



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/4**

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

Contratto prot.n. 18121 si/gce/fbe

Documento **MATRICE: ACQUA  
RAPPORTO FINALE**

Versione **1.0**

Emissione **1 Luglio 2009**

Verifica

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.....	7
<b>2. STIMA DELLA PRODUZIONE DI TORBIDA E DEL TRASPORTO DI MATERIALE RILASCIATO DURANTE IL DRAGAGGIO, MISURE GRANULOMETRICHE DEL PARTICOLATO SOSPESO E MISURE CORRENTOMETRICHE .....</b>	<b>21</b>
2.1 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Lido .....	21
2.1.1 <i>Diametri caratteristici dei sedimenti.....</i>	21
2.1.2 <i>Classificazione granulometrica del particellato solido in sospensione .....</i>	24
2.1.3 <i>Concentrazione SPM: Suspended Particulate Material .....</i>	25
2.1.4 <i>Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi .....</i>	26
2.1.5 <i>Caratteristiche idrodinamiche e sedimentologiche nel Canale retrostante l'Isola Nuova .....</i>	28
2.2 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Malamocco .....	30
2.2.1 <i>Diametri caratteristici dei sedimenti.....</i>	30
2.2.2 <i>Classificazione granulometrica del particellato solido in sospensione .....</i>	31
2.2.3 <i>Concentrazione SPM: Suspended Particulate Material .....</i>	33
2.2.4 <i>Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi .....</i>	34
2.2.5 <i>Monitoraggio attività di scavo della draga "Destriero Primo" .....</i>	36
2.2.6 <i>Monitoraggio scogliera -lato mare- del bacino di evoluzione della conca di navigazione.....</i>	38
2.2.7 <i>Megavortice nei pressi del bacino di evoluzione della conca di navigazione .....</i>	39
2.3 Campagne di Monitoraggio: bocca di porto di Chioggia.....	40
2.3.1 <i>Diametri caratteristici dei sedimenti.....</i>	40
2.3.2 <i>Frazioni granulometriche del particellato solido in sospensione.....</i>	41
2.3.3 <i>Concentrazione SPM: Suspended Particulate Material .....</i>	42
2.3.4 <i>Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi .....</i>	43
<b>3. INDAGINE DETTAGLIATA SULLA DISTRIBUZIONE E SULLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SOSPESI IN SEZIONI DI INTERESSE .....</b>	<b>45</b>
3.1 Sommario delle campagne di misura effettuate.....	45
3.2 Condizioni mareali riscontrate durante le attività di misura .....	45
3.3 Caratteristiche granulometriche e concentrazione del particellato solido in sospensione alle bocche di porto di Lido, Chioggia e Malamocco.....	47
3.4 Misure granulometriche del particellato solido in sospensione eseguite in situ nella colonna d'acqua .....	51
3.4.1 <i>Granulometrie del 15 e 16 Ottobre: misure in situ, bocca di porto di Malamocco .....</i>	51
3.5 Caratteristiche del campo di velocità e della concentrazione di particellato solido in sospensione.....	54

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

3.5.1 *Misure idrodinamiche e di concentrazione del particolato solido in sospensione registrate in corrispondenza dei punti d'interesse alla bocca di porto di Lido nei giorni 4 e 5 Giugno 2008*..... 54

<b>4. INDAGINE DEL MECCANISMO DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE E AL FONDO</b> .....	<b>61</b>
4.1 Attività di misura.....	61
4.2 Campagna ISCH, 25-26 Settembre 2008 .....	63
4.2.1 <i>Granulometrie del 25 Settembre: misure in situ</i> .....	65
4.2.2 <i>Studio sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo</i> .....	67
4.3 Campagna ISMA, 15-16 Ottobre 2008.....	71
4.3.1 <i>Granulometrie del 15 e 16 Ottobre: misure in situ</i> .....	73
4.3.2 <i>Studio sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali sospesi e del trasporto al fondo</i> .....	77
4.4 Campagna Lfeb, 10 - 11 Febbraio 2009.....	78
4.4.1 <i>Granulometrie del 10 e 11 Febbraio: misure in situ</i> .....	79
4.4.2 <i>Studio sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali sospesi e del trasporto al fondo</i> .....	83
4.5 Conclusioni .....	84
<b>5. RILEVAZIONE DELLA TORBIDITÀ IN CONTINUO</b> .....	<b>85</b>
5.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.....	85
5.2 Analisi dei dati .....	91
5.3 Serie temporali della torbidità/SPM.....	101
5.4 Analisi dei picchi di torbidità.....	120
5.5 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche.....	123
5.6 Struttura dell'archivio dei dati.....	124
5.7 Appendice: parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite negli anni di monitoraggio .....	124
<b>6 ANALISI DELLE DIFFERENZE DI CONCENTRAZIONE MEDIA IN FASE DI RIFLUSSO E DI FLUSSO E DEI CORRISPONDENTI GRADIENTI SPAZIALI DI CONCENTRAZIONE INTERMAREALE</b> .....	<b>126</b>
<b>7 CONCLUSIONI</b> .....	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>130</b>

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

Al presente documento hanno contribuito, per le attività di raccolta dati di campo e la stesura del presente rapporto:

- F. Costa (ISMAR - CNR, Venezia)
- C. Dabalà (CORILA)
- C. Dall' Angelo (IMAGE - UNIPD)
- G. Di Silvio (IMAGE - UNIPD)
- R. Fiorin (LagunaProject)
- G. Lorenzetti (ISMAR - CNR, Venezia)
- G. Manfè (ISMAR - CNR, Venezia)
- M. Meneghin (ISMAR - CNR, Venezia)
- F Riccato (LagunaProject)
- R. Ruggeri (ISMAR - CNR, Venezia)
- F. Simionato (ISMAR - CNR, Venezia)
- L. Zaggia (ISMAR - CNR, Venezia)

## 1. INTRODUZIONE

Il Disciplinare Tecnico dello Studio B.6.72 B/4, 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 (draghe);

B) variabilità spaziale e temporale del particellato 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. Per le bocche di porto di Lido e Chioggia, la sensibile riduzione delle attività di dragaggio ha consentito di riorientare una parte dell’attività sperimentale nella direzione dello studio del campo di corrente e delle caratteristiche del materiale solido in sospensione, 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 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.

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 effettuate nel periodo Agosto 2008-Aprile 2009 delle quali era stato peraltro riferito in dettaglio nei Rapporti di campagna già consegnati. I risultati vengono poi brevemente descritti nei successivi paragrafi, distinguendo rispettivamente quelli relativi alla bocca di porto di Lido (2.2), di Malamocco (2.3) e di Chioggia (2.4). I risultati dei rilievi del particellato sospeso nella colonna d’acqua con l’apparecchiatura LISST (*Laser In Situ Scattering and Trasmisometry*) sono presentati in questo stesso capitolo.

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 otto stazioni fisse (sei situate nei canali di accesso alle bocche, due ubicate poco fuori della bocca di Lido e di Malamocco) nel periodo Maggio 2008-Aprile 2009. 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.

Il capitolo 6 riporta un’analisi dei valori di concentrazione derivanti dai rilievi in continuo delle stazioni torbidimetriche (da Aprile 2005 ad Aprile 2008) con lo scopo di effettuare una valutazione del flusso netto di sedimenti attraverso le tre bocche. Infatti, le differenze tra i valori medi della

concentrazione in fase di riflusso (Ce) e di flusso (Cf) danno un'idea (almeno come segno) del flusso netto di sedimenti: in uscita (positivo) o in ingresso (negativo). Si sottolinea comunque che per una valutazione quantitativa dei flussi netti bisogna tener conto della portata liquida scambiata.

Il CORILA, pur mantenendo la supervisione tecnico-scientifica ed il coordinamento, anche attraverso un Responsabile Scientifico appositamente incaricato, ha affidato all'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Venezia (ISMAR-CNR Venezia) la realizzazione delle attività necessarie al Piano di Monitoraggio.

### 1.1 Introduzione sulle campagne di misura

Nei pressi delle tre bocche di porto della laguna di Venezia sono state effettuate durante il biennio 2008/2009 numerose campagne volte allo studio delle condizioni idrodinamiche e alla caratterizzazione del particolato 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 si sono evidenziati per interesse e importanza. Tali tipologie si possono schematicamente riassumere in:

1. Campagne di monitoraggio: le attività sperimentali si sono svolte coprendo l'intero spazio marittimo della 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 di particolarità che durante la campagna si sono manifestate. In particolare si è puntata l'attenzione alle modificazioni indotte sulle concentrazioni del particolato solido sospeso da parte delle macchine operatrici che talvolta operano dragando oppure rilasciando pietrame nell'area del canale di navigazione. Si sono evidenziate inoltre, con misure *ad hoc*, situazioni di rilevanza che sono emerse durante le indagini come ad esempio il vortice che si instaura durante le differenti condizioni mareali nel bacino di evoluzione della conca di navigazione presso la bocca di porto di Malamocco. Sono state effettuate 6 campagne del tipo "monitoraggio", identificate con una sigla: "campagna Malamocco" effettuata presso la bocca di porto di Malamocco nell'Agosto 2008, CHS8 nel Settembre 2008 a Chioggia, LI10 nell'Ottobre 2008 a Lido, MA11 nel Novembre 2008 a Malamocco, LI02 a Febbraio 2009 a Lido e CH49 nell'Aprile 2009 Chioggia.
2. Studio 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: ISLI nel Giugno 2008 a Lido, ISMA nell'Ottobre 2008 a Malamocco e ISCH nel Settembre 2008 presso la bocca di porto di Chioggia.
3. Studio sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali 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. Ad esclusione della campagna Lfeb svoltasi in Febbraio 2009 presso la bocca di porto di Lido, le attività di misura sono state effettuate in concomitanza alle campagne di studio sezioni d'interesse: ISCH di Settembre 2008 presso la bocca di porto di Chioggia e ISMA di Ottobre 2008 a Malamocco.

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 304

fissata solidalmente al campionatore Rosette per mezzo del quale sono stati raccolti i campioni alle differenti quote utili per la calibrazione del segnale di *backscatter*. L'utilizzo della sonda Rosette non è avvenuto nelle campagne precedenti a Marzo 2009, perciò la campionatura nel periodo precedente è stata effettuata manualmente e con bottiglia *Niskin*.

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 solido", è stata utilizzata una metodologia di indagine particolare oltre alle tecniche sopracitate che sarà trattata esaurientemente nel capitolo specifico riportato di seguito (cap. 4).

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

Di seguito, in Tabella 1.1 e 1.2, vengono riportati il numero di transetti effettuati, i profili eseguiti mediante sonda multiparametrica ed il numero di prelievi d'acqua effettuati durante lo svolgersi di tutte le attività eseguite nelle tre bocche di porto relativamente allo studio B.6.72 B/4.

I numeri che caratterizzano le attività di campagna (Tabella 1.3) sono particolarmente importanti e rispecchiano un notevole sforzo sia in termini di lavoro, con 146 ore-uomo di effettiva operatività in campo, sia in termini di quantità di informazioni scientifiche raccolte: 364 transetti ADCP, 192 profili CTD, 28 profili con trappole Helley-Smith utilizzate durante le campagne dedicate al trasporto solido, 510 campioni d'acqua e 116 di sedimento raccolti per le analisi granulometriche e per la stima dei solidi sospesi. In totale sono stati indagati 21 calanti di marea, 13 crescenti e due inversioni mareali.

Il numero delle rilevazioni ed i molteplici scenari indagati ha 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 1.1. 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 Malamocco</b>					
26/08/2008	11.00 - 14.00	7	3	6	Inversione
27/08/2008	12.00 - 14.00	6	3	6	Inversione
28/08/2008	06.00 - 14.00	21	12	25	Calante (CL) Crescente (CR)
29/08/2008	07.00 - 16.00	12	6	14	Calante (CL) Crescente (CR)
<b>Campagna CHS8</b>					
16/09/2008	8.00 - 10.00	6	0	8	Crescente (CR)
	13.00 - 15.00	6	1	8	Calante (CL)
17/09/2008	8.00 - 10.00	14	7	18	Crescente (CR)
	12.00 - 14.00	4	2	6	Calante (CL)
18/09/2008	07.00 - 11.00	14	7	19	Crescente (CR)
	12.00 - 14.00	6	3	8	Calante (CL)
19/09/2008	07.00 - 11.00	16	8	22	Crescente (CR)
<b>Campagna LI10</b>					
21/10/2008	8.00 - 17.00	Installazione S4 +12	7	18	Calante (CL)
22/10/2008	09.00 - 14.00	12	7	18	Calante (CL)
23/10/2008	08.00 - 11.00	12	7	18	Calante (CL)
	14.00 - 17.00	12	7	18	Crescente (CR)
<b>Campagna MA11</b>					
04/11/2008	07.00 - 15.00	10	5	15	Crescente (CR) Calante (CL)
05/11/2008	07.00 - 15.00	8	4	12	Calante (CL)
06/11/2008	07.00 - 15.00	14	7	21	Calante (CL)
<b>Campagna LI02</b>					
24/02/2009	10.00 - 16.00	14	8	21	Calante (CL)
25/02/2009	10.00 - 14.00	10	6	15	Calante (CL)
26/02/2009	8.00 - 11.00	10	6	15	
	12.00 - 15.00	10	6	15	Crescente (CR)

## 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 CH49</b>					
07/04/2009	07.00 - 13.00	6	3	8	Calante (CL)
08/04/2009	06.00 - 14.00	20	9	24	Crescente (CR) Calante (CL)
09/04/2009	06.00 - 15.00	18	9	24	Crescente (CR)

Tabella 1.2. Attività svolte durante le campagne di indagine sezioni di interesse e trasporto solido presso le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.

Data	Ora UT	Transetti ADCP	Profili CTD	Campioni	Marea
<b>Campagna ISLI</b>					
04/06/2008	08.00 - 11.00	11	12	33	Crescente (CR)
	13.00 - 14.00				Calante (CL)
05/06/2008	07.00 - 11.00	14	16	44	Crescente (CR)
	12.00 - 14.00				Calante (CL)
<b>Campagna ISCH + Trasporto Solido</b>					
25/09/2008	09.00 - 14.00	10	5 4 trappole	9 acqua 16 sedimento	Calante (CL)
26/09/2008	09.00 - 16.00	12	6 5 trappole	12 acqua 20 sedimento	Calante (CL)
<b>Campagna ISMA + Trasporto Solido</b>					
15/10/2008	09.00 - 15.00	9	5 4 trappole	15 acqua 30 sedimento	Calante (CL)
16/10/2008	09.00 - 15.00	10	5 5 trappole	15 acqua 30 sedimento	Calante (CL)
<b>Campagna Lfeb Trasporto Solido</b>					
10/02/2009	11.00 - 16.00		5 trappole	20 sedimento	Calante (CL)
11/02/2009	11.30 - 16.00		5 trappole	20 sedimento	Calante (CL)

## CORILA

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

Tabella 1.3. Sintesi delle attività sperimentali effettuate durante le attività inerenti al progetto B.6.72 B/4.

<b>Data</b>	<b>Ora UT</b>	<b>Transetti ADCP</b>	<b>Profili CTD</b>	<b>Campioni</b>	<b>Marea</b>
<b>Totale</b>	146 ore-uomo di misura	346 transetti	192 profili CTD 28 profili trappole Helley-Smith	510 campioni d'acqua 116 campioni di sedimento	21 Calanti 13 Crescenti 2 Inversioni

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

Nelle Figure 1.1 - 1.9 sono riportate le mappe (ortofoto, volo Settembre 2007 Magistrato alle Acqua di Venezia) in cui sono state inserite le sezioni, i punti notevoli e i transetti effettuati durante ciascuna campagna, al fine di raccogliere le informazioni necessarie alla comprensione delle dinamiche intercorse tra correnti mareali e trasporto del particolato solido.

In particolare, per quanto riguarda le campagne di monitoraggio, in Figura 1.1, che si riferisce alla campagna Malamocco del 26 - 29 Agosto 2009, si possono riconoscere i transetti effettuati lungo le sezioni consuete (96→100, DB→DS e DF→FS), i transetti effettuati per monitorare una draga operante nei pressi del punto P (V1→R1 e V2→R2) e il tracciato utilizzato per stimare l'eventuale trasporto di materiale attraverso la scogliera diga-sud. La Figura 1.2 mostra le sezioni indagate durante le campagne di monitoraggio effettuate a Chioggia il 16 - 19 Settembre 2008 (CHS8) e il 7 - 9 Aprile 2009 (CH49). La Figura 1.3 mostra la mappa con le sezioni d'indagine della campagna LI10 del 21 - 23 Ottobre 2008 in cui, oltre alle sezioni lungo il Canale di Treporti e San Nicolò, si è approntato un punto misura nei pressi del canale retrostante l'Isola Nuova (punto 150) attraverso la messa in funzione di apparecchiatura S4 posizionata al fondo. La Figura 1.4 mostra le sezioni investigate nella campagna MA11 del 4 - 6 Novembre 2008. Durante la campagna LI02 del 24 - 26 Febbraio 2009, le cui sezioni sono inserite in Figura 1.5, non è stata effettuata alcuna attività sperimentale nei pressi dell'Isola Nuova, ma si è intensificato lo studio del canale principale inserendo una nuova sezione di misura (84→85).

Per quanto concerne le campagne di studio delle sezioni di interesse e del trasporto solido in sospensione e al fondo, le Figure 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9 mostrano rispettivamente: la sezione di interesse nella bocca di Lido del 4-5 Giugno 2008 (campagna ISLI, studio dettagliato sezioni di interesse) con i 4 punti prelievo (83, VERDE, ADCP e ROSSO); la sezione di interesse nella bocca di Chioggia del 25-26 Settembre 2008 (campagna ISCH, studio dettagliato sezioni di interesse + trasporto solido) con i punti di interesse C1, C1BG e il punto di prelievo 0192 delle trappole Helley-Smith; le sezioni di interesse nella bocca di porto di Malamocco del 15-16 Ottobre 2008 (campagna ISMA, studio dettagliato sezioni di interesse + trasporto solido) con i due punti di prelievo delle trappole Halley-Smith (punti 201 e 202); la sezione (82→80) con i punti di interesse e di prelievo delle trappole Helley-Smith (T) della campagna Lfeb del 10 - 11 Febbraio 2009.



Figura 1.1. Mappa dei punti notevoli, sezioni d'interesse e transetti investigativi della campagna a Malamocco del 26 - 29 Agosto 2009 (campagna di monitoraggio "Malamocco").



Figura 1.2. Mappa dei punti notevoli e sezioni d'interesse delle campagne di monitoraggio effettuate a Chioggia il 16 - 19 Settembre 2008 (campagna di monitoraggio CHS8) e il 7 - 9 Aprile 2009 (campagna di monitoraggio CH49).



Figura 1.3. Mappa dei punti notevoli e sezioni d'interesse della campagna alla bocca di Lido il 21 - 23 Ottobre 2008 (campagna di monitoraggio LI10).



Figura 1.4. Mappa dei punti notevoli e sezioni d'interesse della campagna del 4 - 6 Novembre 2008 a Malamocco (campagna di monitoraggio MA11).



Figura 1.5. Mappa dei punti notevoli e sezioni d'interesse della campagna del 24 - 26 Febbraio 2009 alla bocca di Lido (campagna di monitoraggio LI02).



Figura 1.6. Mappa dei punti notevoli e sezione d'interesse della campagna del del 4-5 Giugno 2008 a Lido (campagna di indagine sezioni di interesse ISLI).



Figura 1.7. Mappa dei punti notevoli e sezione d'interesse della campagna a Chioggia del 25-26 Settembre 2008 (campagna di indagine sezioni di interesse e trasporto solido ISCH).



Figura 1.8. Mappa dei punti notevoli e sezioni d'interesse della campagna a Malamocco del 15-16 Ottobre 2008 (campagna di indagine sezioni di interesse e trasporto solido ISMA).



Figura 1.9. Mappa dei punti notevoli e sezioni d'interesse della campagna del del 10 - 11 Febbraio 2009 a Lido (campagna di indagine trasporto solido Lfeb).

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

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

Come si può ravvisare dalle Figure 1.3 e 1.5 la bocca di porto di Lido, data la sua complessità dal punto di vista idrodinamico vista anche la costruzione dell'Isola Nuova, 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 Diametri caratteristici dei sedimenti

Negli istogrammi rappresentati in Figura 2.1 e 2.2 si possono confrontare i valori caratteristici del d50 ricavato per i due canali di marea, quelli di Lido San Nicolò e di Lido Treporti, ottenuti dalle analisi granulometriche effettuate con strumentazione LISST sui campioni collezionati. In generale si può affermare che i diametri caratteristici del particolato solido sospeso che vengono trasportati dalla corrente durante la fase del calante di marea sono in generale Maggiori rispetto quelli che transitano invece durante il crescente. Più precisamente il valore modale che il d50 assume durante il calante di marea è il 30 - 35% Maggiore rispetto il valore che esso assume durante il crescente indipendentemente dal canale considerato. Confrontando i risultati che si hanno per i due differenti canali, invece, si può altresì affermare che il d50 modale del particellato solido sospeso che transita attraverso il canale di Treporti è Maggiore di circa il 5 - 8% di quello che transita attraverso il canale di San Nicolò.

