentrazione di SPM (mg/l) (foglio identificato con la dicitura Dati-Calibrazione).

## **6. DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA DELLA TORBIDITA' ALL'INTERNO DELLE BOCHE DI PORTO**

Si riportano di seguito i criteri a suo tempo adottati per definire i valori di soglia (“Definizione dei valori soglia della torbidità all’interno delle bocche di porto”, Studio B.6.72 B/1, settembre 2005; “Linee guida misure speditive”, Studio B.6.72 B/1, dicembre 2006; “Rapporto Finale”, Studio B.6.72 B/1, dicembre 2006)), e se ne discute l’eventuale opportunità di aggiornamento in base ai più recenti dati sperimentali acquisiti.

### **6.1 Definizione del limite della torbidità nel 2005**

Uno degli effetti della torbidità è la diminuzione di trasparenza e quindi la riduzione della profondità di penetrazione della radiazione fotosintetica, risorsa chiave per la crescita delle fanerogame e degli epifiti ma anche per la vita dei pesci. Per prevedere quindi l’effetto che la torbidità può avere sulla fanerogame è necessario conoscere la minima quantità di luce richiesta da ogni specie, il tempo in cui queste possono sopravvivere con bassi livelli luminosi e la relazione che intercorre tra la torbidità e la trasmissione della luce [Guidelines for Dredging, 2001].

La richiesta di luce può essere determinata sperimentalmente o mediante misure di intensità alla massima profondità dove si trovano le fanerogame; in letteratura [Marine Pollution Bulletin, 2006] si trova un ampio range di valori che varia da specie a specie ma anche all’interno di ogni specie. La relazione tra la torbidità e l’attenuazione della luce dovrebbe pertanto essere stabilita misurando entrambi i parametri all’interno di diversi *plume* causati dalle draghe; è però una relazione sito-specifica che dipende significativamente dal tipo di sedimento e anche dal background naturale. Le praterie di fanerogame sono entità dinamiche, la loro posizione e densità varia nel tempo e quindi anche gli effetti della torbidità dipendono dalle tipiche condizioni locali e dalle stagioni; sopportando periodi di alta torbidità naturale, hanno sviluppato una notevole resilienza e possono affrontare anche un aumento di frequenza di livelli più alti di torbidità.

Per quanto riguarda gli effetti diretti della torbidità sulle comunità animali si possono trovare in letteratura [Wilber and Clarke, 2001] i risultati di esperimenti di laboratorio in termini di percentuale di mortalità, in funzione sia della concentrazione (mg/l) sia dei giorni di persistenza che diventano quindi i parametri significativi indispensabili per fissare dei limiti ammissibili.

Per le specie ittiche di tipo estuarino come per esempio i branzini (sia adulti, sia uova) o per le vongole, i primi effetti si hanno per valori di torbidità superiori al centinaio di mg/l e per persistenze superiori ad un giorno. Nel caso delle bocche di porto tali situazioni si possono verificare nell’immediata vicinanza della draga.

In base ai dati sperimentali di mortalità e di danno, i valori ammissibili possono essere fissati in termini di “massimo assoluto” di concentrazione e di persistenza, eventualmente variabili con la distanza dalla draga. Un criterio alternativo è invece quello di fissare i valori ammissibili, ancora eventualmente variabili con la distanza dalla draga, in termini di “massima deviazione” dai valori naturali indisturbati di concentrazione e persistenza. Si sottolinea che entrambi i criteri risentono inevitabilmente di scelte di carattere “convenzionale” (ad es., quale grado di danno o di mortalità accettare e per quali organismi, con riferimento al primo criterio; ovvero, quanto ampia la zona da definire omogenea e quanto ampio lo scostamento da prendere rispetto alla situazione indisturbata, con riferimento al secondo criterio). Queste scelte possono venir fatte solo attraverso la “condivisione” fra esperti disciplinari e decisori finali.