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

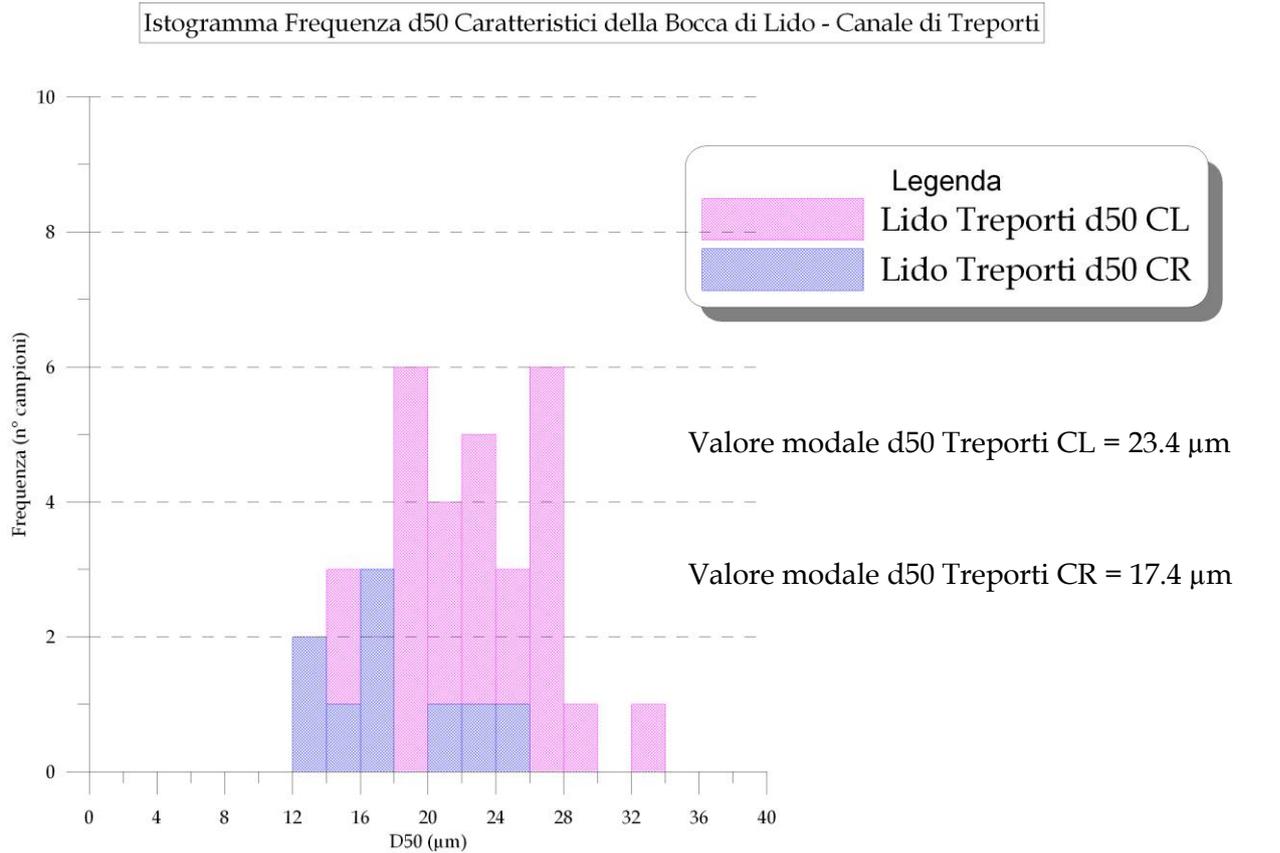


Figura 2.1. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici del canale di Treporti. bocca di porto di Lido. CR e CL rispettivamente indicano il Crescente di marea e il CaLante.

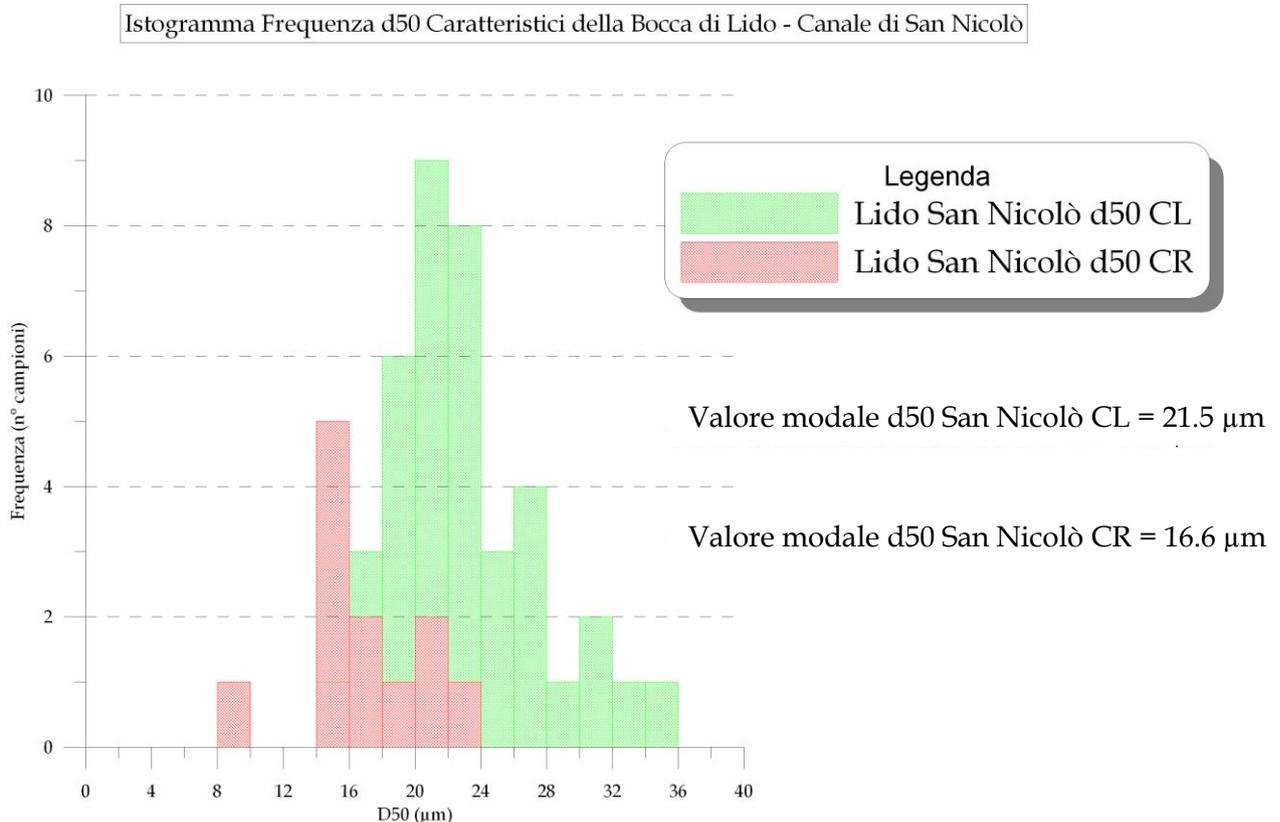


Figura 2.2. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici del canale di San Nicolò. bocca di porto di Lido. CR e CL rispettivamente indicano il crescente di marea e il calante.

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

Prendendo in considerazione tutte le analisi effettuate sui campioni raccolti nei pressi della bocca di porto di Lido, compreso quindi il canale principale, si ricava, per quanto riguarda il d50 caratteristico, l'istogramma di Figura 2.3 Il valore modale che esso assume durante la fase di marea crescente è di 17.6  $\mu\text{m}$  contro i 21.5  $\mu\text{m}$  della fase del calante.

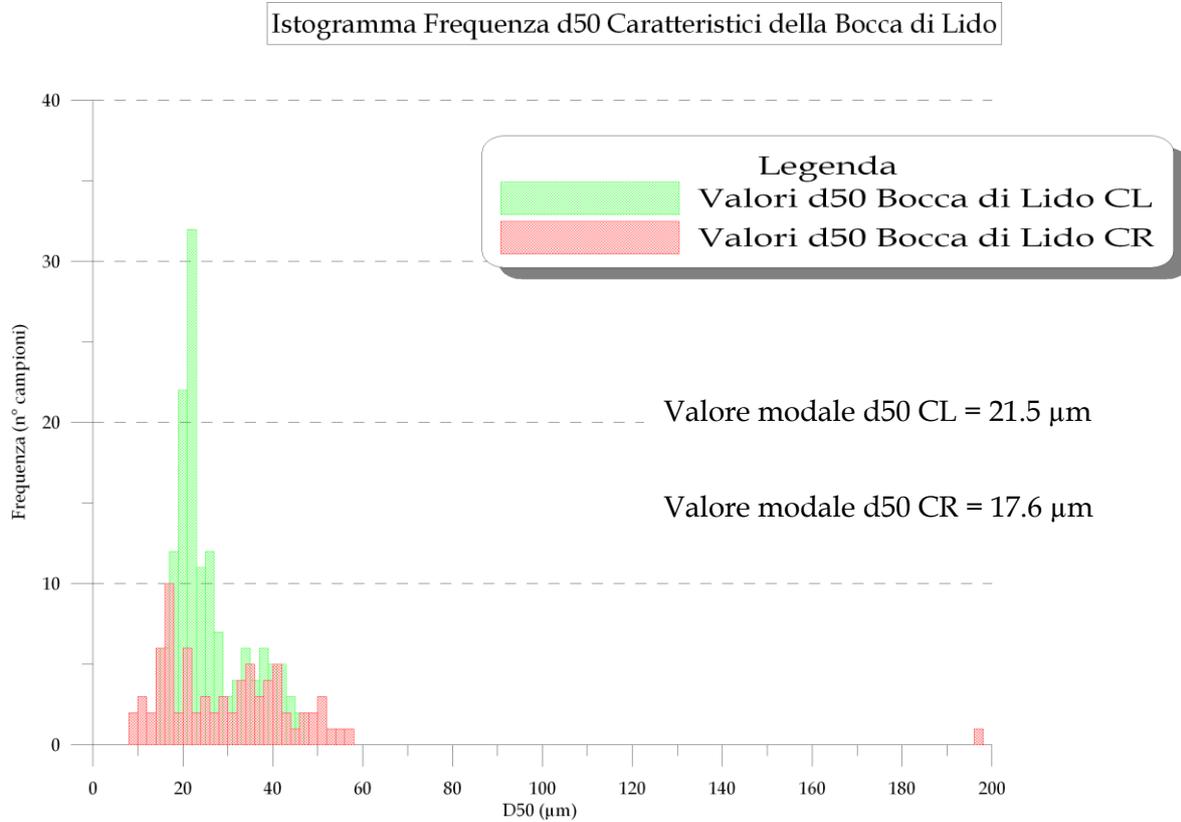


Figura 2.3. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici del canale di San Nicolò. bocca di porto di Lido. CR e CL rispettivamente indicano il crescente di marea e il calante.

2.1.2 Classificazione granulometrica del particolato solido in sospensione

I materiali campionati durante le campagne di monitoraggio risultano avere un omogeneità molto spinta; infatti la loro quasi totalità può essere classificata come limi trovandosi effettivamente in prossimità del vertice del diagramma di Figura 2.4 (diagramma triangolare di Shepard per la classificazione dei sedimenti, 1954) in cui le percentuali di limo superano l'80%. La componente sabbiosa risulta il più delle volte complementare rispetto quella limosa in quanto l'argilla è sempre pressoché assente o al più presente con percentuali molto basse (< 5%). Sembra riscontrabile una tendenza, per quanto non molto pronunciata, ad un contenuto percentuale di sabbia lievemente Maggiore durante il calante di marea.

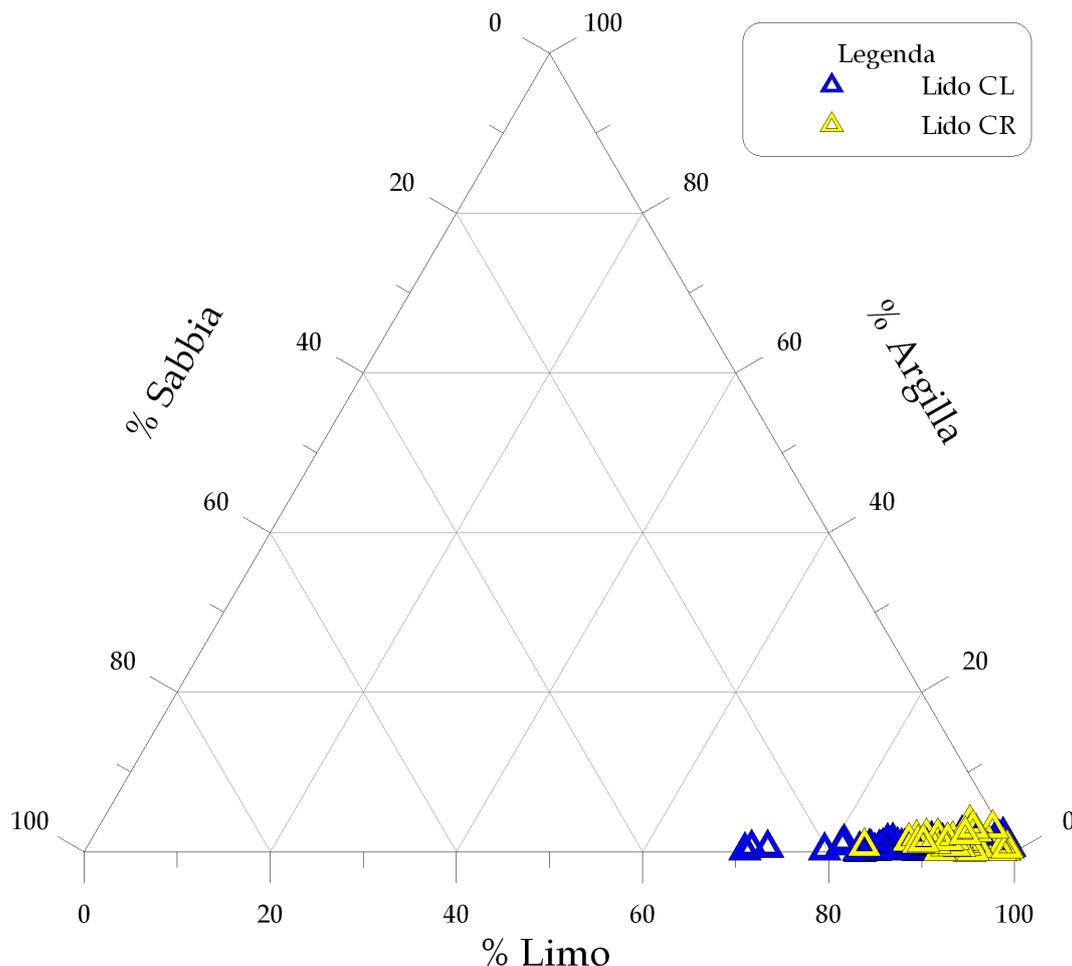


Figura 2.4. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni collezionati nei pressi della bocca di porto di Lido.

2.1.3 Concentrazione SPM: Suspended Particulate Material

Per quanto concerne le concentrazioni misurate sui campioni d'acqua prelevati ne risulta che il valore caratteristico modale durante la fase calante di marea è di 3.5 mg/l mentre quello per la fase crescente è di 5.3 mg/l. In Figura 2.5 è riportato l'istogramma frequenza - concentrazione per i dati raccolti durante le campagne.

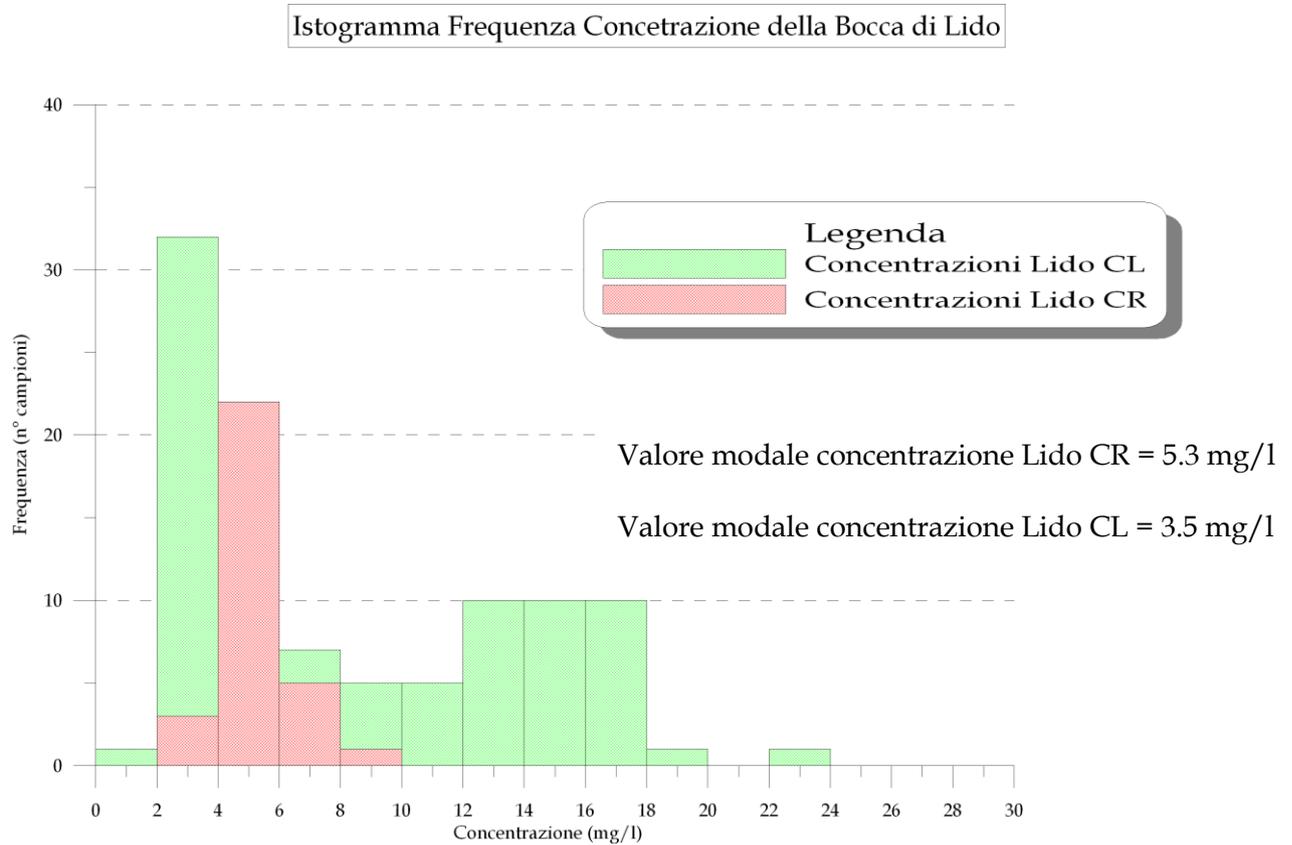


Figura 2.5. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione caratteristici della bocca di porto di Lido. CR e CL rispettivamente indicano il crescente di marea e il calante.

2.1.4 Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi

Durante le diverse campagne 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 ai relativi rapporti per una esauriente presentazione dei dati) nelle Figure 2.6 e 2.7 sono riportati rispettivamente i profili di velocità e direzione ricavati per il punto notevole 83 durante la campagne LI10 del 21 Ottobre 2008. Come è evidente, forte è la variabilità dei profili di velocità in relazione alle differenti fasi mareali campionate, mentre più stabile risultano essere le direzioni ( $290^\circ$  N per la fase crescente e  $110^\circ$  -  $150^\circ$  N per quella calante).

Nella figura 2.8 sono invece riportati, per lo stesso punto, i profili di concentrazioni ricavati dalla calibrazione dei dati di *backscatter* misurati dalla strumentazione ADCP. Le concentrazioni in questo caso variano da circa 2.5 mg/l ai 7 mg/ del fondo.

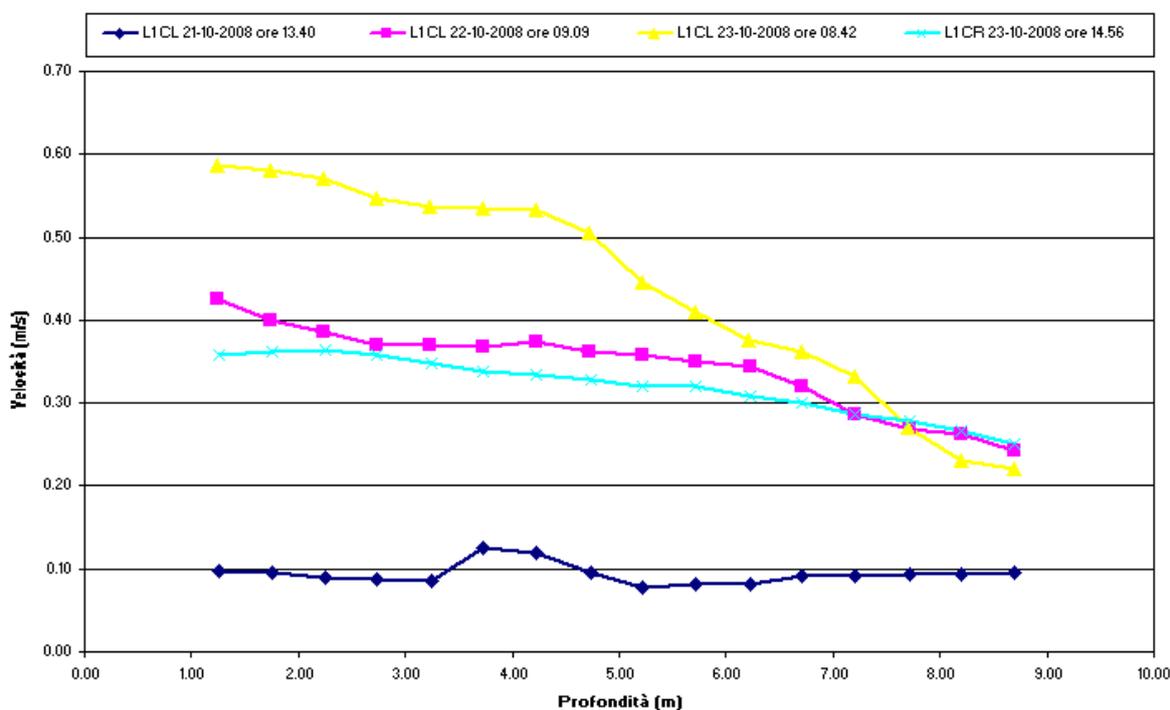


Figura 2.6. Profili di velocità ricavati durante la campagna LI10 (Ottobre 2008) nei pressi del punto notevole L1.

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

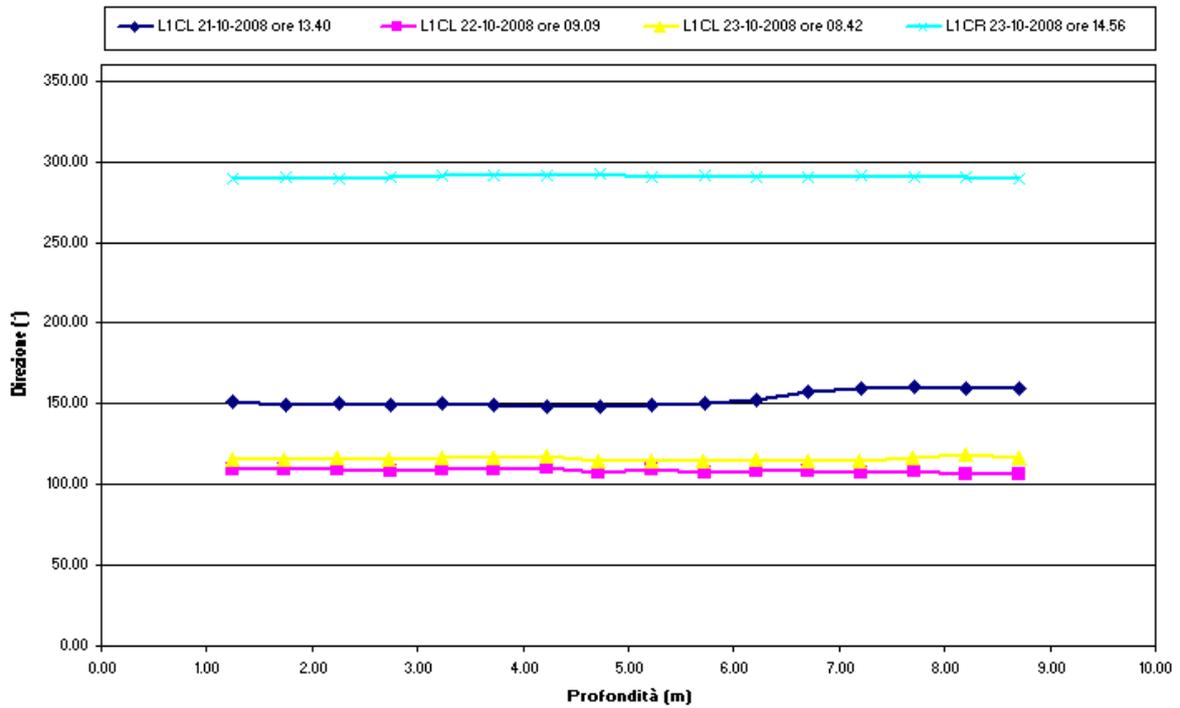


Figura 2.7. Profili di direzione ricavati durante la campagna LI10 (Ottobre 2008) nei pressi del punto notevole L1.

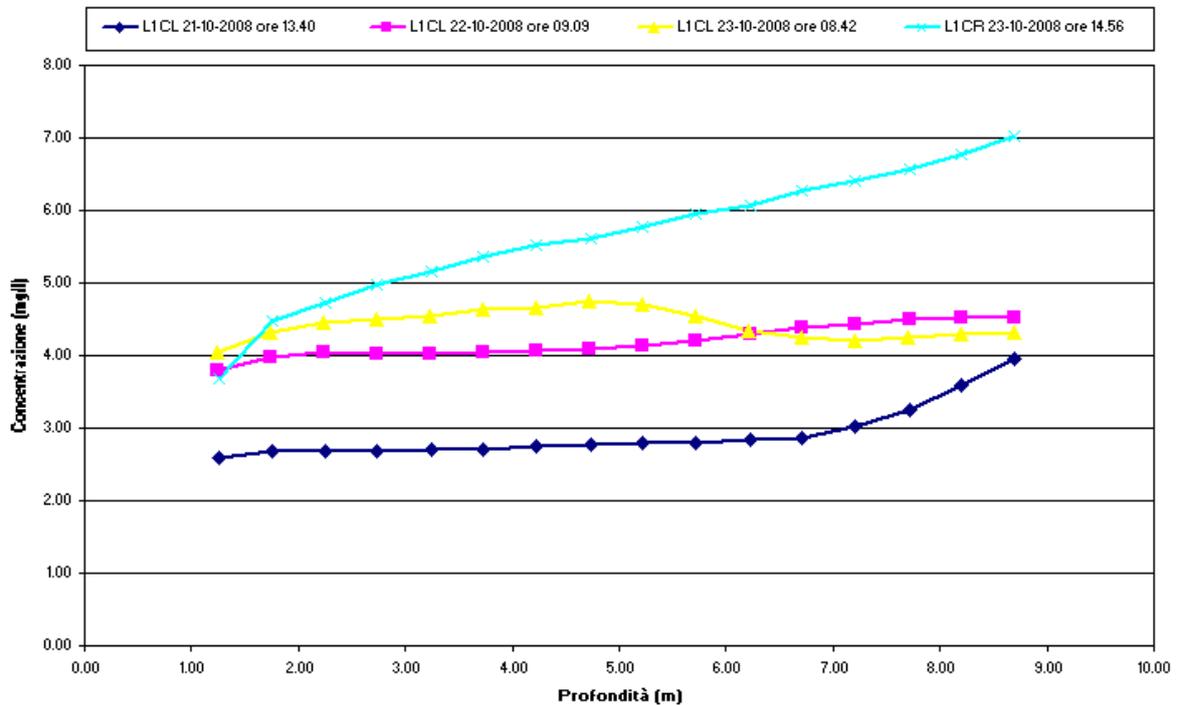


Figura 2.8. Profili di concentrazione ricavati durante la campagna LI10 (Ottobre 2008) nei pressi del punto notevole L1.

2.1.5 Caratteristiche idrodinamiche e sedimentologiche nel Canale retrostante l'Isola Nuova

Durante la campagna LI10 dell'Ottobre 2008 a fronte dell'esigenza di chiarire i fenomeni che avvengono nei pressi del canale retrostante l'Isola Nuova nel punto 150, appartenente alla sezione di misura individuata nello stesso canale (151 - 149), è stato installato un correntometro elettromagnetico (S4 InterOcean), installato a circa 90 cm dal fondo, che ha acquisito in continuo, dalle ore 09.00 del 21 Ottobre 2008 fino alle ore 09.15 del 24 Ottobre 2008. I risultati delle acquisizioni sono visualizzati nelle Figure 2.9 a - d. La Figura 2.9 a) rappresenta la marea registrata dal correntometro S4, nelle Figure 2.9 b) - c) sono rispettivamente rappresentate la velocità e la direzione della corrente, mentre nella 2.9 d) l'andamento della torbidità (in FTU).

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

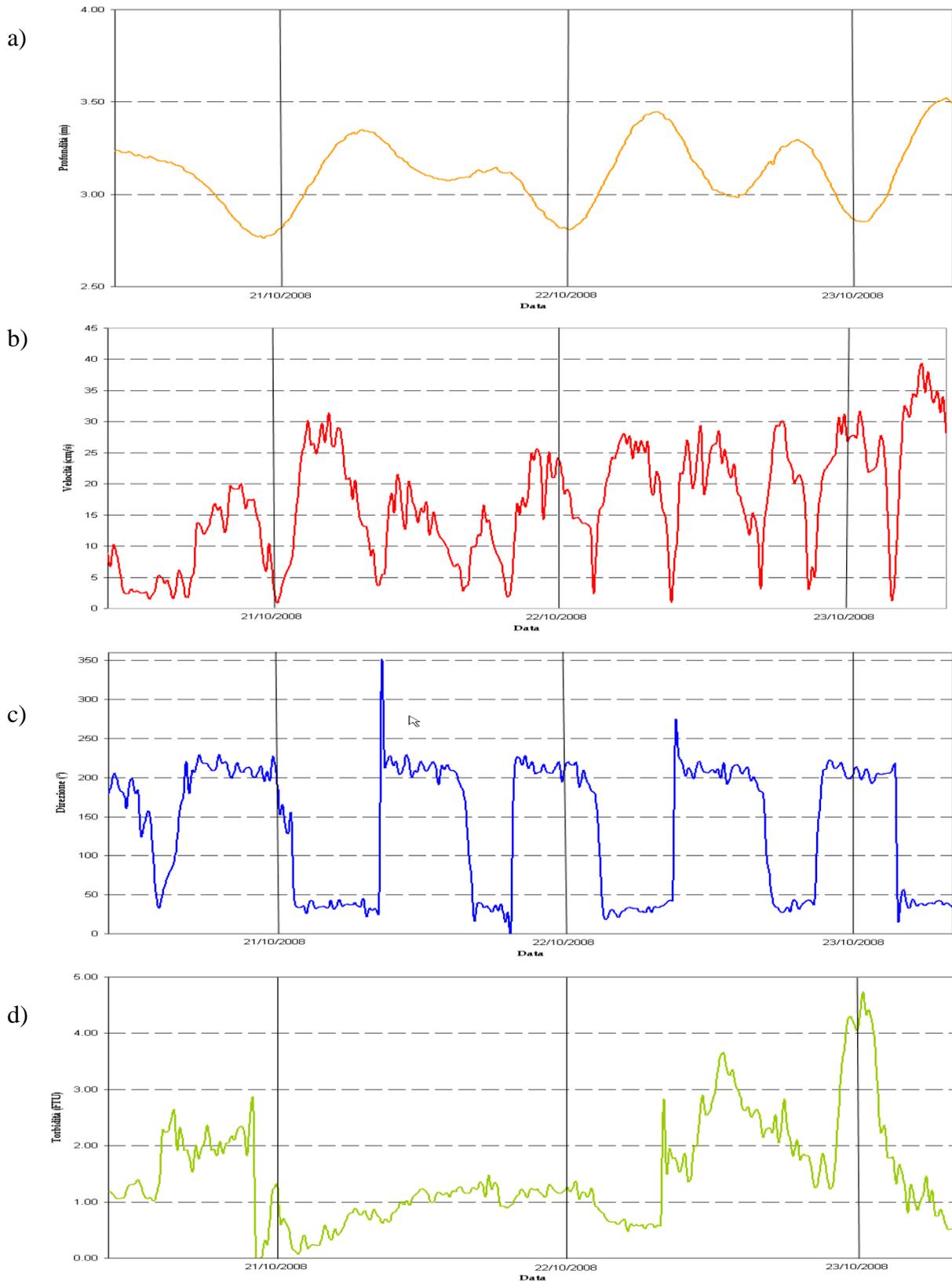


Figura 2.9. Marea, velocità, direzione e torbidità misurate nei giorni 21 - 24 Ottobre 2008 nella stazione 150 presso la bocca di porto di Lido, Canale retrostante l'Isola Nuova, dal correntometro elettromagnetico S4 InterOcean.

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

Come è evidente dalle Figure 1.1 e 1.4 la bocca di porto di Malamocco si presenta meno articolata rispetto a quella di Lido. Il numero delle sezioni di interesse lungo le quali sono stati effettuati i rilievi ADCP sono in numero inferiore. La situazione è però resa interessante dalla costruzione del bacino di evoluzione della conca di navigazione che, per una serie di aspetti trattati nei vari rapporti e che qui sono riassunti, presenta alcune particolarità tra cui la presenza di un vortice interno che sembra caratterizzarne la circolazione in diverse circostanze.

### 2.2.1 Diametri caratteristici dei sedimenti

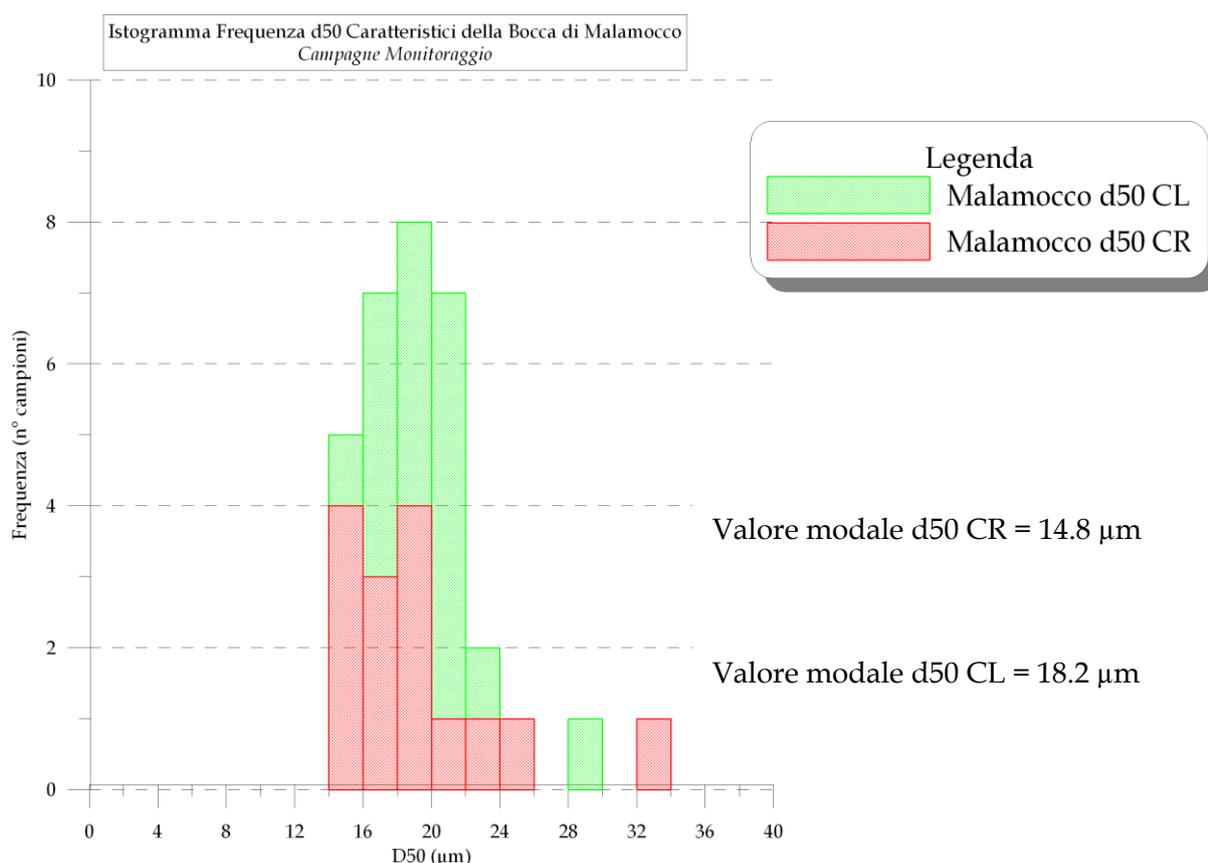


Figura 2.10. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici della bocca di porto di Malamocco. CR e CL rispettivamente indicano il crescente di marea e il calante.

Il diametro caratteristico modale dei sedimenti campionati nei pressi della bocca di porto di Malamocco (in Figura 2.10 è riportato l'istogramma di frequenza) risulta variabile tra i 14.8 µm della fase crescente ai 18.2 µm di quella calante. È quindi riscontrabile la tendenza ad avere materiali più grossolani quando il flusso di corrente proviene dalla laguna. I valori risultano leggermente inferiori rispetto quelli riscontrati nei pressi della bocca di porto di Lido. In questo caso sono stati utilizzati esclusivamente i dati della campagna del 4-6 Novembre 2008 (MA11) in quanto sui campioni prelevati durante la campagna "Malamocco" (26-29 Agosto 2008) non sono state effettuate misure granulometriche.

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 poche differenze rispetto quelli che transitano nella bocca di Lido. Infatti, considerando le diverse frazioni granulometriche, la cui percentuale è riportata nello schema di Figura 2.11, si nota che la maggior parte dei casi la frazione limosa risulta essere preponderante e maggiore all'80% mentre la sabbia ne risulta complementare mancando anche in questo caso un significativo contributo della frazione argillosa (< 5%). La scarsa variabilità dei risultati può anche essere dovuta alle condizioni mareali avutesi durante le operazioni di campagna; infatti, sebbene si siano identificati dei calanti e crescenti di marea, essi non hanno avuto un carattere marcato (Figura 2.12) non amplificando la variazione in termini granulometrici. Il grafico manca, come per il d50, dei dati relativi alla campagna Malamocco del 26-29 Agosto 2008 poiché in occasione di quella campagna non sono state effettuate misure granulometriche.

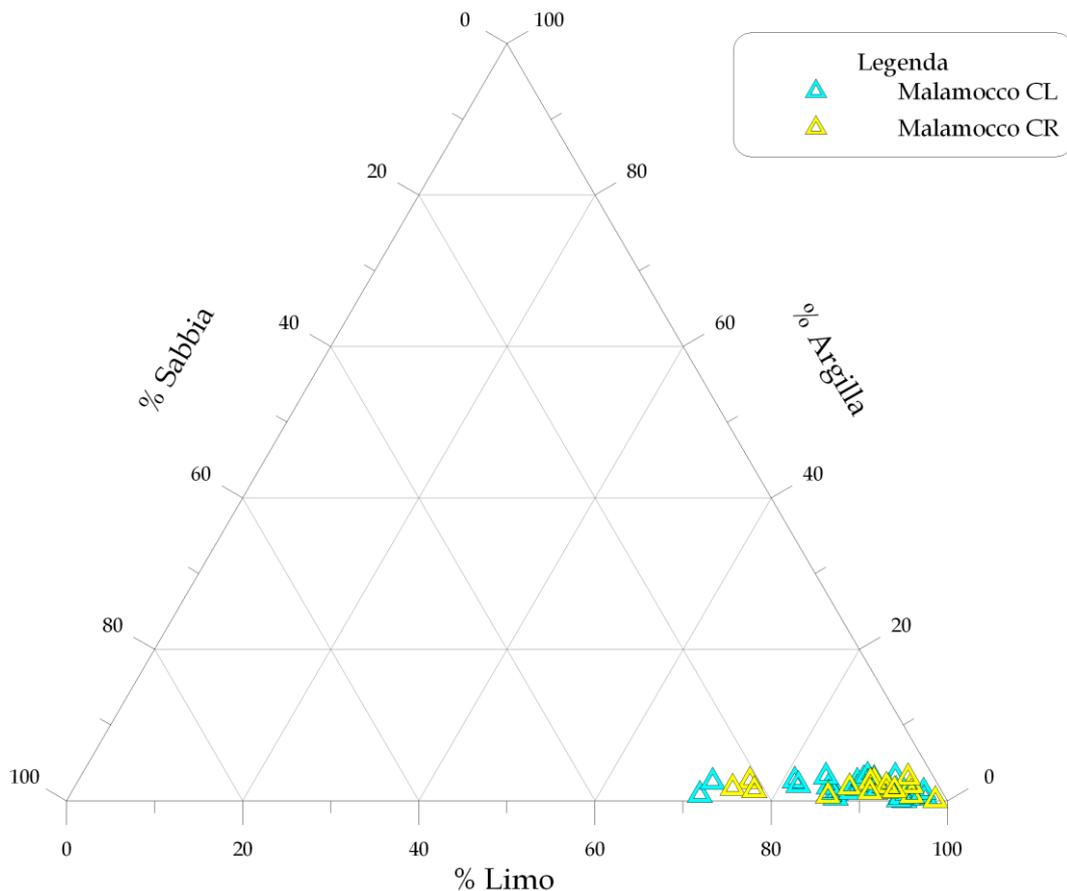


Figura 2.11. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni collezionati nei pressi della bocca di porto di Malamocco.

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

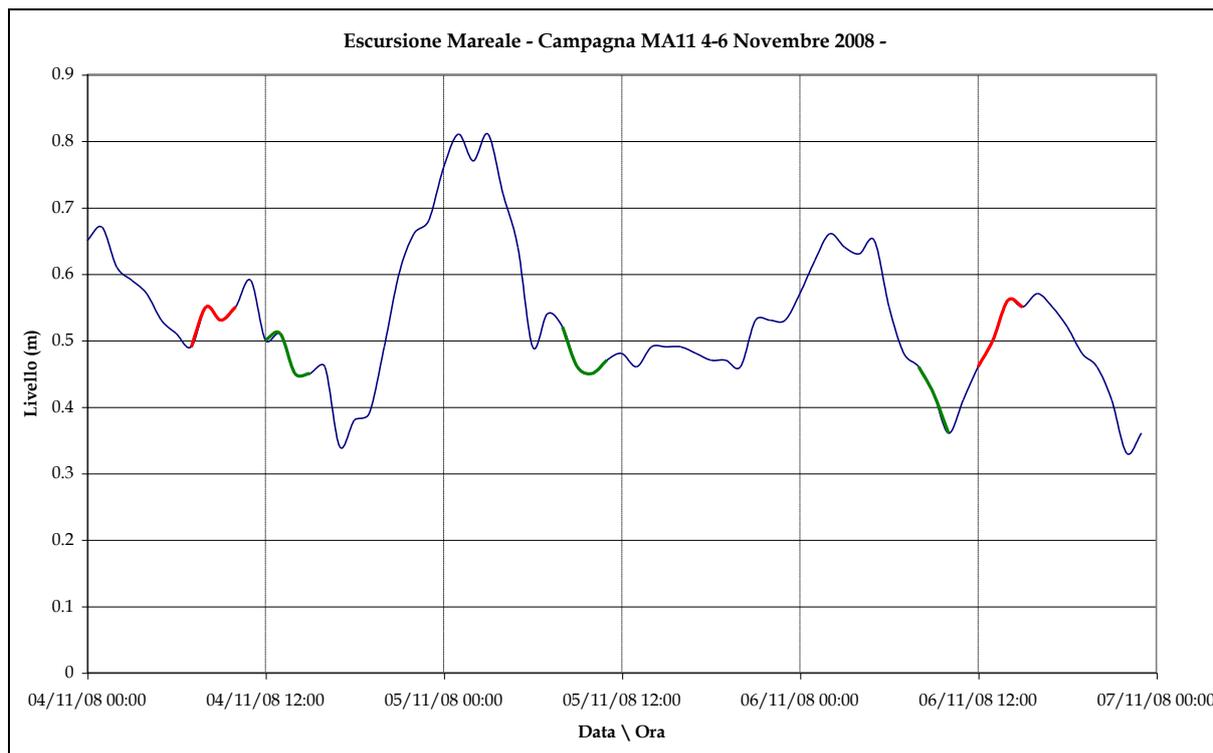


Figura 2.12. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare, ora UT) registrato al mareografo di Malamocco, Diga Nord, per il periodo compreso tra il 4 - 6 Novembre 2008.

2.2.3 Concentrazione SPM: Suspended Particulate Material

Le concentrazioni dei solidi sospesi relative alla bocca di porto di Malamocco sono state ricavate dai dati raccolti sia durante la campagna Malamocco (26-29 Agosto 2008) sia da quelli della campagna MA11 (4-6 Novembre 2008). In Figura 2.13 è presentato l'istogramma frequenza con le relative concentrazioni caratteristiche per le due fasi mareali. Se ne ricava che le concentrazioni Maggiori, con un valore più frequente (modale) pari a 5.8 mg/l, si hanno durante le fasi del calante di marea, mentre quelle minori, pari a 4 mg/l, durante il crescente.