Il secondo criterio è quello a suo tempo effettivamente adottato, dopo un confronto fra specialisti di idraulica e di biologia. Esso prevede come prima cosa, di limitare ad una zona di dimensioni sufficientemente ridotte (rispetto alla zona di interesse) quella all'interno della quale si ammette possa essere superato qualsiasi limite di torbidità (Zona di Impatto Totale). Questa zona, corrispondente al massimo pennacchio creato dalla draga, per essere praticamente ininfluyente e facilmente evitabile dai pesci, dovrà avere una superficie non superiore al 10% e una larghezza non superiore al 33% rispetto alla zona totale indisturbata, cioè coprire rispettivamente un'area massima di 50000 m<sup>2</sup> ed un'ampiezza massima di 75 m, quali che siano le velocità della corrente.

All'esterno della Zona d'Impatto Totale, inoltre, si può tollerare che la torbidità massima ammissibile ( $C_{\max}$ ) sia pari a quella superata il 10% delle volte in condizioni naturali e che la sua persistenza non superi le 6 ore (semiperiodo di marea). Conoscendo per ciascun torbidimetro la serie storica in condizioni naturali, il valore  $C_{\max}$  sarebbe fornito (per quel punto) dal 90° percentile della serie. Per rendere estendibile ad una più ampia zona (p.es. l'intera bocca) il valore fornito da un singolo torbidimetro, quest'ultimo sarà moltiplicato per il "coefficiente di variabilità spaziale", dato dal rapporto fra il valore mediano (50%, cioè con superamento equi-probabile) della concentrazione vigente nella zona e il valore mediano della concentrazione registrata dallo stesso torbidimetro.

In conclusione, la concentrazione ammissibile  $C_{\max}$  fuori della ZIT (Zona d'Impatto Totale) è così calcolata:

$$C_{\max} = C_{90}^R \cdot \frac{C_{50}^Z}{C_{50}^R}$$

dove:

$C_{90}^R$  è il 90° percentile della concentrazione misurata in una delle stazioni fisse della zona

$C_{50}^R$  è il 50° percentile della concentrazione misurata nelle stessa stazione

$C_{50}^Z$  è il 50° percentile della concentrazione "significativa" della zona, misurata durante numerose campagne di misura estese uniformemente sull'intera zona.

Nel 2005 il valore di  $C_{\max}$  è stato calcolato utilizzando la breve serie (Giugno 2004-Febbraio 2005) disponibile per l'unico torbidimetro collocato verso la metà canale di Lido (6044 dati), nonché tutte le campagne irregolarmente condotte fra il 2002 e il 2005 nelle due bocche di Lido e Chioggia (612 dati).

I valori così misurati:  $C_{50}^R=4,2$  mg/l,  $C_{90}^R=16,7$  mg/l e  $C_{50}^Z=7,6$  mg/l, hanno fornito il valore  $C_{\max}=30,2$  mg/l, sistematicamente utilizzato come riferimento per il monitoraggio della torbidità negli ultimi sei anni.

## 6.2 Ri-definizione del limite della torbidità nel 2011

Considerando che negli ultimi sei anni sono stati installati numerosi torbidimetri alle bocche di porto ed effettuate numerose altre campagne di misura della torbidità da imbarcazione, ci si può chiedere se i nuovi dati possono venire utilizzati per controllare ed eventualmente modificare i valori di soglia a suo tempo adottati. A questo scopo, si riportano nel seguito per ciascuna bocca di porto (Figure 6.1-6.3) le posizioni dei torbidimetri e le rotte seguite dalle imbarcazioni durante le campagne di misura; nella Tabella 6.1 sono presentati il numero dei dati raccolti in questi anni e le lunghezze complessive dei transetti eseguiti.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI



Figura 6.1 Rotte delle campagne di misura e stazioni fisse alla bocca di Lido.



Figura 6.2 Rotte delle campagne di misura e stazioni fisse alla bocca di Malamocco.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 6.3 Rotte delle campagne di misura e stazioni fisse alla bocca di Chioggia.