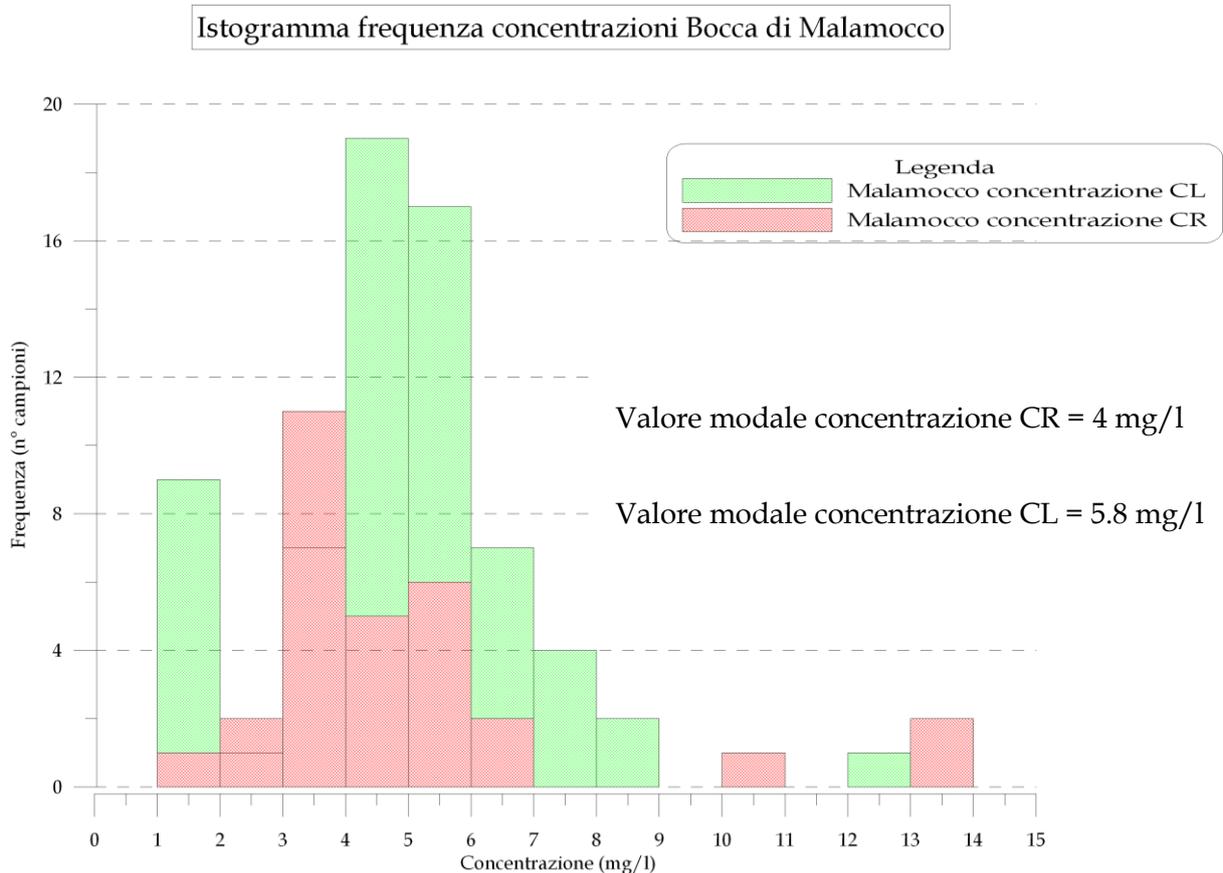


Figura 2.13. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione caratteristici della bocca di porto di Malamocco. CR e CL rispettivamente indicano il crescente di marea e il calante.

2.2.4 Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi

Durante le campagne 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 esauriente presentazione dei dati) nelle Figure 2.14 e 2.15 sono riportati rispettivamente i profili di velocità e direzione ricavati per il punto notevole ADCPm. È evidente che le velocità durante le misure non hanno superato gli 0.6 m/s e si sono attestate su valori piuttosto bassi tra 0.2 - 0.3 m/s. La direzione misurata ha assunto, durante il crescente, valori compresi tra i 270° N e i 320° N mentre, durante il calante tra i 90° N e i 120° N manifestando un alto grado di variabilità. Questi esempi evidenziano la variabilità dell'idrodinamica dovuta soprattutto alle molteplici interazioni marea-condizioni meteo-marine che avvengono in generale in bocca di porto.

La Figura 2.16 rappresenta i profili di concentrazione ricavati dalla calibrazione dei dati di *backscatter* con i valori di concentrazione misurati nei campioni raccolti. In alcuni casi, nella parte superficiale della colonna d'acqua, soprattutto in condizioni di marea crescente, si registrano dei valori elevati che sono dovuti, molto probabilmente, ad un puntuale fenomeno di risospensione di materiale nei pressi della diga nord.

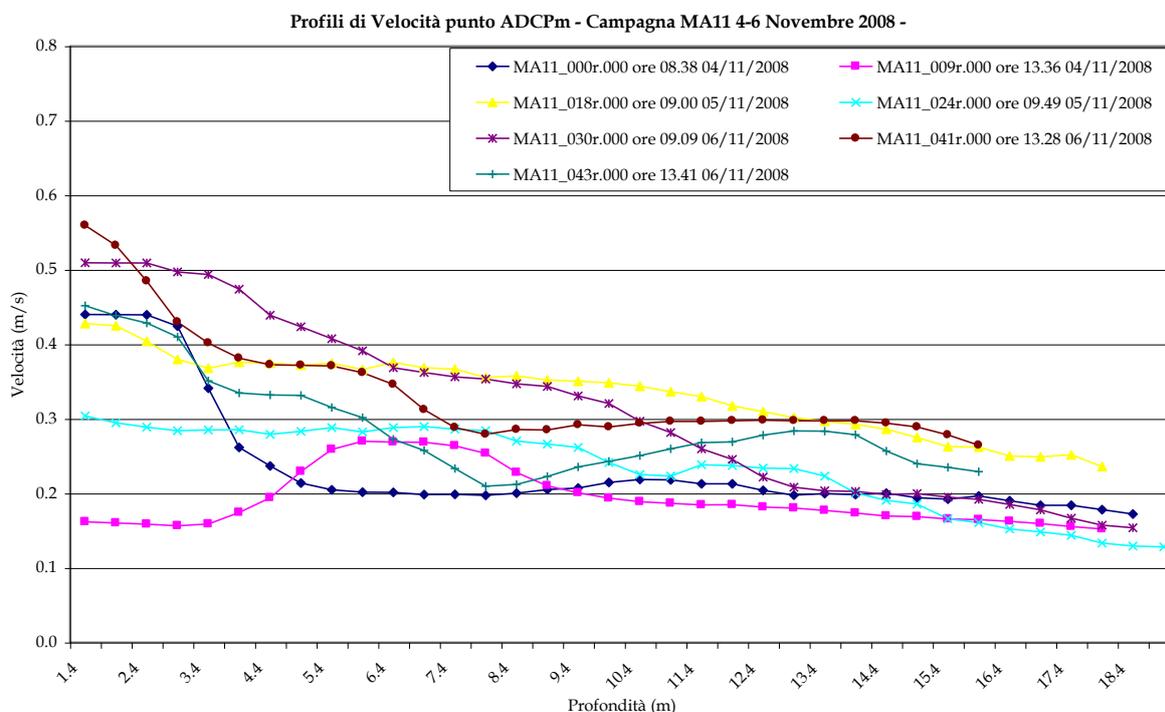


Figura 2.14. Profili di velocità ricavati durante la campagna MA11 (Novembre 2008) nei pressi del punto notevole ADCPm.

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

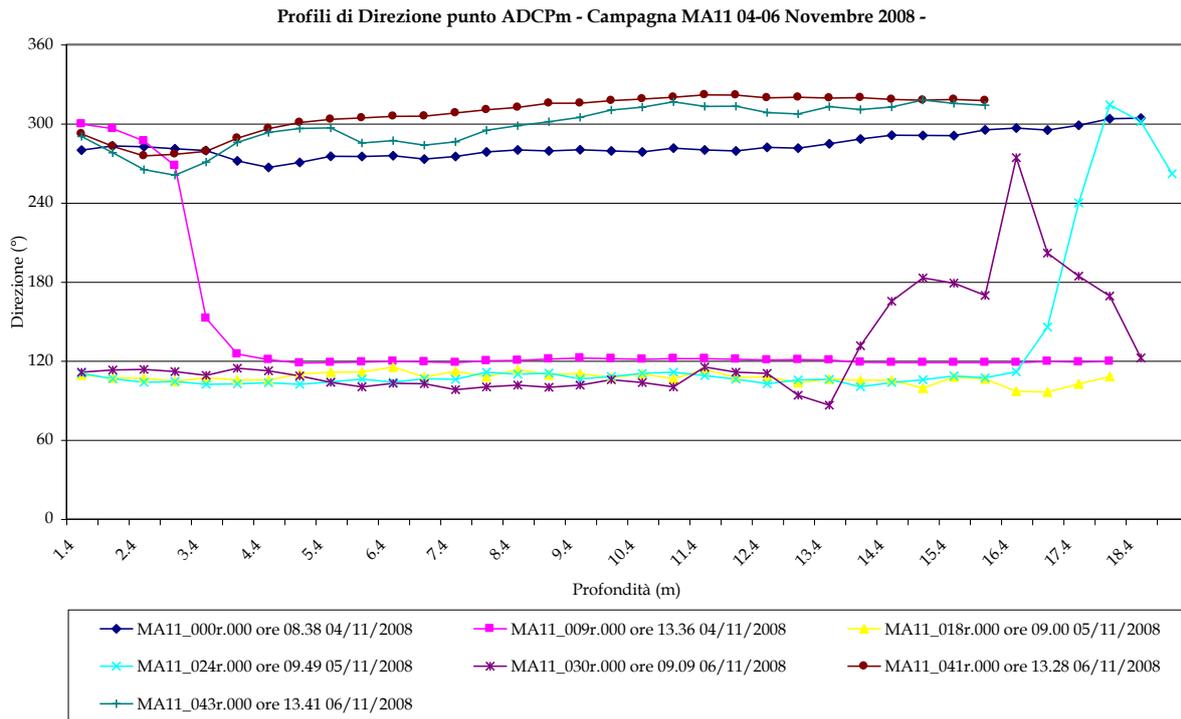


Figura 2.15. Profili di direzione ricavati durante la campagna MA11 (Novembre 2008) nei pressi del punto notevole ADCPm.

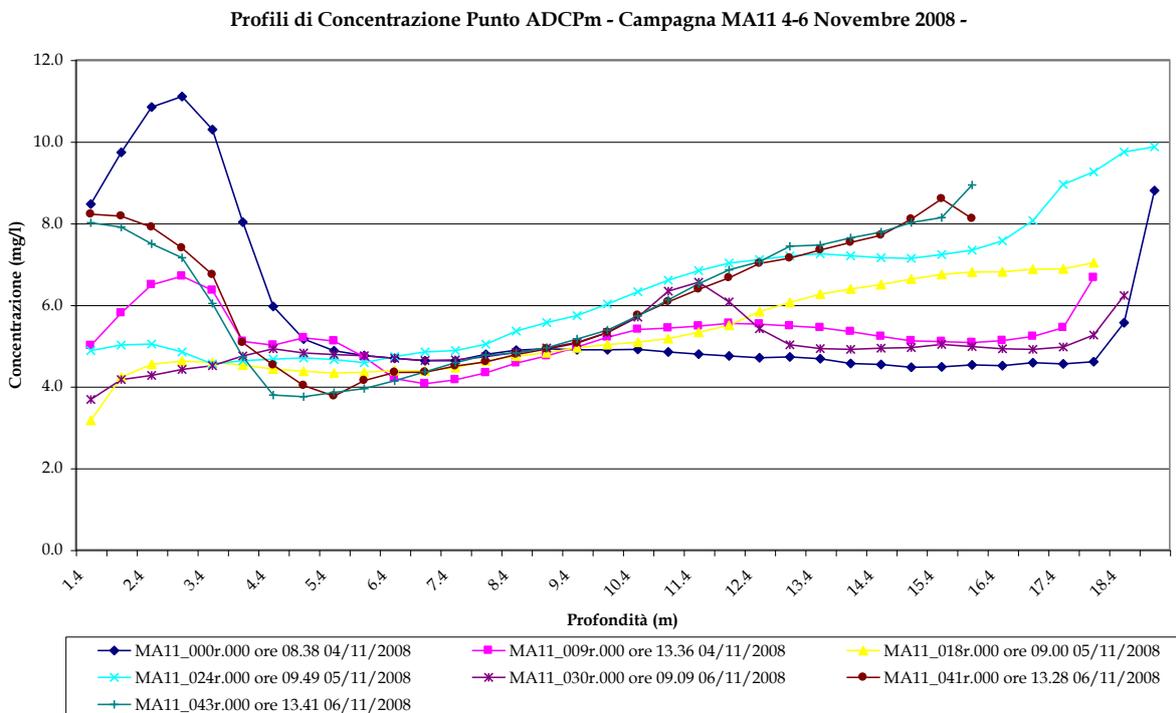


Figura 2.16. Profili di concentrazione ricavati durante la campagna MA11 (Novembre 2008) nei pressi del punto notevole ADCPm.

2.2.5 Monitoraggio attività di scavo della draga "Destriero Primo"

Nel corso della giornata del 28 Agosto 2008, ore 09.20 - 09.40 (UT), in condizioni temporanee di marea crescente è stata monitorata l'attività di scavo della draga a benna "Destriero Primo" (Figura 2.18). Sono stati quindi eseguiti due transetti (sezioni V1 - R1, V2 - R2) allo scopo di verificare le interazioni tra il *plume* di materiale messo in sospensione dalla draga e le condizioni idrodinamiche; inoltre sono stati prelevati tre campioni (Punto P) nella zona d'azione della draga per verificare la concentrazione di solidi sospesi nella colonna d'acqua. A causa dei problemi tecnici avuti durante la campagna (impossibilità dell'utilizzo sistema Rosette-CTD) non si è potuto eseguire la calibrazione sui dati di backscatter registrati dalla strumentazione ADCP; quindi la presentazione dei dati avviene attraverso una semplice descrizione qualitativa dei fenomeni osservati.

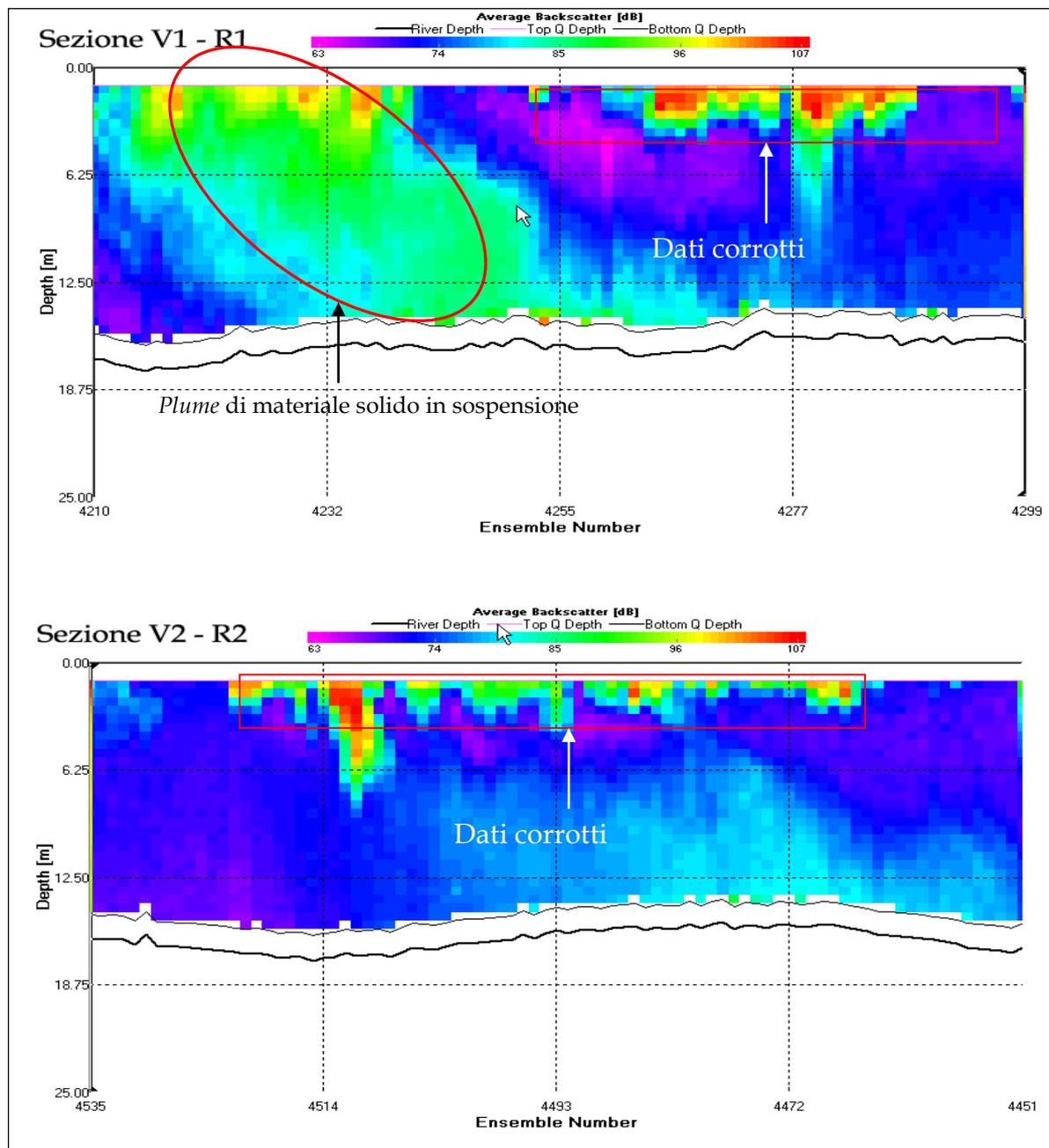


Figura 2.17. Monitoraggio draga a benna "Destriero Primo". Immagini esportate dal software di visualizzazione WinRiver II dei transetti eseguiti lungo le sezioni V1 - R1 e V2 - R2 (Figura 1.1). Valori di Backscatter [dB] registrati dal sistema ADCP.

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

La Figura 2.17 mostra i valori di backscatter misurati lungo le due sezioni effettuate ad hoc in prossimità della draga operante (Figura 2.18). Indicativamente, a valori elevati di questo parametro si può attribuire una più elevata concentrazione in termini di solidi sospesi nella colonna d'acqua investigata. Nonostante non sia stata possibile la conversione dei dati da valori di *backscatter* a valori di concentrazione, a causa di problemi tecnici, le informazioni acquisite hanno consentito di ricavare alcune importanti indicazioni. Nella sezione V1 - R1 è evidente il *plume* di materiale messo in sospensione dalla draga; il *backscatter* raggiunge valori elevati (>100 dB) in particolare nella parte più superficiale della colonna d'acqua. Nella seconda sezione V2 - R2, distante 270 m dalla prima, il *plume* di materiale sospeso risulta essersi annullato; quindi si può ragionevolmente supporre che gli effetti del dragaggio del fondo, alla luce delle condizioni idrodinamiche vigenti (direzione e velocità di corrente medie rispettivamente di 282° N e 0.22 m/s), vanno esaurendosi ad una distanza inferiore di 270 m. Per leggere correttamente i dati della Figura 2.17 è opportuno considerare che, a causa del disturbo dovuto a turbolenza causata dall'imbarcazione durante le operazioni di misura, vi sono dei dati di *backscatter* considerati come non affidabili.

Per quanto riguarda i valori di concentrazione di solidi ricavati dalle analisi effettuate sui tre campioni prelevati in superficie nel punto P, sono state riscontrate concentrazioni piuttosto elevate (13.2 e 32.3 mg/l), mentre il campione prelevato a 8.0 m di profondità mostra una concentrazione di 8.3 mg/l. I dati concordano con quanto mostrato nella Figura 2.17, cioè quantità elevate di materiale in superficie decrescente verso il fondale.



Figura 2.18. Draga "Destriero Primo" in azione presso il canale principale della bocca di porto di Malamocco

2.2.6 Monitoraggio scogliera -lato mare- del bacino di evoluzione della conca di navigazione

Al fine di evidenziare eventuali fuoriuscite di acque torbide dalla diga foranea provenienti dal bacino di evoluzione sono state effettuate, durante la campagna Malamocco del 26-29 Agosto 2008, una serie di misure con strumentazione ADCP e una serie di prelievi di campioni. Lungo tutta la lunghezza della lunata (sezione Lu01-Lu08 di Figura 1.1) è stata effettuata una misurazione delle caratteristiche idrodinamiche; inoltre sono stati effettuati 4 campioni in corrispondenza dei punti Lu02, Lu04, Lu06 e Lu06 al fine di individuare particolari condizioni nella concentrazione di materiale in sospensione. Le operazioni si sono svolte mentre la draga "Annamaria 2" operava all'interno del bacino di evoluzione della conca di navigazione, condizioni per la quale si potrebbe creare una risospensione di materiale indicatore di un eventuale infiltrazione nella lunata.

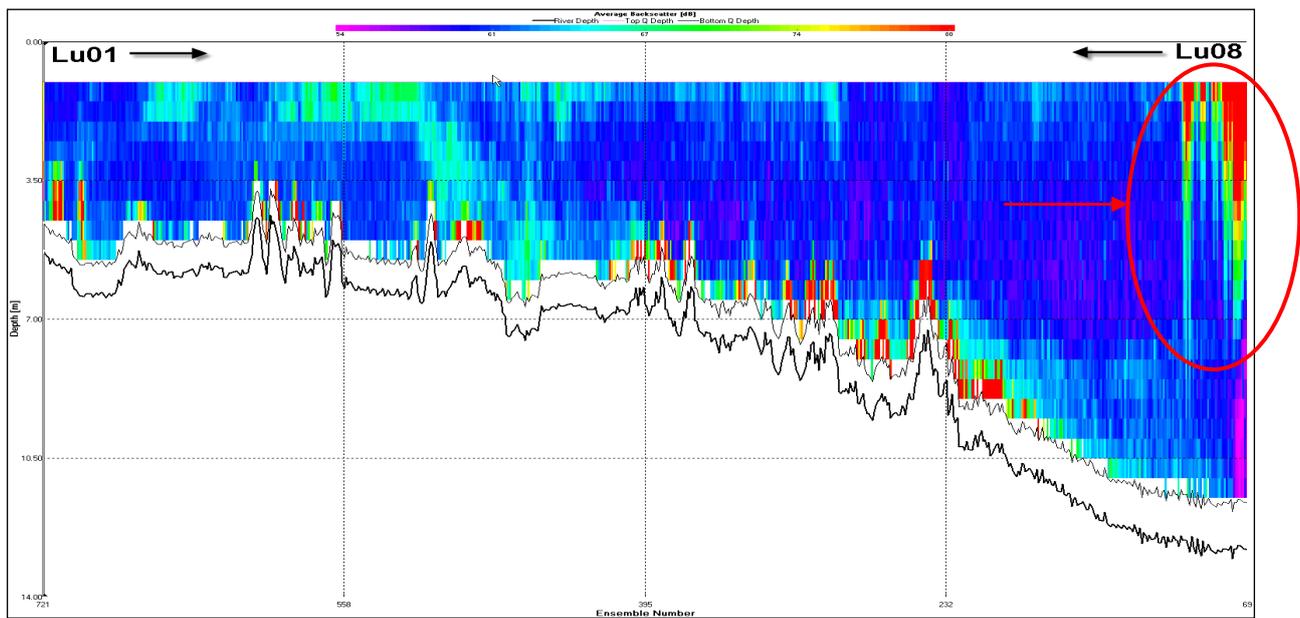


Figura 2.19. Monitoraggio scogliera -lato mare-. Screenshot del transetto effettuato lungo la sezione Lu01 - Lu08 (Figura 1.1). Valori di Backscatter [dB] registrati dall'ADCP vessel-mounted.