Tabella 6.1. Parametri rappresentativi delle campagne di monitoraggio effettuate nelle tre bocche di porto nel periodo 2005-2010

	LIDO	MALAMOCCO	CHIOGGIA
<b>nf:numero dati stazioni fisse</b>	447294	45736	191785
<b>num:numero dati campagne</b>	9831	2571	7207
<b>L:lunghezza totale transetti (m)</b>	3306	1311	1946
<b>Delta= L/num</b>	0.33	0.5	0.27

Come si vede dalla Tabella 6.1, il rapporto DELTA=L/num risulta molto piccolo (inferiore al metro) per tutte le tre le bocche. Le informazioni raccolte nel corso delle campagne (ancorché assai numerose) sono infatti ravvicinate e uniformi, in quanto sono concentrate nelle sezioni di interesse che vengono battute più spesso per valutare le variazioni nel campo di corrente nelle posizioni prossime alla zona dove sono alloggiare le paratoie o le sezioni adcp che fungono da controllo.

Inoltre tali transetti, tutti collocati nella parte centrale (e più regolare) del canale di porto, sono poco rappresentativi delle zone più "riparate" dalle onde e dalle correnti, caratterizzate da tempi di permanenza più elevati delle maggiori torbidità.

Questa particolarità dei dati raccolti nel periodo 2006-2011 è confermata dalla Figura 6.7 I valori  $C_{50Z}$  sono stati calcolati separatamente per i cinque anni e per le tre bocche, come pure congiuntamente per le tre bocche, in modo da mettere in evidenza l'influenza del parametro DELTA. Come si vede, i valori misurati tendono a crescere con l'aumentare di DELTA e ad aumentare linearmente con la funzione tanh (tangente iperbolica) di DELTA. Il valore asintotico di  $(C_{50Z})^*$  (per  $\tanh\text{DELTA}=1$ ) è quello che corrisponde al "massimo di informazione disponibile", ed è stato valutato per le tre bocche rispettivamente pari a 11.2 mg/l (Lido), 5.0 mg/l (Malamocco) e 5.5 mg/l (Chioggia) e. Il valore complessivo risulta pari a 7.6 mg/l, casualmente coincidente con la prima valutazione del 2005. Si nota come il  $(C_{50Z})^*$  relativo alla bocca di Lido sia maggiore rispetto a quello di Malamocco e Chioggia. Questo probabilmente è dovuto, come già spiegato nel paragrafo 5.6, al fatto che le campagne nella bocca di Lido vengono effettuate anche durante eventi

CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

di bora di moderata intensità pertanto le concentrazioni misurate possono essere più elevate in questo sito.

Per quanto riguarda l'eccessiva "uniformità" dei dati raccolti, dovuta alla scelta eccessivamente regolare dei transetti in termini planimetrici, è difficile valutarne quantitativamente l'effetto, ma sarà in ogni caso tale da aumentare ancora il  $C_{50}^Z$  nelle tre bocche.

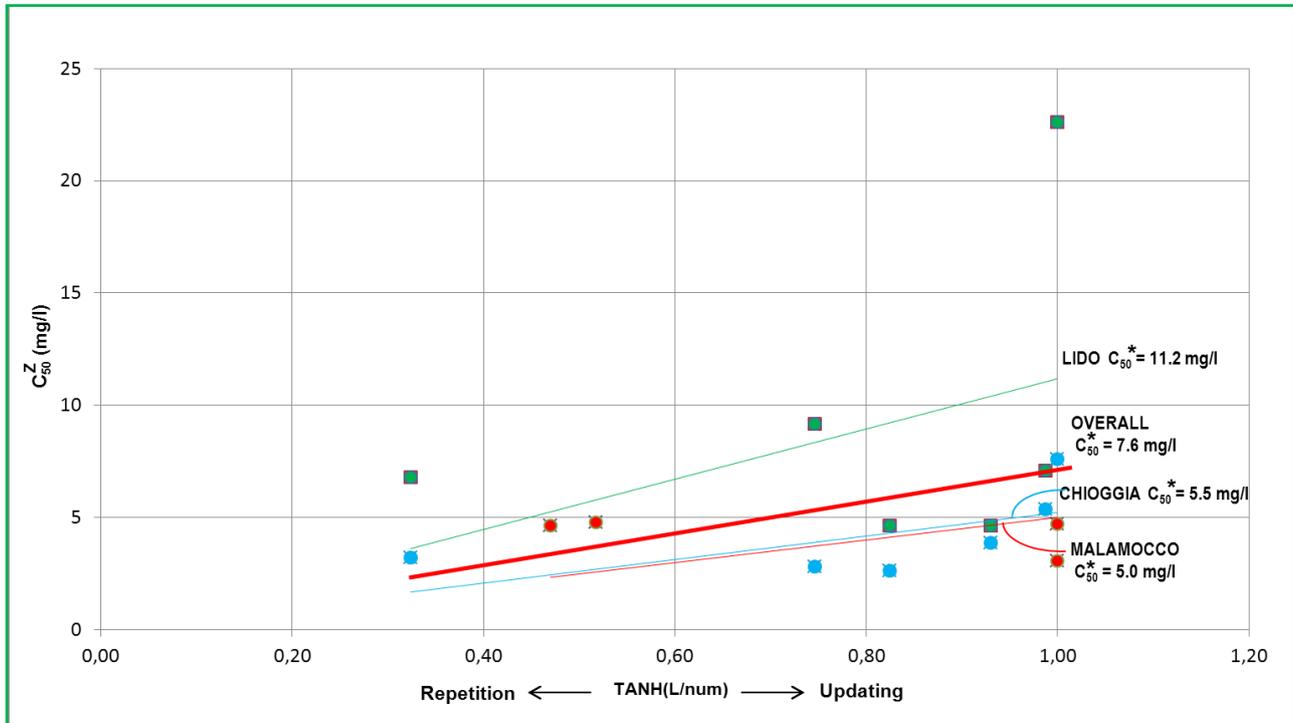


Figura 6.7 Relazione lineare tra i  $C_{50}^Z$  e la  $Tanh(L/num)$  e determinazione di  $(C_{50}^Z)^*$

I risultati dell'applicazione della formula  $C_{max} = C_{90}^R \cdot \frac{C_{50}^Z}{C_{50}^R}$ , ottenuti utilizzando i valori sopra calcolati di  $(C_{50}^Z)^*$  per ciascuna delle tre bocche e i valori di  $(C_{90}^R)$  e  $(C_{50}^R)$  ricavati dalle serie temporali annuali di ciascun torbidimetro sono presentati nella Tabella 6.2. Nella tabella si riportano per ogni stazione i valori di  $C_{max}$  calcolati anno per anno e la media calcolata su tutti gli anni e su tutte le stazioni di ogni bocca. Nell'ultima riga si riporta inoltre la media su tutte le stazioni.

## CORILA

## ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tabella 6.2. Valori soglia calcolati per ogni stazione fissa e per ogni bocca.

STAZIONI FISSE	VALORI SOGLIA ANNUALI						MEDIA INTERANNUALE DEI VALORI SOGLIA				VALORI SOGLIA MEDI NELLA BOCCA			
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	MEDIA	SQM	MEDIA -SQM	MEDIA +SQM	MEDIA	SQM	MEDIA -SQM	MEDIA +SQM
LIM	60.11	104.71	47.64	31.42	31.99		55.17	30.15	25.02	85.32	32.69	19.45	13.24	52.14
LMR	27.87	24.28	31.19	29.61			28.24	2.97	25.27	31.20				
LMR_2		26.22	29.17	26.62			27.34	1.60	25.73	28.94				
LSA		20.81	20.98	29.03			23.61	4.70	18.91	28.31				
LTP	23.17	20.66	21.37	25.10			22.58	1.99	20.59	24.56				
LSN	21.91						21.91							
MAM	32.13		19.10	16.21	14.10	14.36	19.18	7.51	11.67	26.69	14.43	6.60	7.83	21.03
MAP	10.89	9.33	10.88	10.62	11.43	9.65	10.47	0.81	9.66	11.27				
CHP	16.32	11.64	13.27	18.28	14.59	14.20	14.72	2.33	12.39	17.05	16.51	5.20	11.31	21.71
CHM	27.27						27.27							
MEDIA	27.46	31.09	24.20	23.36	18.03	12.74	25.05	6.51	18.66	31.67	21.21	6.60	10.79	31.63

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Considerando le seguenti circostanze:

- verosimile errore per difetto nella valutazione di ( $C_{50}^Z$ ),
- numero necessariamente limitato di stazioni torbiometriche,
- conseguenti incertezze nel classificare in dettaglio le possibili sotto-zone lagunari,
- carattere comunque "convenzionale" dei criteri di tolleranza e del valore finale,
- avvenuta condivisione fra esperti dei criteri e dello stesso valore finale,
- familiarità degli operatori e dei controllori con i criteri già accettati

si ritiene che i risultati ottenuti non sono tali da autorizzare un abbassamento del valore di soglia attualmente vigente ( $C_{max}=30$  mg/l), né tantomeno una differenziazione di tale valore bocca fra le tre bocche oppure fra zona e zona nella laguna.