In Figura 2.19 viene presentato il transetto effettuato parallelamente alla diga foranea (Lu01 - Lu08). Non si evidenziano valori anomali di backscatter che fanno presupporre la presenza di filtrazione di materiale sospeso attraverso la scogliera. Infatti i valori, ad eccezione di quelli non affidabili presenti all'inizio del transetto e dovuti alla stessa scia dell'imbarcazione di misura "henetus", non assumo valori elevati. A conferma di ciò si hanno inoltre valori molto bassi di solidi sospesi misurati nei punti di prelievo Lu02, Lu04, Lu06 e Lu08 (Tabella 2.1).

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

Tabella 2.1. Valori di concentrazione misurati durante le operazioni di Monitoraggio scogliera -lato mare- del bacino di evoluzione della conca di navigazione.

Punto	Profondità	Concentrazione (mg/l)
Lu02	2.00	2.0
	4.00	2.0
Lu04	2.00	2.0
	5.00	1.8
Lu06	2.00	1.5
	4.00	2.3
	7.00	1.7
Lu08	2.00	1.9
	5.00	1.6
	8.00	1.7

2.2.7 Megavortice nei pressi del bacino di evoluzione della conca di navigazione

I risultati delle misure effettuate presso il bacino di evoluzione della conca di navigazione evidenziano una circolazione dalle caratteristiche particolari apparentemente legate alla conformazione dello stesso bacino (Figura 2.20). Grazie alla sovrapposizione del campo dei vettori di corrente registrato durante la campagna di monitoraggio (trasetto Malamocco\_024r.000 delle ore 08.18 del 28 Agosto) all'ortofoto, si nota come la direzione media sulla colonna d'acqua subisca una variazione dai 210° N nei pressi del punto N a valori di circa 110° N nei pressi del punto FS. Si può quindi affermare che all'interno del bacino, in condizioni di marea calante, si crea un grande vortice, peraltro visibile anche nell'immagine utilizzata come base topografica nella Figura 2.20, che comporta la rotazione dell'acqua in senso antiorario. Nel nodo di tale vortice, che corrisponde approssimativamente al punto 99, si instaurano condizioni molto particolari per cui si può verificare una stratificazione della corrente con moto in due diverse direzioni.



Figura 2.20. Campo di velocità del transetto Malamocco\_024r.000 delle ore 08.18 del giorno 28 Agosto sovrapposto alla ortofoto (volo 2007, Magistrato alle Acqua di Venezia).

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

La campagna di misura effettuata presso la bocca di porto di Chioggia (Figura 1.2) ha interessato in Maggiore misura il canale principale, coperto da due sezioni caratteristiche (180-182 e C3A - C3B con i relativi punti notevoli ADCPch e C3) e un'altra sezione posta più internamente (C1A - C1B con il punto C1).

#### 2.3.1 Diametri caratteristici dei sedimenti

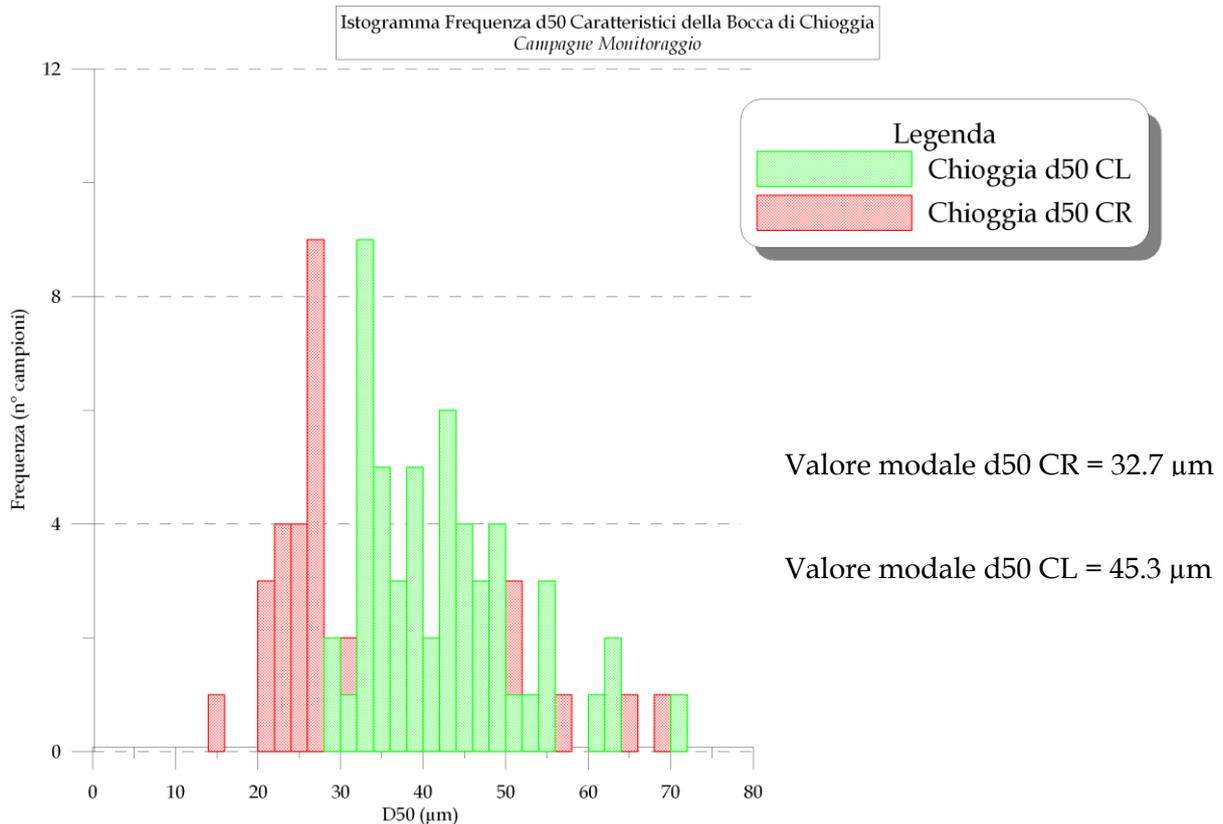


Figura 2.21. Istogramma di frequenza dei valori di d50 caratteristici della bocca di porto di Chioggia. CR e CL rispettivamente indicano il crescente di marea e il calante.

Dall'istogramma delle frequenze dei diametri caratteristici del particolato solido in sospensione (Figura 2.21) si può evidenziare la presenza di valori modali dei diametri (45.3 µm per il calante e 32.7 µm per il crescente) nettamente superiori a quelli riscontrati nelle bocche di porto di Lido e soprattutto di Malamocco. I valori sono distribuiti su di un ampio spettro dimensionale, da i 15 - 20 µm fino ad arrivare ad oltre 70 µm.

2.3.2 Frazioni granulometriche 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, rappresentato in Figura 2.22, mostra come in questo caso si abbia una variabilità Maggiore dei valori rispetto alla spiccata omogeneità dei dati relativi alle altre due bocche do porto. La quantità di sabbia infatti varia da un minimo del 10% del totale ad un massimo del 55%. La componente argillosa è sempre pressoché assente e tendenzialmente si ha il quantitativo di sabbia Maggiore durante la fase calante di marea.

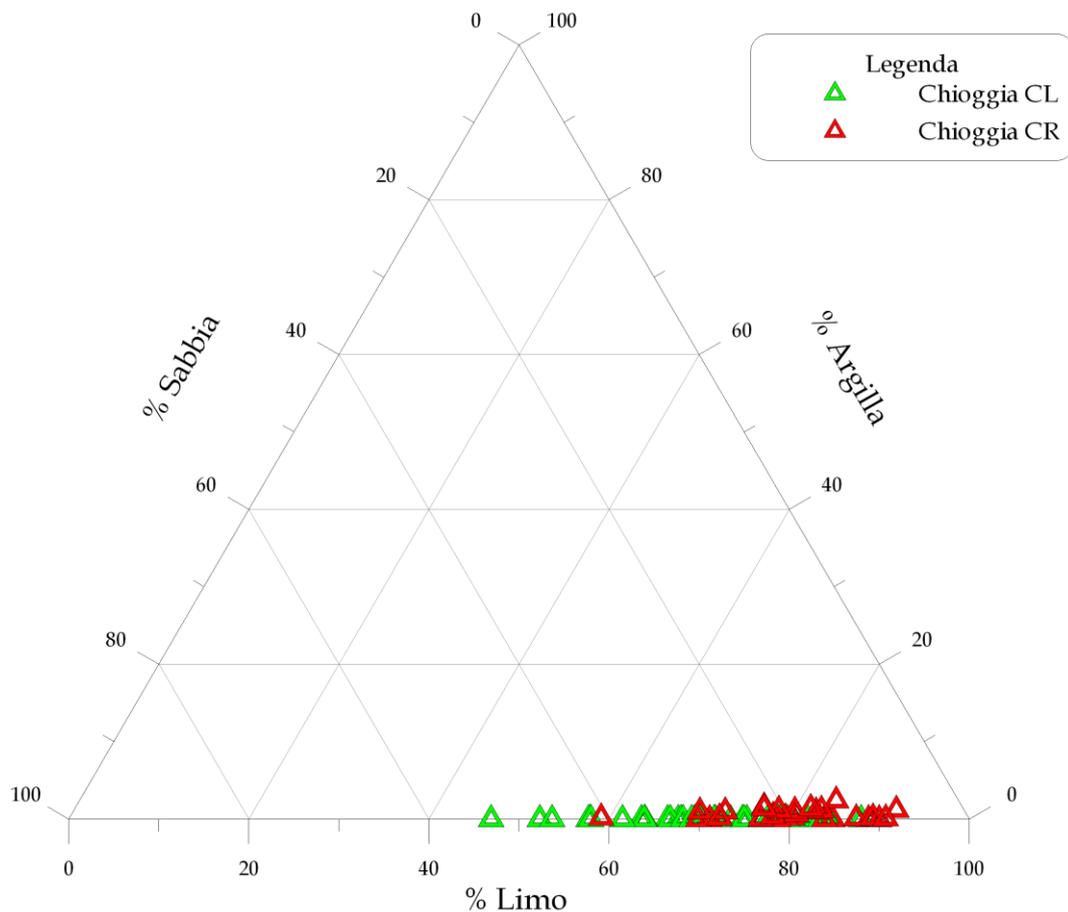


Figura 2.22. Diagramma di Shepard relativo alle differenti classi granulometriche presenti nei campioni collezionati nei pressi della bocca di porto di Chioggia.

2.3.3 Concentrazione SPM: Suspended Particulate Material

Le concentrazioni misurate nei campioni collezionati nei pressi dei punti notevoli in bocca di porto di Chioggia (Figura 29) assumono valori discretamente variabili; soprattutto durante la fase del calante di marea si registrano valori da un minimo di 2 mg/l ad un massimo di 26 mg/l. I valori modalis, qui definiti come caratteristici, delle fasi mareali sono rispettivamente 3.8 per il calante e 3.5 mg/l per il crescente di marea.

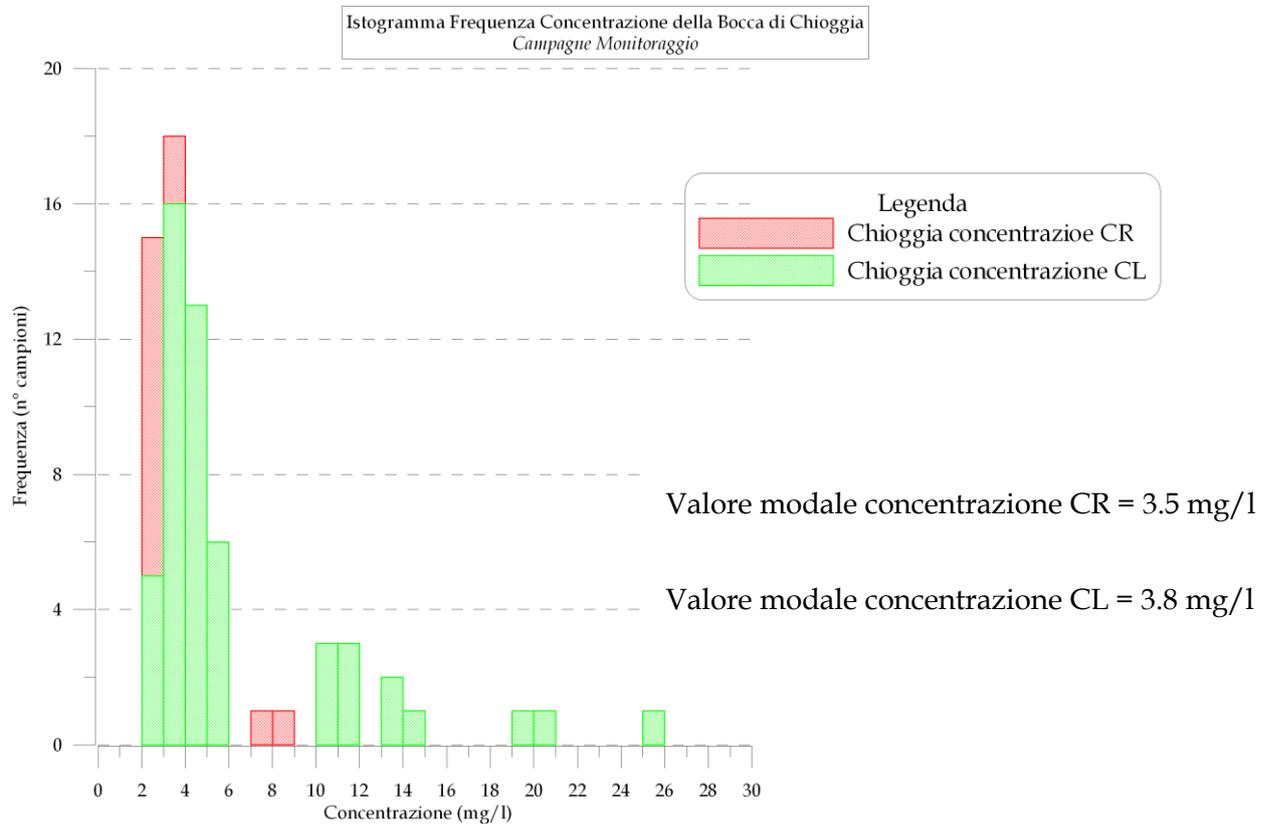


Figura 2.23. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione caratteristici della bocca di porto di Malamocco. CR e CL rispettivamente indicano il crescente di marea e il calante.

2.3.4 Misure ADCP: idrodinamica e concentrazione solidi sospesi

Nelle Figure 2.24 - 2.25 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 abbondantemente gli 0.5 m/s attestandosi talvolta a valori intorno a 1.2 m/s nella parte più superficiale della colonna d'acqua. La direzione assume valori tra i 265° N e 285° N durante la fase del crescente di marea e tra gli 80° N e 100° N per quella calante.

I profili di Figura 32, relativi al punto ADCPch, mostrano l'andamento della concentrazione lungo la colonna d'acqua. I valori Maggiori si hanno a profondità Maggiori e in concomitanza alle fasi del calante di marea. Per una trattazione completa delle condizioni idrodinamiche e dell'andamento della concentrazione si rimanda alla reportistica specifica elaborata.

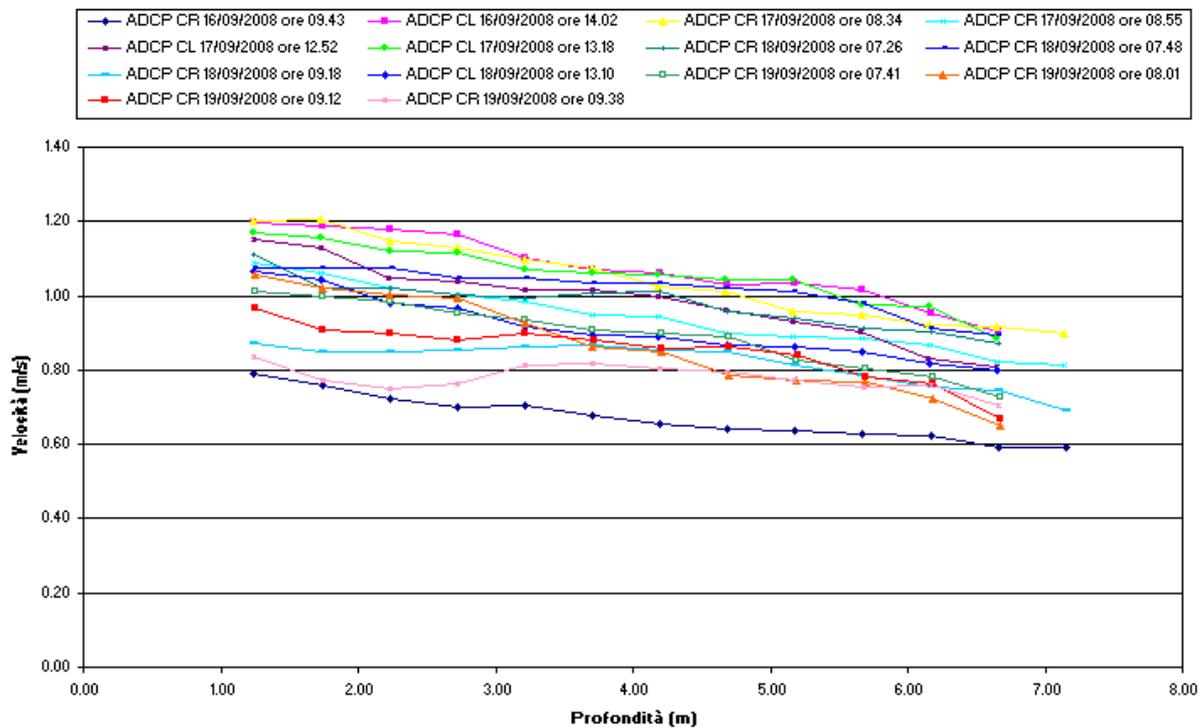


Figura 2.24. Profili di velocità ricavati durante la campagna CHS8 (Settembre 2008) nei pressi del punto notevole ADCPch.

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

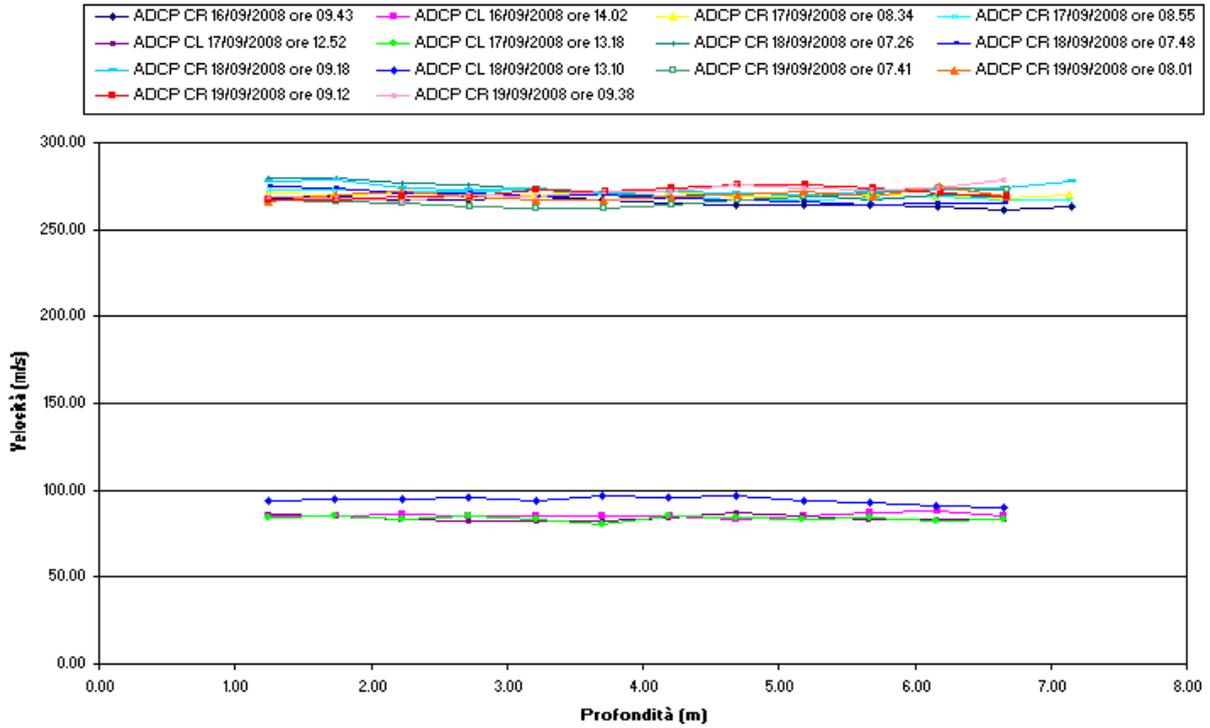


Figura 2.25. Profili di direzione ricavati durante la campagna CHS8 (Settembre 2008) nei pressi del punto notevole ADCPch.

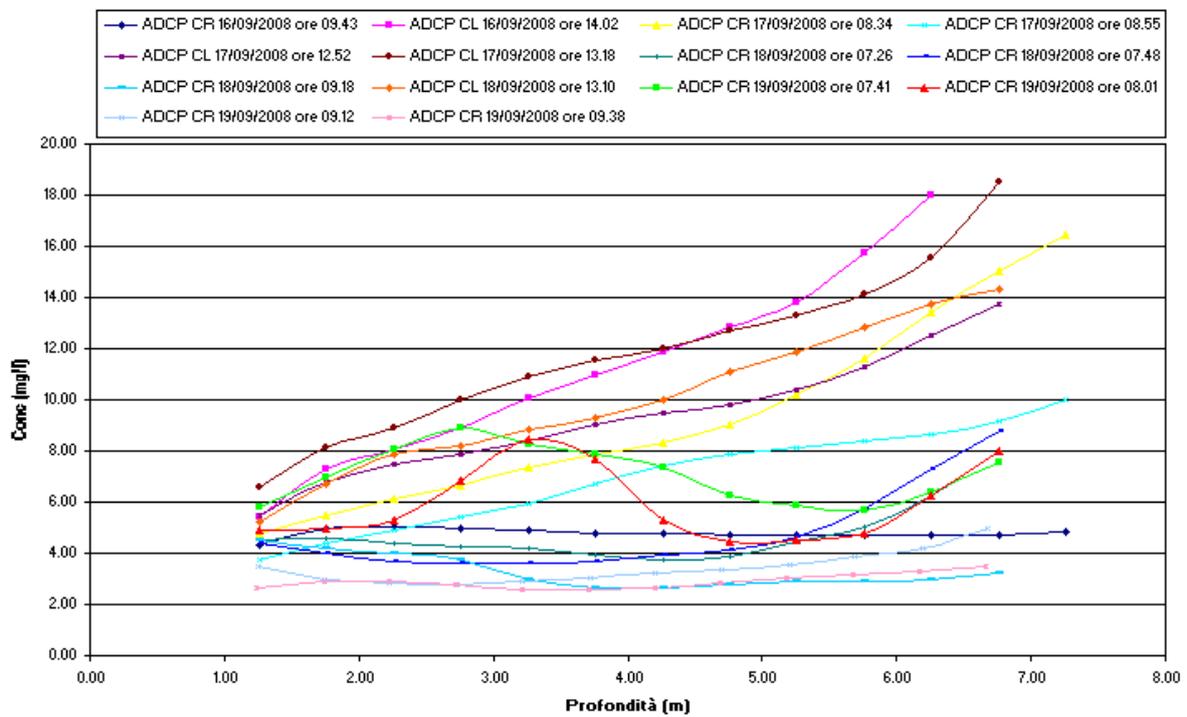


Figura 2.26. Profili di concentrazione ricavati durante la campagna CHS8 (Settembre 2008) nei pressi del punto notevole ADCPch.

### **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 incentrate sullo studio delle condizioni idrodinamiche e sulla 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 1.6 - 1.8). In particolare sono state effettuate tre campagne di misura: campagna ISLI (4 - 5 Giugno 2008) svolta alla bocca di porto di Lido (sezione d'interesse 80 - 82), campagna ISCH (25 - 26 Settembre 2008) svolta presso la bocca di porto di Chioggia (sezione d'interesse C1A - C1B) e campagna ISMA (15 - 16 Ottobre 2008) svolta presso la bocca di porto di Malamocco (sezioni d'interesse 194 - 196 e 198 - 200).

Durante le campagne alle bocche di porto di Malamocco e Chioggia in concomitanza con le indagini presso le sezioni d'interesse è stato effettuato anche lo studio del trasporto solido in sospensione e al fondo investigando l'intera colonna d'acqua per mezzo delle trappole Helley-Smith (Helley and Smith, 1971). Per quanto riguarda la bocca di porto di Lido, a causa di problemi tecnici verificatisi durante le attività di misura della campagna ISLI, non è stato possibile eseguire lo studio del trasporto solido, che è stato rinviato alla successiva campagna Lfeb (10 - 11 Febbraio 2009). Tali attività verranno trattate al successivo capitolo 4.

Nel presente capitolo sono descritti i principali risultati ottenuti durante le attività di campagna effettuate lungo le sezioni d'interesse. Ricordiamo che 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 riscontrate durante le attività di misura**

In Figura 3.1 sono riportati gli andamenti di marea registrati durante le attività di misura effettuate alle tre bocche di porto. Sono indicati anche gli intervalli mareali durante i quali sono state effettuate le operazioni di misura, distinguendo in rosso la fase di marea crescente ed in verde la fase di marea calante. È possibile subito notare 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 Malamocco dal 15 al 16 Ottobre 2008 (campagna ISMA) e presso la bocca di porto di Lido dal 4 al 5 Giugno 2008 (campagna ISLI). Durante la campagna di misura effettuata alla bocca di porto di Chioggia dal 25 al 26 Settembre 2008, invece, si sono verificate escursioni di marea più modeste, inferiori a 0.70 m. Questi grafici consentono una migliore comprensione dei risultati ottenuti in quanto l'escursione mareale, ed in particolare il gradiente di marea, rappresenta un fattore importante che influisce sulle caratteristiche idrodinamiche e sul trasporto del particolato solido in sospensione alle bocche di porto della laguna.

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

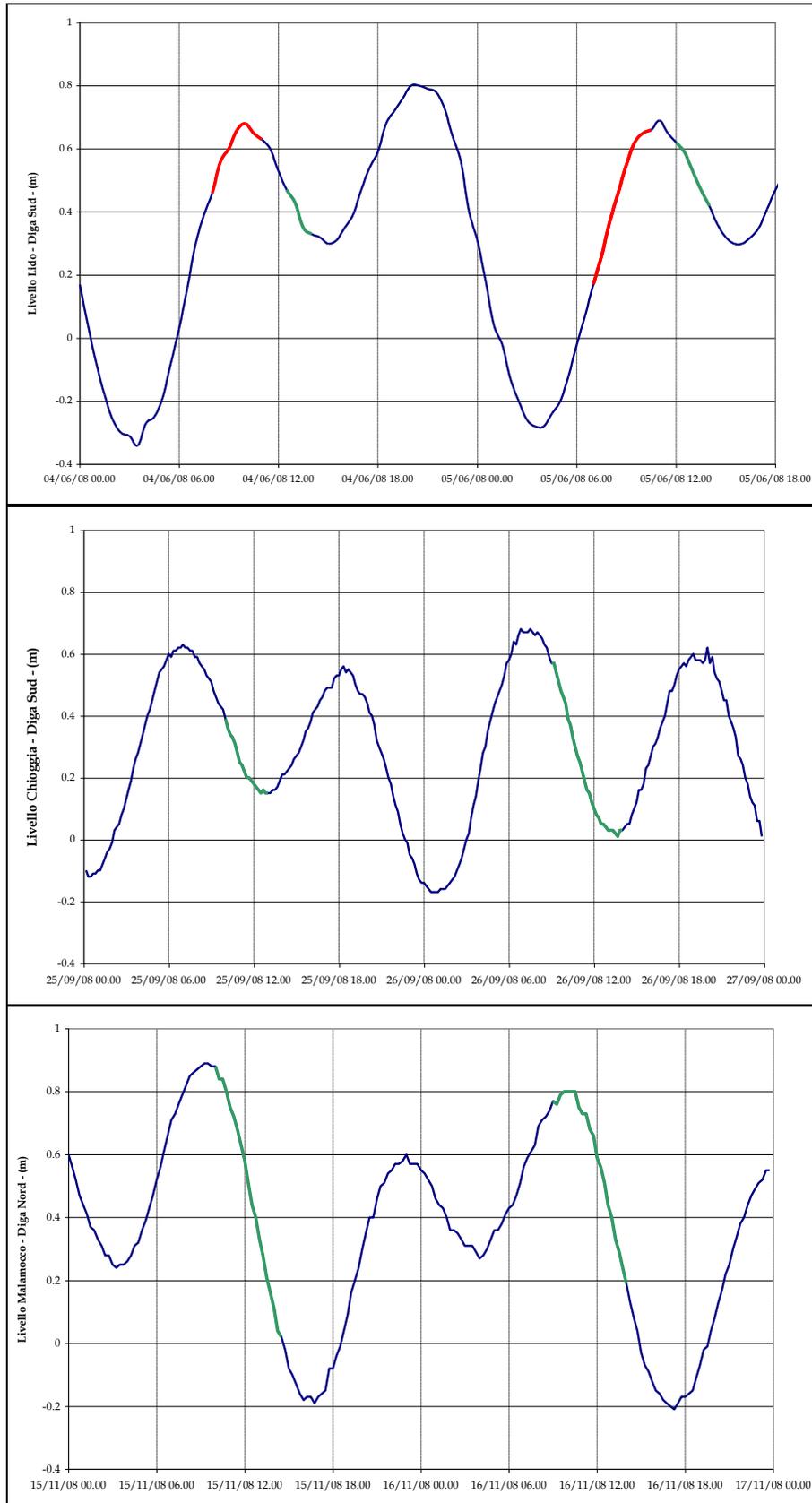


Figura 3.1. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato rispettivamente al mareografo di Lido, Diga Sud, per il periodo compreso tra il 4 ed il 5 Giugno 2008, di Chioggia, Diga Sud, per il periodo compreso tra il 25 ed il 26 Settembre 2008, di Malamocco, Diga Nord, per il periodo compreso tra il 15 ed il 16 Ottobre 2008. In rosso ed in verde sono indicati gli intervalli mareali durante i quali sono state effettuate le operazioni di misura.

### 3.3 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 con metodica IRSA [Quaderno 100/2050/94], che prevede la filtrazione attraverso membrane in policarbonato (Millipore HTTP04700) con porosità di 0.4  $\mu\text{m}$  e diametro di 47 mm.

Di seguito, in Figura 3.2, sono riportati i valori relativi al  $d_{50}$  ottenuti per ciascuna campagna di misura. Le frequenze dei valori mostrano innanzitutto come non esistano differenti tipologie di materiali trasportati tra la fase di marea crescente e la fase di marea calante, rappresentate separatamente per la campagna ISLI effettuata alla bocca di porto di Lido il 4 - 5 Giugno 2008. È possibile notare, inoltre, la forte similarità dei materiali campionati tra la suddetta campagna ISLI e la campagna ISCH effettuata alla bocca di porto di Chioggia il 25 - 26 Settembre 2008; infatti, la classe modale in entrambi i casi è caratterizzata da valori compresi tra 20  $\mu\text{m}$  e 40  $\mu\text{m}$ . Inoltre, la granulometria dei materiali campionati in queste due bocche di porto appare ben definita come si può notare anche dai bassi valori di deviazione standard riportati in grafico. A tal proposito bisogna sottolineare il fatto che l'elevata deviazione standard dei dati ottenuti durante il crescente della campagna ISLI è dovuta ad un singolo campione che presenta un valore di  $d_{50}$  pari a 198.4  $\mu\text{m}$ . Diversi appaiono i materiali campionati durante la campagna ISMA effettuata alla bocca di porto di Malamocco il 15 - 16 Ottobre 2008; i valori, infatti, sono caratterizzati da una Maggiore variabilità ed i sedimenti appaiono più grossolani, come si può notare dalla classe modale che presenta valori compresi tra 40  $\mu\text{m}$  e 60  $\mu\text{m}$ .

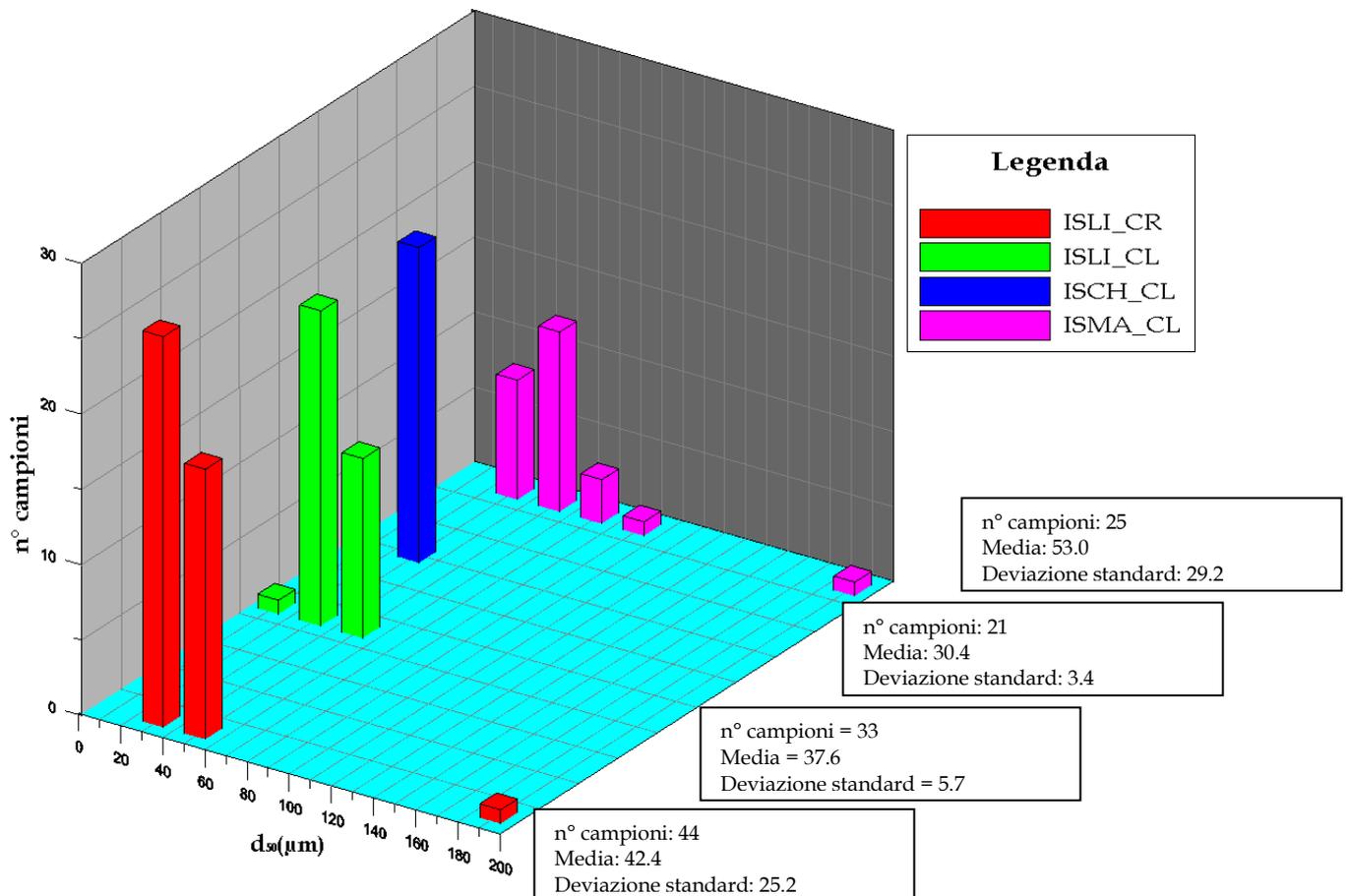


Figura 3.2. Istogramma di frequenza dei valori di  $d_{50}$  per ciascuna campagna di misura. Le sigle CR e CL indicano rispettivamente la fase di marea crescente e la fase di marea calante.

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

I risultati appena descritti sono supportati anche dai dati riportati nei diagrammi triangolari di Shepard, rappresentati in Figura 3.3 per ciascuna campagna di misura. Innanzitutto è possibile notare la generale assenza della componente argillosa in tutte e tre le bocche di porto. Inoltre si può osservare, dai campionamenti effettuati durante la campagna svolta alla bocca di porto di Lido, come esista una sostanziale uniformità del particellato solido in sospensione associato alle diverse fasi di marea. Solo un campione sabbioso, citato anche precedentemente a proposito dei valori di  $d_{50}$ , si discosta fortemente dal gruppo. I materiali campionati alle bocche di porto di Lido e di Chioggia appaiono molto simili tra loro ed in entrambi i casi la Maggioranza dei valori risulta essere circoscritta in una zona piuttosto ristretta del diagramma, evidenziando una somiglianza molto spinta dei materiali campionati. Si tratta, infatti, di materiali appartenenti per lo più alle categorie dei limi e dei limi-sabbiosi. I dati relativi alla bocca di porto di Malamocco, invece, risultano distribuiti in modo più ampio, con una Maggior presenza di materiale grossolano. I campioni prelevati nelle giornate di misura sono stati classificati in questo caso come limi, limi-sabbiosi e sabbie limose.

## CORILA

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

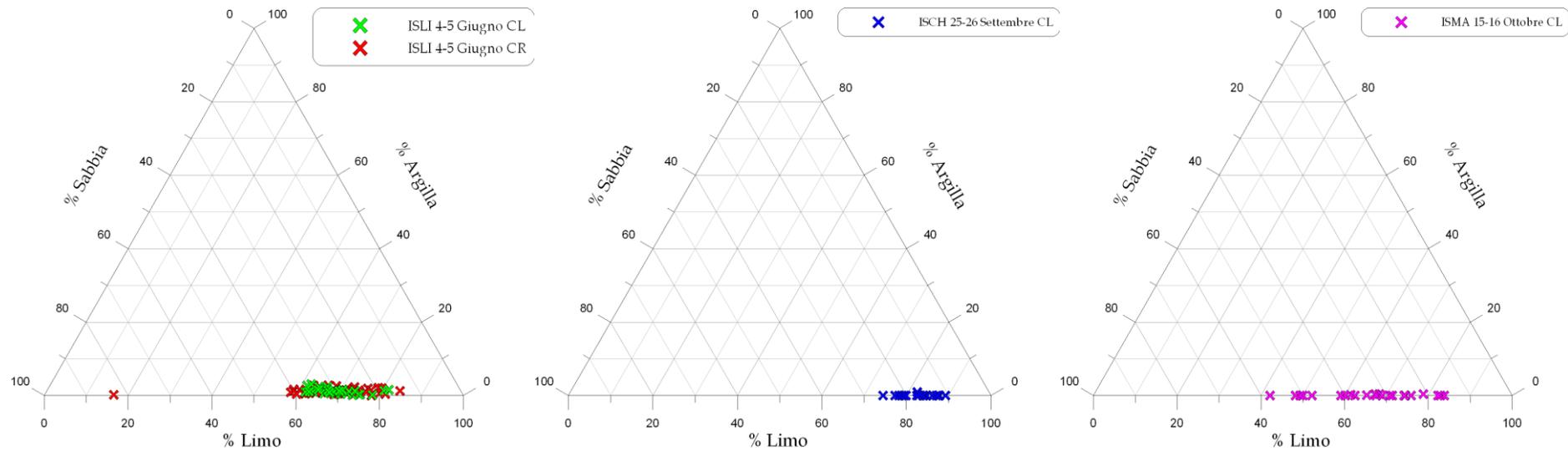


Figura 3.3. Diagramma di Shepard dei campioni prelevati rispettivamente alla bocca di porto di Lido durante i giorni 4 e 5 Giugno 2008, prelevati alla bocca di porto di Chioggia durante i giorni 25 e 26 Settembre 2008 ed alla bocca di porto di Malamocco durante i giorni 15 e 16 Ottobre 2008. I suffissi CR e CL indicano i campioni raccolti durante la fase di marea crescente (CR) e calante (CL).

Per quanto riguarda, invece, le concentrazioni del particolato solido in sospensione, SPM (*Suspended Particle Matter*), ottenute dalla filtrazione dei campioni prelevati sono stati misurati valori moderatamente bassi e variabili non solo tra le diverse campagne di misura ma anche nella stessa bocca di porto, come si può notare in Figura 3.4. In particolare, valori Maggiori caratterizzano la bocca di porto di Lido, nella quale si evidenzia una certa differenza tra le due fasi mareali considerate; infatti, in marea crescente si riscontrano valori tendenzialmente Maggiori, con la classe modale compresa tra 2 mg/l e 4 mg/l, mentre la fase di marea calante ha classe modale compresa tra 0 mg/l e 2 mg/l. Pur trattandosi di valori relativamente bassi, questa situazione risulta anomala, in quanto solitamente si verifica una sostanziale differenza fra le concentrazioni associate al flusso mareale entrante rispetto alle concentrazioni associate al flusso proveniente dalle aree interne della laguna, con valori decisamente superiori durante il calante di marea. Questa è la situazione tipica del comportamento delle tre bocche di porto della laguna di Venezia, anche se solitamente si osserva in maniera più accentuata alla bocca di porto di Lido. L'apparente eccezione osservata nel caso sopra descritto risulterebbe però legata alle Maggiori velocità verificatesi durante le attività di misura svolte in fase di marea crescente che, come si può notare in Figura 3.1, è stata caratterizzata da elevate escursioni mareali.

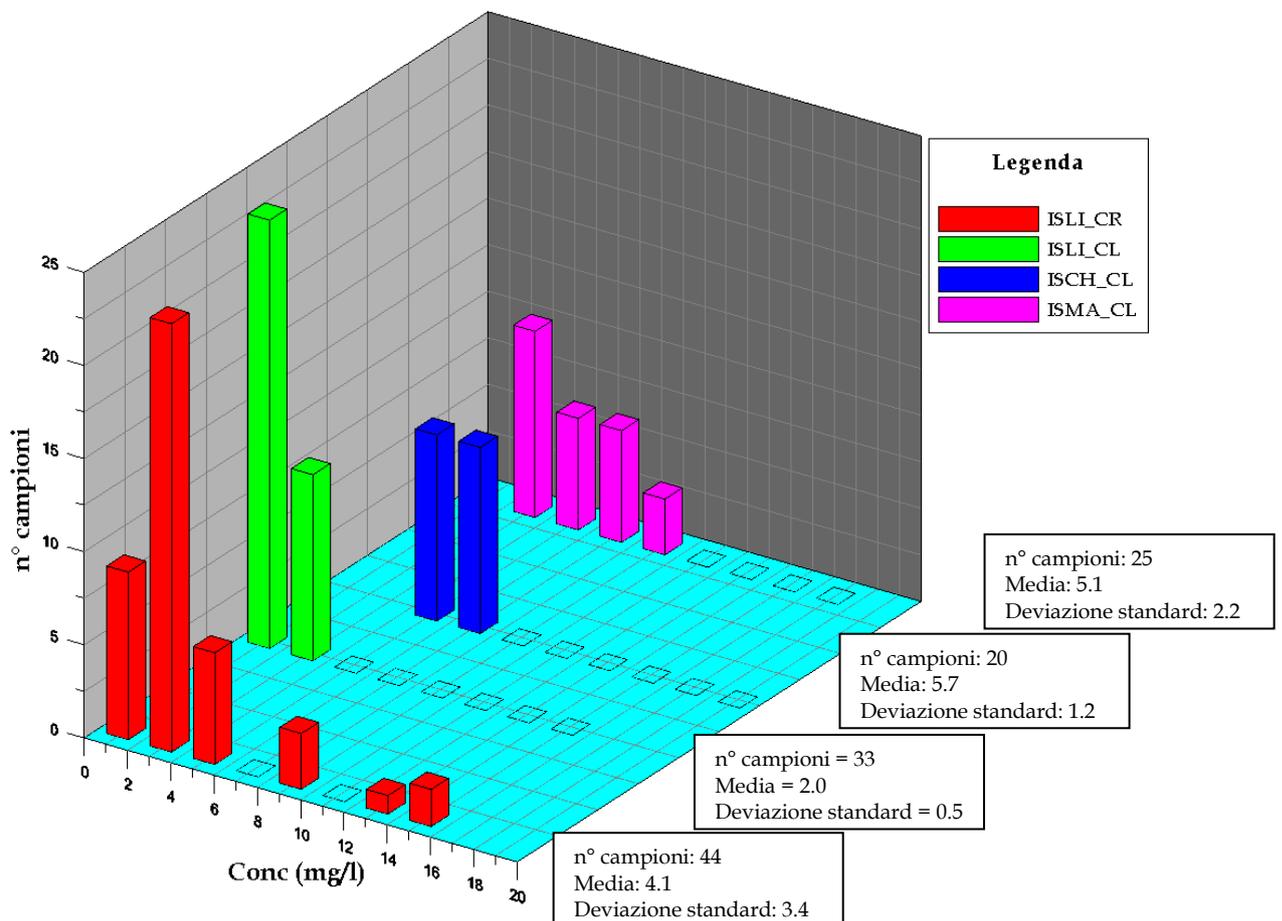


Figura 3.4. Istogramma di frequenza dei valori di concentrazione (mg/l) per ciascuna campagna di misura. Le sigle CR e CL indicano rispettivamente la fase di marea crescente e la fase di marea calante.