Dall'analisi della tabella risulta infatti una media complessiva (ultima riga, settima colonna) dei valori di soglia pari a  $(25\pm 5)$  mg/l, con qualche indizio di variazione secondo la bocca di porto (Lido>Chioggia>Malamocco) e secondo la posizione delle stazioni (Mare>Laguna>Canale di bocca), pure dell'ordine di 5 mg/l.

## 7. CONCLUSIONI

Il lavoro svolto presso le bocche di porto di Chioggia, Malamocco e Lido durante il periodo Maggio 2010 – Aprile 2011, per la stima della produzione di torbida e del trasporto di materiale rilasciato durante il dragaggio e rilascio pietrame, si è focalizzato da una parte sul monitoraggio dei lavori per la costruzione della nuova diga foranea nella zona antistante la Bocca di Porto di Lido, dall'altra sullo studio delle condizioni idrodinamiche ed i relativi fenomeni di trasporto solido che caratterizzano le aree prospicienti alle zone di cantiere del MOSE. Per quanto riguarda la prima attività, in particolare il controllo delle attività delle imbarcazioni impegnate in dragaggio e scarico pietrame e quindi della torbidità prodotta, non si è evidenziata alcuna criticità che potesse alterare l'equilibrio degli ecosistemi lagunari prossimi alle zone di cantiere. Mentre per quanto riguarda l'attività di studio delle correnti e dei sedimenti che transitano attraverso i canali delle bocche di porto sono stati raccolti numerosi dati che vanno così ad integrare la serie storica, per altro già ben fornita, di dati correntometrici e granulometrici.

I risultati delle attività dedicate allo studio del meccanismo di trasporto solido in sospensione e al fondo della colonna d'acqua effettuate alle bocche di porto della laguna di Venezia evidenziano l'importanza dell'idrodinamica, in presenza di una escursione mareale sostenuta, nel determinare la tipologia di materiali che vengono trasportati dalle aree interne della laguna fino al mare; infatti, nella fase centrale del calante di marea, quando le velocità della corrente si fanno più elevate, vengono risospesi e trasportati i materiali più grossolani, mentre i materiali più fini si riscontrano tendenzialmente nelle fasi iniziale e finale del calante.

Per quanto riguarda la componente sabbiosa indagata mediante l'utilizzo delle trappole *Helley-Smith* è stato possibile osservare come questa frazione si concentri nelle zone più prossime al fondale, con una evidente differenziazione tipologia nelle proprietà di materiali trasportati lungo la colonna d'acqua; infatti, dalla superficie al fondale i materiali trasportati si fanno maggiormente grossolani e poveri di sostanza organica. Inoltre, le concentrazioni della componente sabbiosa aumentano sensibilmente in prossimità del fondo. È questo il caso in particolare della stazione localizzata in corrispondenza della bocca di porto di Lido in cui il trasporto di materiali sabbiosi è risultato particolarmente importante, soprattutto alle maggiori profondità; anche la tipologia dei materiali trasportati alla bocca di porto di Lido appare relativamente differente rispetto a quella della bocca di porto di Chioggia; infatti, il materiale è risultato particolarmente grossolano e quasi privo di sostanza organica.

Per quanto riguarda la misurazione della torbidità in continuo mediante stazioni fisse, anche quest'anno è stata raggiunta un'alta percentuale di dati validati grazie sia alle operazioni di pulizia delle sonde sia alle procedure di filtrazione e correzione applicate alle serie temporali. Fa eccezione la stazione MAM la cui mancanza di dati è dovuta ad un incidente occorso in Novembre 2010.