### **3.4 Misure granulometriche del particolato solido in sospensione eseguite in situ nella colonna d'acqua**

Lo strumento LISST-100X (Sequoia Scientific Inc., 2004) è stato utilizzato in situ per la valutazione della distribuzione granulometrica del particolato solido in sospensione durante le attività di misura svolte presso la bocca di porto di Chioggia il 25 - 26 Settembre 2008 e presso la bocca di porto di Malamocco il 15 - 16 Ottobre 2008. Qui di seguito si riportano, a titolo di esempio, i principali risultati ottenuti durante le attività di misura effettuate per la campagna il 15 - 16 Ottobre 2008 alla bocca di porto di Malamocco.

#### 3.4.1 Granulometrie del 15 e 16 Ottobre: misure in situ, bocca di porto di Malamocco

La Figura 3.5 mostra le curve granulometriche ricavate dall'analisi dei dati LISST ottenuti durante l'acquisizione in *real-time* nel punto 201 nella bocca di porto di Malamocco, durante la giornata del 15 Ottobre. I dati mostrano una Maggior presenza di materiali più grossolani nella fase centrale del calante di marea in concomitanza alle Maggiori velocità di flusso idrico; i materiali più fini si riscontrano, invece, nella fase finale del calante, quando le velocità di flusso sono ridotte e la stazione di misura è interessata dal transito di materiali provenienti dalle aree interne della laguna. La Figura 3.6 mostra l'andamento del d50 registrato durante il periodo di acquisizione. Esso passa dai 65  $\mu\text{m}$ , registrati all'inizio del calante, agli 80 - 85  $\mu\text{m}$  caratterizzanti la fase centrale di misura, per poi scendere al minimo di 60  $\mu\text{m}$  alla fine del calante stesso. Dal grafico è possibile intuire come durante tutta la fase mareale le caratteristiche dei materiali cambino in relazione alla velocità del flusso che mette in sospensione differenti frazioni granulometriche

Le curve granulometriche estrapolate dall'acquisizione *real-time* (punto 202) del giorno 16 Ottobre in Figura 3.7 mostrano quanto già osservato per il giorno precedente, e cioè rivelano come i sedimenti presenti in sospensione abbiano subito, se pur in modo non marcato, una variazione verso frazioni granulometriche più grossolane presenti durante le fasi in cui Maggiore è stato il flusso idrico, cioè in concomitanza alla fase centrale del calante. Dal grafico di Figura 3.8 si nota come si siano registrati valori generalmente bassi del d50, compresi tra 55 e 65  $\mu\text{m}$ , durante la fase iniziale del calante (Figura 3.1) dove le velocità di flusso sono minori. I valori hanno poi subito, una transizione verso valori più grossolani durante le fasi sostenute del calante, raggiungendo circa i 70  $\mu\text{m}$ .

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

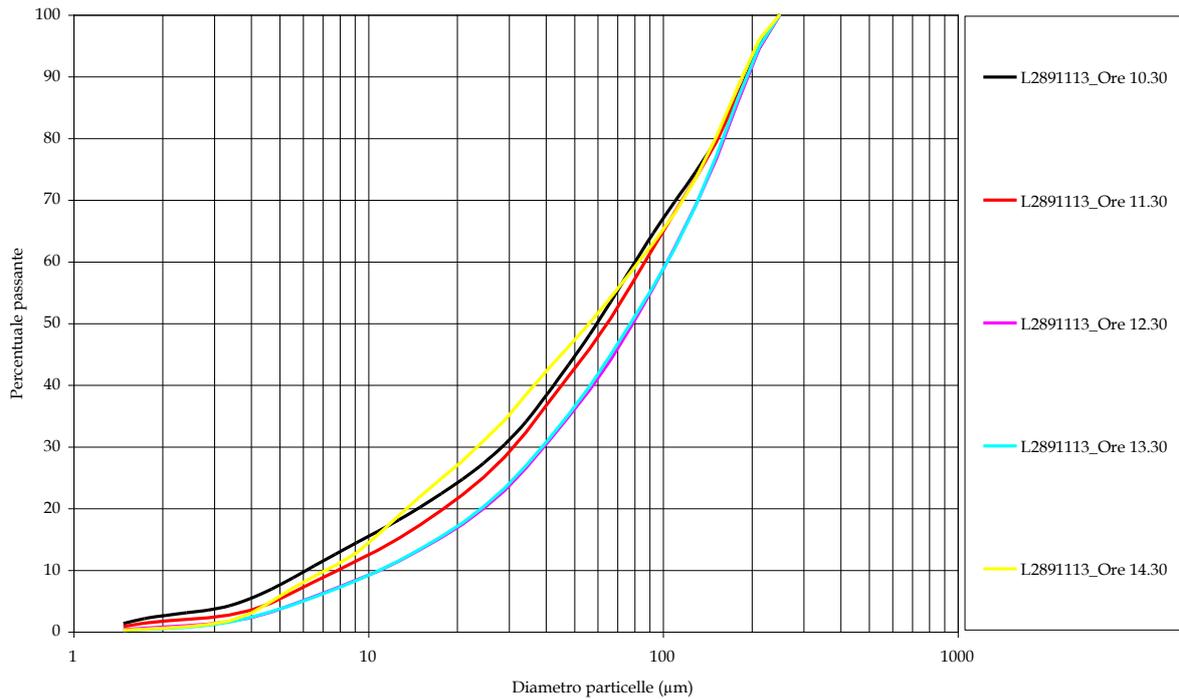


Figura 3.5. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto 201. Figura 1.8) nella fase di marea calante, il giorno 15 Ottobre 2008 presso la bocca di porto di Malamocco.

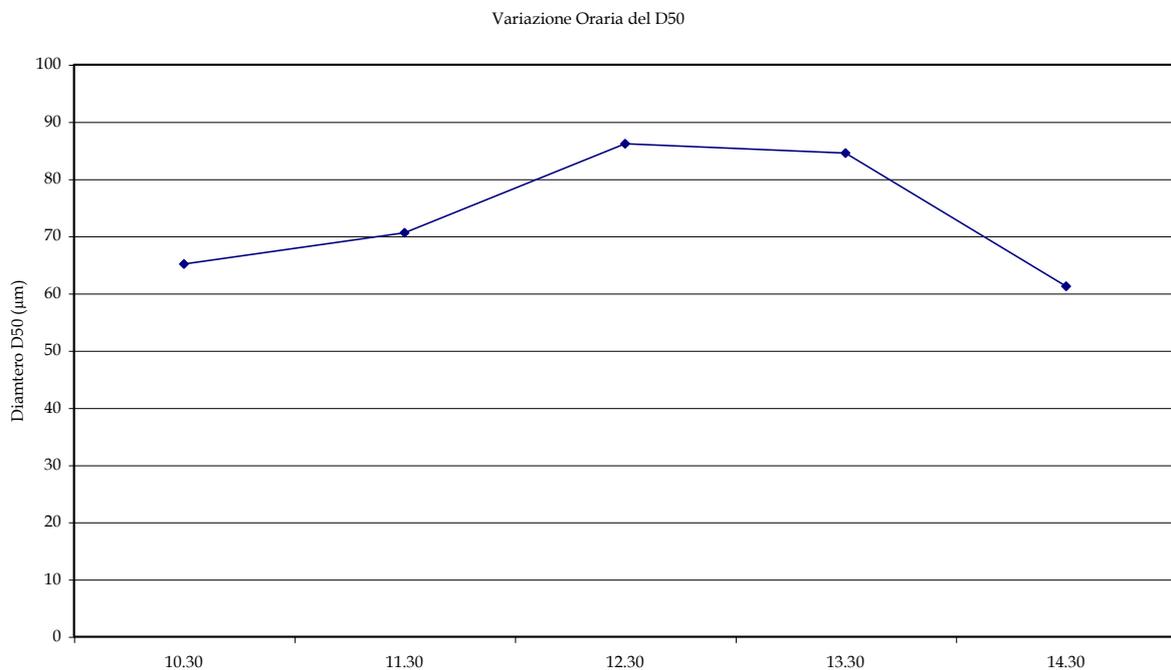


Figura 3.6. Variazione del d50 registrata durante nella fase di marea calante della giornata del 15 Ottobre 2008 (orario 10.30 - 14.30) presso la bocca di porto di Malamocco ( Punto 201. Figura 1.8).

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

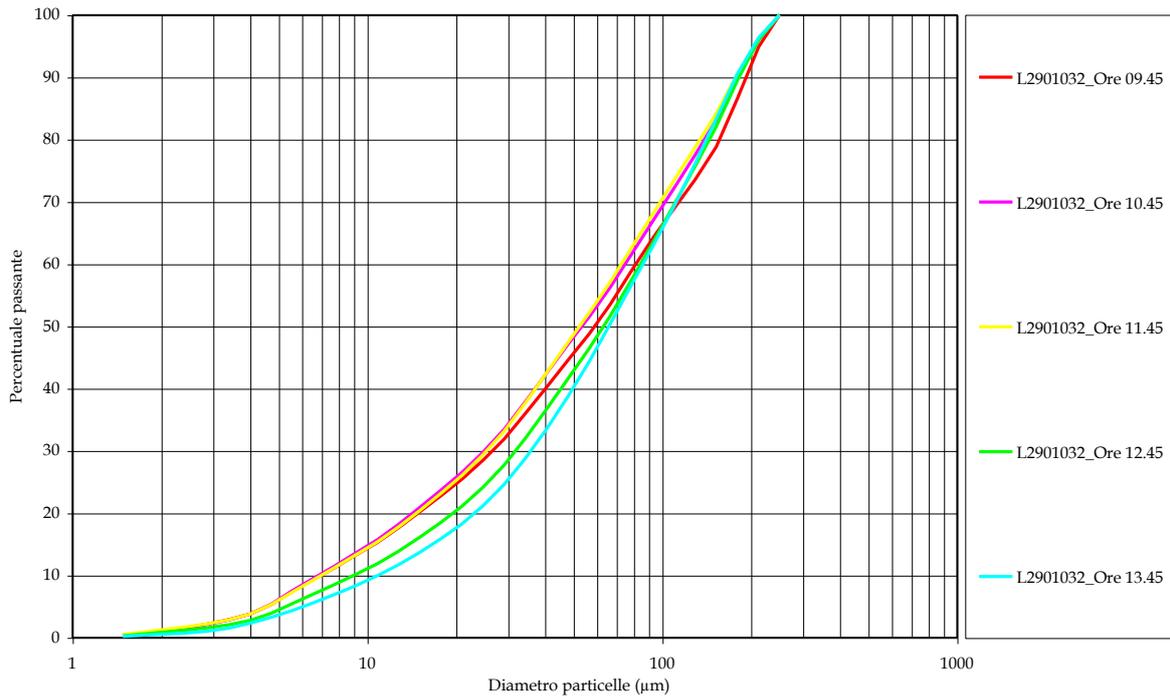


Figura 3.7. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto 202. Figura 1.8) nella fase di marea calante, il giorno 16 Ottobre 2008 presso la bocca di porto di Malamocco.

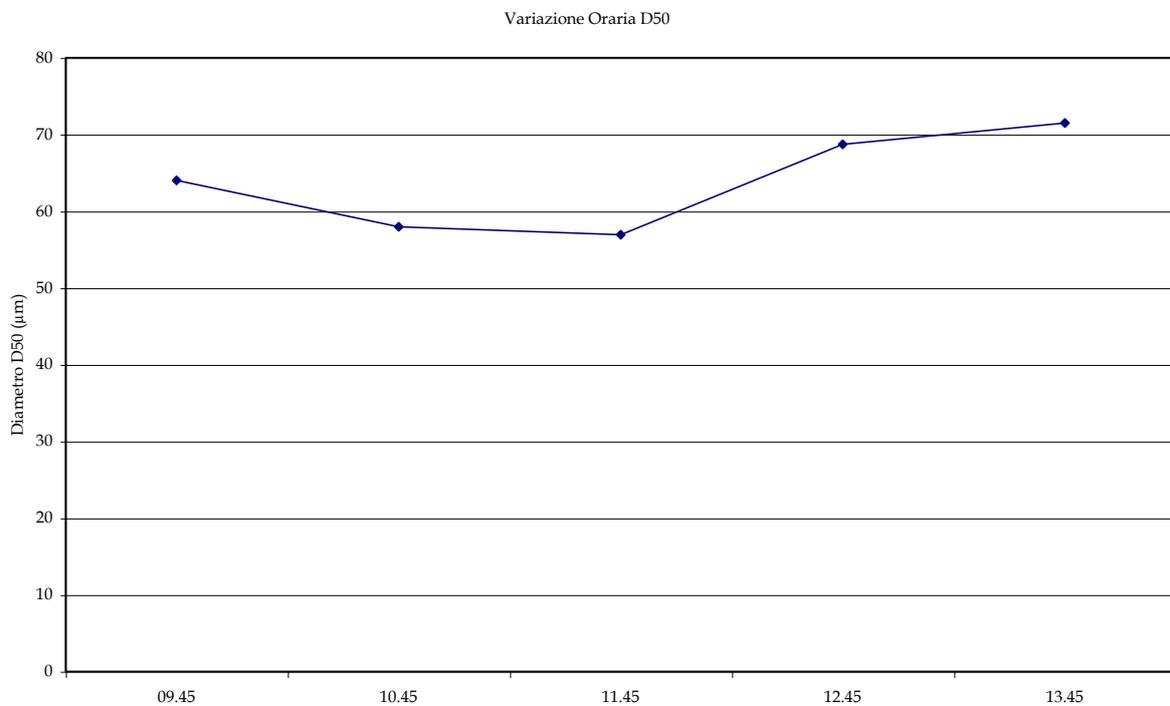


Figura 3.8. Variazione del d50 registrata durante la giornata del 16 Ottobre 2008 nella fase di marea calante (orario 09.45 - 13.45) presso la bocca di porto di Malamocco ( Punto 202. Figura 1.8).

### 3.5 Caratteristiche del campo di velocità e della concentrazione di particolato solido in sospensione

Le caratteristiche idrodinamiche del flusso mareale e la distribuzione/concentrazione del particolato solido trasportato in sospensione dalle correnti sono state indagate lungo le sezioni d'interesse per mezzo dello strumento ADCP, montato su di un supporto solidale al fianco dell'imbarcazione di misura. 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). Di seguito sono riportati i principali risultati ottenuti relativi alla campagna ISLI del 4 - 5 Giugno 2008 svolta presso la bocca di porto di Lido lungo la sezione d'interesse 80 - 82 (Figura 1.6).

#### 3.5.1 Misure idrodinamiche e di concentrazione del particolato solido in sospensione registrate in corrispondenza dei punti d'interesse alla bocca di porto di Lido nei giorni 4 e 5 Giugno 2008

I risultati descritti di seguito rappresentano i profili medi dei valori di velocità (m/s) e di direzione (in gradi rispetto al Nord) del flusso, ed i profili medi verticali di concentrazione (mg/l) del particolato solido in sospensione, che sono stati ricavati attraverso la calibrazione dei valori di *backscatter* registrati dall'ADCP con i valori SPM, per ciascuna stazione di campionamento. Vengono distinte, inoltre, con le sigle CR e CL le due fasi di marea crescente e calante.

Dai grafici riportati nelle Figure 3.9 - 3.12 si evidenzia immediatamente la variabilità generale che caratterizza l'idrodinamica e la concentrazione dei solidi sospesi al momento delle operazioni di misura. In tutte le stazioni prese in esame, le velocità Maggiori sono state registrate in corrispondenza delle misure effettuate durante la fase di marea crescente. Ciò è dovuto alla forte escursione di marea verificatasi in questa fase (Maggiore di 1 m, Figura 3.1). I profili di concentrazione sottolineano ulteriormente la variabilità del campo di moto essendo caratterizzati da notevoli variazioni della concentrazione del trasporto materiale solido in sospensione. Si evidenziano, in questo caso, due trend: il primo caratterizzato da un andamento costante della concentrazione con la profondità, evidente soprattutto nei profili effettuati in condizioni di marea calante e con basse velocità; il secondo trend, invece, è caratterizzato da un aumento progressivo della concentrazione verso le Maggiori profondità. Questo fenomeno, più frequente in condizioni di marea crescente, è legato alla risospensione del materiale di fondo da parte della corrente, che risulta più intensa sul lato nord (stazione 83, Figura 1.6) della sezione e può creare pennacchi verticali di materiale sospeso particolarmente evidenti nei dati di *backscatter* registrati dall'ADCP montato sull'imbarcazione.

Un'altra particolarità interessante che si verifica lungo la sezione 80 - 82 è che in alcuni profili del crescente di marea, ed in particolare in una fascia ristretta al centro della bocca, si osserva un locale aumento della concentrazione tra i 2 m ed i 5 m di profondità a valori di 4 - 5 mg/l. Il fenomeno è visibile nell'immagine associata ai profili di concentrazione in Figura 3.11, che rappresenta i valori di *backscatter* registrati dall'ADCP lungo tutta la sezione ricavati dopo la calibrazione. In particolare, nel campo cerchiato in rosso è evidenziato l'aumento della concentrazione nella parte superficiale del profilo verticale effettuato sul punto ADCP (linea nera).

Sul lato destro della sezione le direzioni della corrente registrate in corrispondenza del punto ROSSO mostrano un andamento singolare (Figura 3.12). Lungo il profilo verticale, sia in condizioni di marea crescente sia in condizioni di marea calante, è visibile infatti una variazione dei valori di direzione a partire dai 6 - 7 m di profondità. Questa variazione è dovuta alla rotazione della corrente anche di  $\pm 60^\circ$  (marea calante) rispetto ai valori superficiali e quindi alla presenza di una struttura turbolenta persistente. Tale fenomeno è meno importante nella fase di marea crescente in cui le velocità risultano assai più sostenute rispetto a quelle del calante.

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

Ed è proprio durante il crescente di marea che si è riscontrato, come usualmente si verifica quando la velocità della corrente è particolarmente elevata, un andamento regolare, caratterizzato da un elevato gradiente, sia dei valori di velocità sia dei valori di concentrazione lungo la colonna d'acqua, con concentrazioni di materiale sospeso Maggiori in prossimità del fondale dovute a risospensione di materiale dal fondo, soprattutto nei canali più profondi.