Dall'analisi dei dati validati è risultata e l'assenza di superamenti della soglia di 30 mg/l dovuti ad attività di scavo. È evidente anche una diversa risposta delle due stazioni considerate nell'analisi statistica (CHP e MAP) alla forzante meteorologica più influente per quanto riguarda la risospensione dei sedimenti del fondo, e cioè il vento di bora; infatti i picchi di concentrazione rilevati nella stazione CHP risultano maggiori dei picchi misurati alla stazione MAP.

Si è cercato inoltre di capire se i fiumi Brenta e Adige, che sfociano nelle vicinanze della bocca di Chioggia, possono avere un'influenza sulla misura della torbidità della stazione CHP. Sebbene non emerga un'evidente relazione diretta tra i valori (medi settimanali) di torbidità e portata dei fiumi, non si può peraltro escludere che, per le ragioni spiegate nel testo (cfr. Cap. 5.4) fra queste grandezze possa sussistere una correlazione più complessa.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Un'importante novità rispetto ai precedenti rapporti è l'utilizzo di tutte le serie temporali dal 2005 al 2011 dei dati dei torbidimetri fissi per un'analisi della variabilità temporale e spaziale della concentrazione dei solidi sospesi; è infatti emersa una notevole variabilità temporale interannuale dei parametri statistici della concentrazione ma non è evidente alcuna loro sistematica tendenza ad una crescita o decrescita in funzione del tempo. Questo implica che la realizzazione delle opere alle bocche di porto non ha contribuito ad aumentare significativamente la concentrazione di solidi sospesi.

Dalla stessa analisi emerge inoltre che gli andamenti dei parametri statistici della concentrazione dei solidi sospesi non appaiono molto consistenti fra una stazione e l'altra, indicando una non trascurabile variabilità spaziale in termini meteo-marini fra le diverse stazioni. Tale variabilità spaziale è confermata anche dall'analisi dei parametri statistici relativi alle misure effettuate durante le campagne con ADCP montato su imbarcazione, svolte dal 2005 al 2010 in assenza di attività in grado di causare risospensione in tutte le bocche di porto.

Un'altra importante novità rispetto ai rapporti degli anni precedenti è la diversa procedura adottata per il calcolo del valore limite di 30 mg/l, stabilito all'inizio delle attività di monitoraggio, ed effettuata utilizzando sia tutte le serie temporali dal 2005 al 2011 dei torbidimetri in ogni bocca, sia tutte le campagne con ADCP montato su imbarcazione svolte dal 2005 al 2010 in assenza di attività in grado di causare risospensione. Seguendo lo stesso procedimento utilizzato a suo tempo ma introducendo un metodo più accurato di valutazione del coefficiente di variabilità spaziale, sono stati trovati dei risultati che confermano comunque il limite massimo già adottato e utilizzato fino ad ora di 30 mg/l.

## BIBLIOGRAFIA

Arpav, *Dati di portata dei fiumi Bacchiglione, Adige, Brenta, Gorzone*, Dipartimento Regionale Per La Sicurezza Del Territorio, Servizio Idrologico Regionale, Belluno.

D.H. Wilber and D.G. Clarke, *Biological Effects of Suspended Sediments: A review of Suspended Sediment Impacts on Fish and Shellfish with Relation to Dredging Activities in Estuaries*, North American Journal of Fishery Management, 21:855-875, 2001.

Di Silvio G., Nones M., Bisiacco M., 2010. *Predicting the deviations from the curve of sediment transport vs water flow*. Proceedings of the 11th International Symposium on River Sedimentation (ISRS), Stellenbosch, South Africa.

EPA, *Guidelines for Dredging*, 2001.

Helley, E.J. and Smith, W., 1971. *Development and Calibration of a Pressure-Difference Bed Load Sampler*. U.S. Geological Survey Open File Report, Washington, USA.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2005. Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Definizione dei valori soglia della torbidità all'interno delle bocche di porto. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2006. Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Linee guida speditive. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2006. Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2009. Studio B.6.72 B/4 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2010. Studio B.6.72 B/5 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

*Marine Pollution Bulletin*, Volume 52, Issue 12, 2006, Elsevier.