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

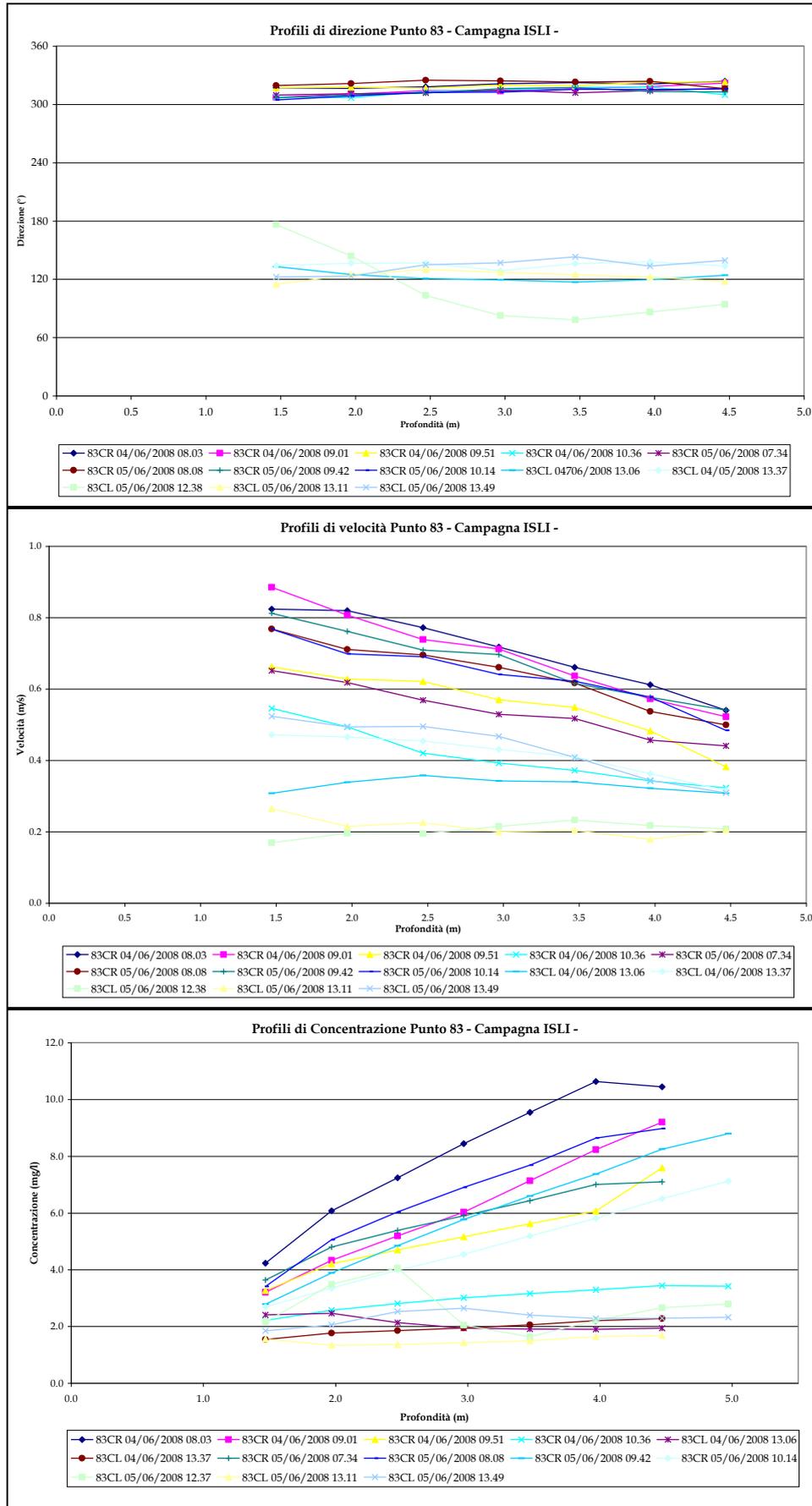
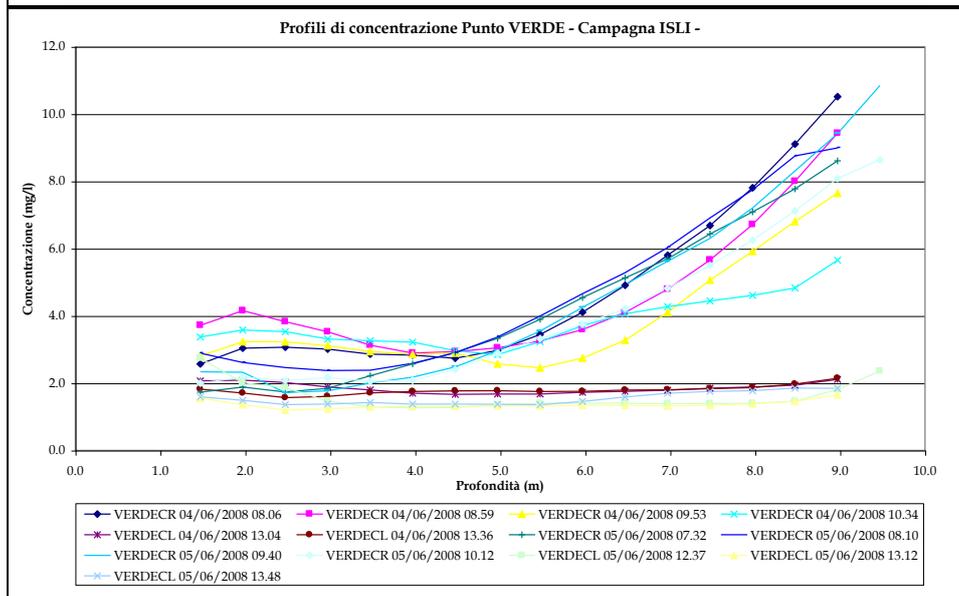
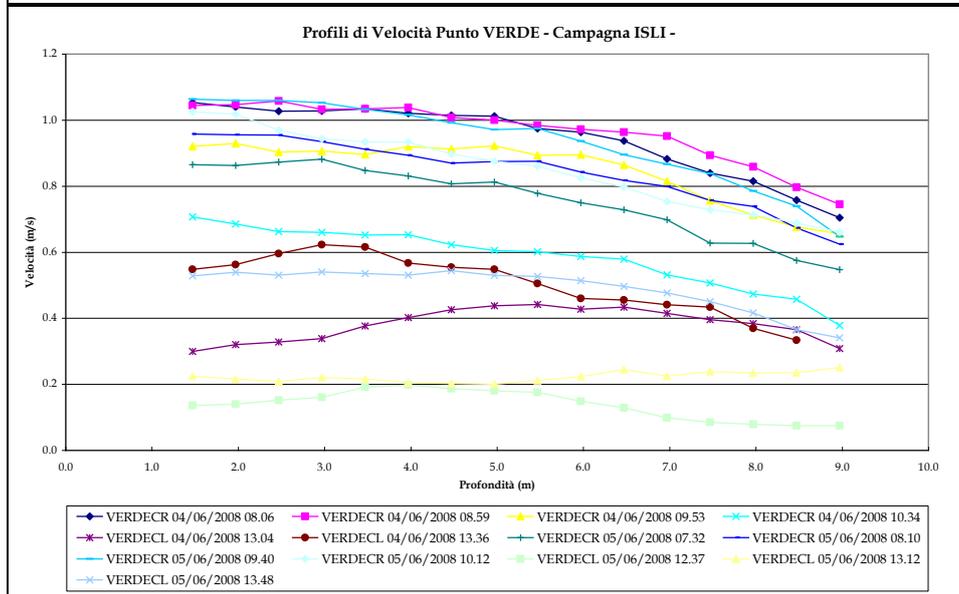
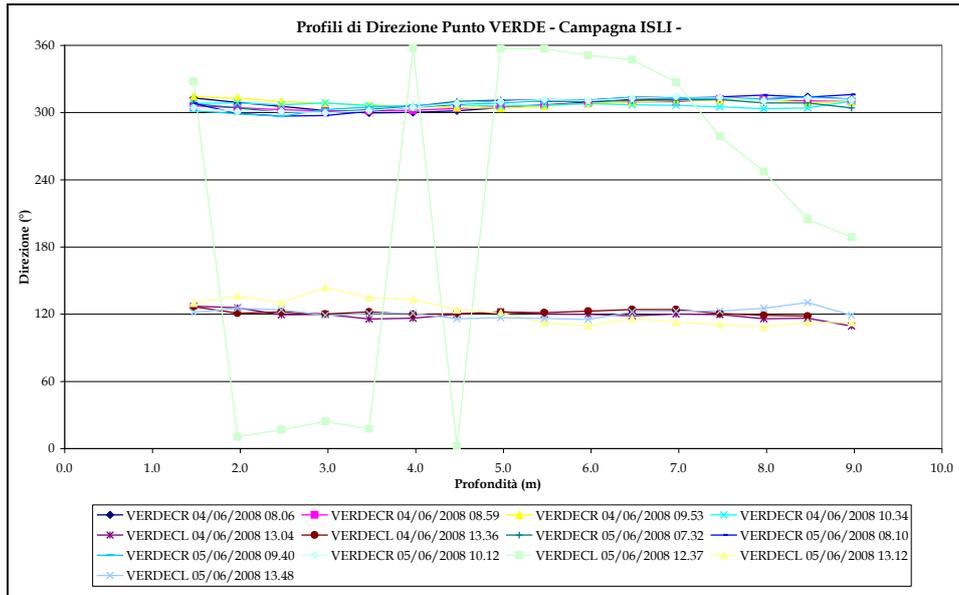


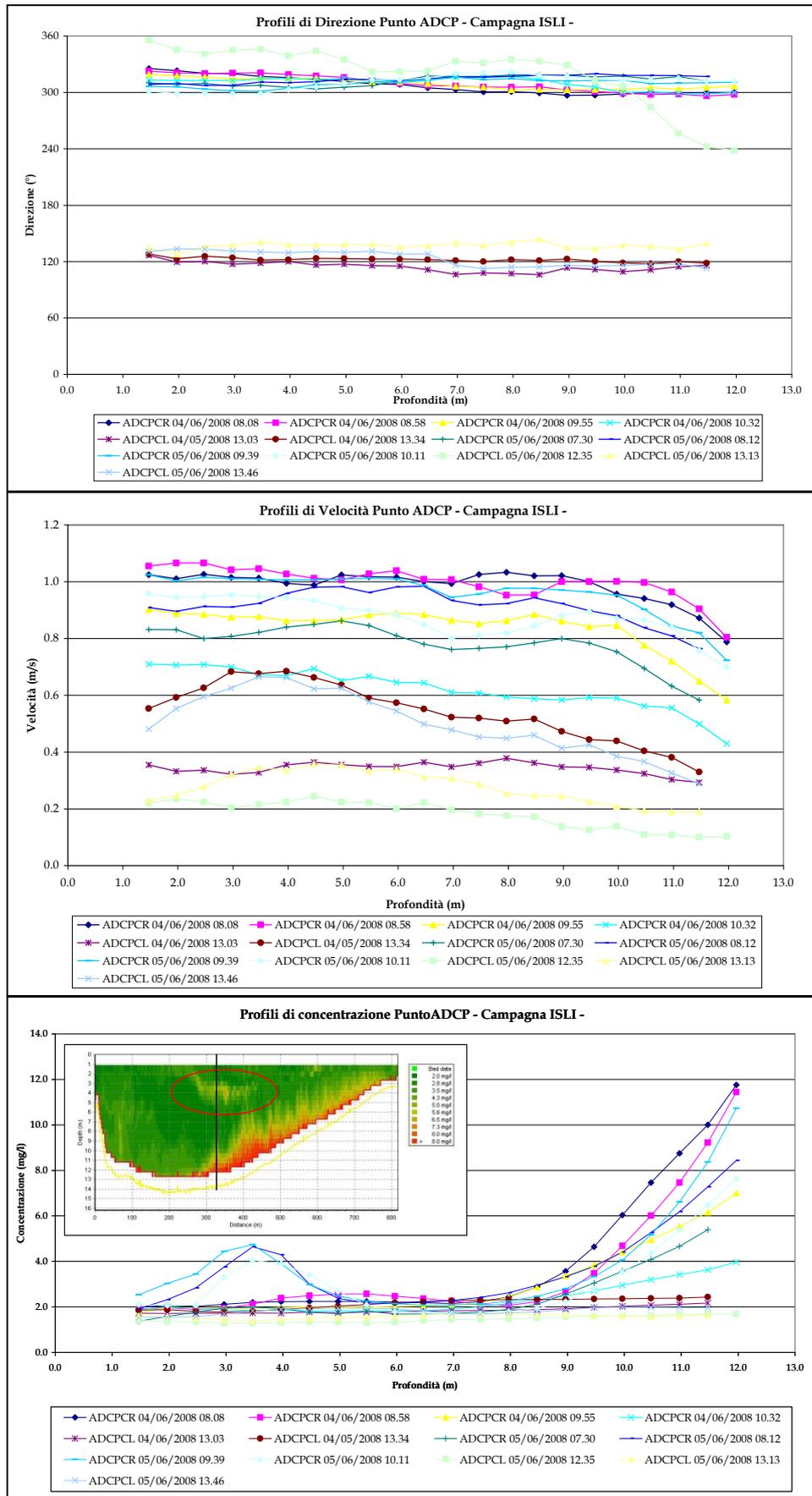
Figura 3.9. Profili di direzione, velocità e concentrazione ottenuti presso la bocca di porto di Lido nella stazione 83 (sezione 80 - 82) nei giorni 4 e 5 Giugno 2008.

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



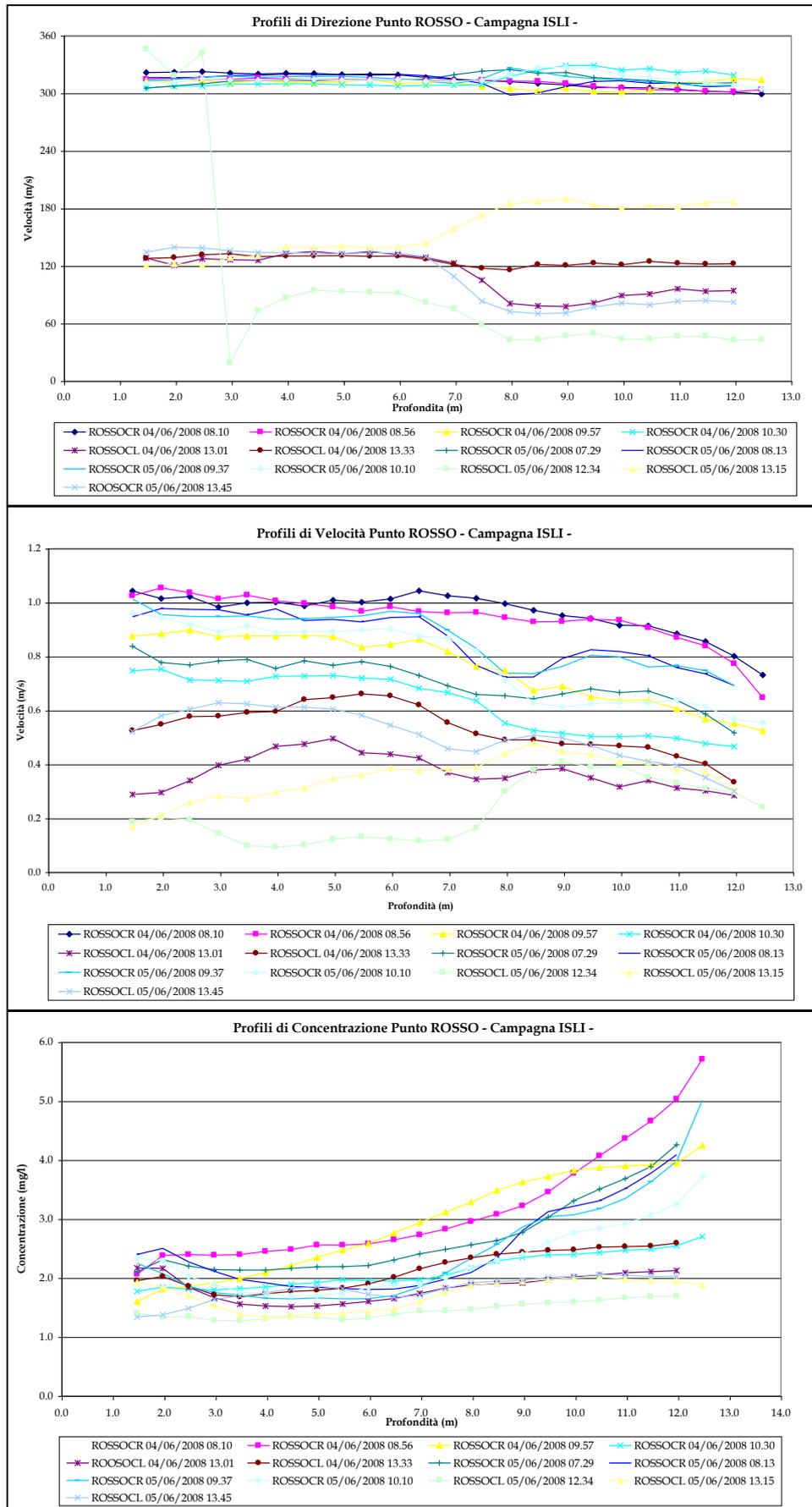
CORILA  
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Figura 3.10. Profili di direzione, velocità e concentrazione ottenuti presso la bocca di porto di Lido nella stazione VERDE (sezione 80 - 82) nei giorni 4 e 5 Giugno 2008.



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

Figura 3.11. Profili di direzione, velocità e concentrazione ottenuti presso la bocca di porto di Lido nella stazione ADCP (sezione 80 - 82) nei giorni 4 e 5 Giugno 2008.



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

Figura 3.12. Profili di direzione, velocità e concentrazione ottenuti presso la bocca di porto di Lido nella stazione ROSSO (sezione 80 - 82) nei giorni 4 e 5 Giugno 2008.

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

### 4.1 Attività di misura

Le attività volte allo studio del meccanismo di trasporto solido in sospensione e al fondo sono state svolte alle tre le bocche di porto della laguna di Venezia. Le campagne di misura sono state effettuate in concomitanza con le indagini incentrate sullo studio delle condizioni idrodinamiche e sulla stima della concentrazione del particellato solido in sospensione in corrispondenza delle sezioni di interesse, riportate nel capitolo precedente. È fatta eccezione per la bocca di porto di Lido in cui, a causa di problemi tecnici, non è stato possibile eseguire lo studio del trasporto solido durante la campagna ISLI (4-5 Giugno 2008) ma l'attività è stata svolta successivamente con un'apposita campagna. Perciò per questo capitolo si farà riferimento alla campagna ISCH (25-26 Settembre 2008) in cui il campo sperimentale è stato allestito presso il punto 0192 (Figura 1.7); alla campagna ISMA (15-16 Ottobre 2008), in cui il campo sperimentale è stato allestito presso i punti 201 (il giorno 15 Ottobre) e 202 (il giorno 16 Ottobre), svolta presso la bocca di porto di Malamocco (Figura 1.8); alla campagna Lfeb (10-11 Febbraio 2009) svolta presso la bocca di porto di Lido, il cui il campo sperimentale è stato allestito presso il punto T (Figura 1.9).

L'attività sperimentale è sinteticamente riassunta in Tabella 1.2.

Nel presente capitolo 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 degli estremi delle sezioni e dei punti di esecuzione dei profili verticali durante le campagne ISCH, ISMA e Lfeb.

Punto	Est	Nord	Note
<b>Campagna ISCH, 25-26 Settembre 2008 alla bocca di porto di Chioggia</b>			
C1	2307077	5012502	
C1A	2306987	5012443	
C1B	2307255	5012616	
0192	2307209	5012583	Trasporto al fondo
C1BG	2307211	5012556	
<b>Campagna ISMA, 15- 16 Ottobre 2008 alla bocca di porto di Malamocco</b>			
201	2309612	5024171	Trasporto al fondo
194	2309682	5024194	
195	2309686	5024143	
196	2309689	5024070	
202	2310167	5024059	Trasporto al fondo
200	2310249	5024075	
199	2310236	5024017	
198	2310205	5023896	
<b>Campagna Lfeb, 10- 11 Febbraio 2009 alla bocca di porto di Lido</b>			
82	2319026	5033468	
83	2318939	5033382	
ADCP	2318670	5033128	
80	2318451	5032920	
T	2318946	5033420	Trasporto al fondo
198	2310205	5023896	

Il campionamento dei sedimenti in sospensione è stato effettuato utilizzando due campionatori 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 (*Benthic Trap*), uno a 20.5 cm dal fondo (*Epi-benthic Trap*), uno a circa due terzi della profondità totale (*Middle Trap*) e l'ultimo in prossimità della superficie (*Surface Trap*). Lo schema è rappresentato in Figura 4.1.

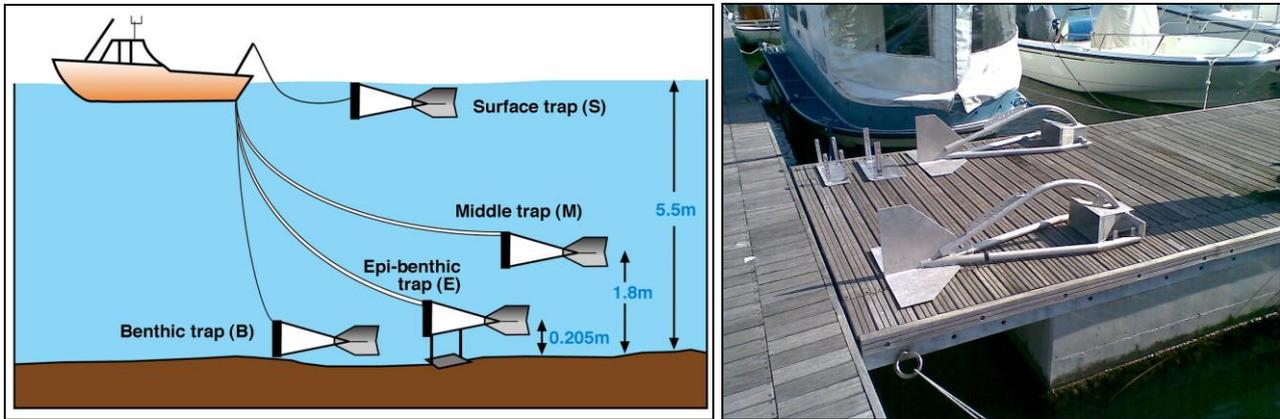


Figura 4.1. Schema di campionamento per la caratterizzazione dei materiali trasportati in sospensione e campionatori del tipo Helley-Smith modificati.

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.

Simultaneamente ai lanci delle trappole è stata collocata al fondo, per tutta la durata del campionamento, una struttura in metallo sulla quale è stata montata la strumentazione ADCP (1200 kHz) per la misura della velocità di corrente e l'acquisizione del *bottom tracking*, per registrare l'eventuale movimento relativo dello strato superficiale del sedimento del fondo (Figura 4.2). Lo strumento è stato montato con trasduttori rivolti verso il fondale ad una altezza da quest'ultimo di circa 85 cm. Lo spessore della colonna d'acqua investigata spazia da 20 a 65 cm dal fondo.

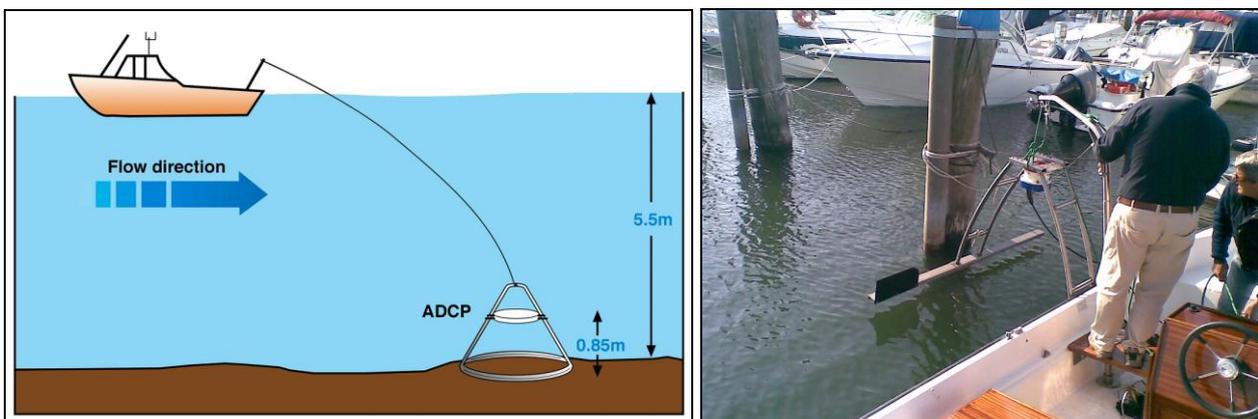


Figura 4.2. Schema di posizionamento della strumentazione ADCP (1200 kHz) sul fondale e approntamento della strumentazione sul supporto.

I campioni di sedimento raccolti in campo sono stati pretrattati presso i laboratori del CNR (Consiglio Nazionale Ricerche, ISMAR - Istituto di Scienze Marine, Venezia). 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 nei campioni. Le successive analisi di laboratorio sono state svolte presso i laboratori del National Oceanography Centre di Southampton (UK). 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 della colonna di sedimentazione sono state estrapolate, attraverso la conversione della velocità di sedimentazione, 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 e l'area dell'apertura della stessa trappola.

#### **4.2 Campagna ISCH, 25-26 Settembre 2008**

Al fine di studiare la distribuzione verticale della componente sabbiosa in relazione all'idrodinamica e di ottenere informazioni dettagliate sulle caratteristiche del trasporto in sospensione è stato allestito un campo sperimentale nei pressi del punto caratteristico 0192, adiacente la sezione di interesse C1A→C1B (Figura 1.7), nella bocca di porto di Chioggia. La profondità del fondale nel punto, in corrispondenza del minimo di marea, è di circa 5.5 m.

Le operazioni di misura sono state effettuate durante due calanti di marea in cui le escursioni di livello registrate sono state di circa 0.45 m per il giorno 25 Settembre e di circa 0.70 m per il giorno 26 Settembre (Figura 4.6). Le condizioni meteo delle giornate di misura sono riassunte in Figura 4.4. Entrambi i periodi di misura sono stati caratterizzati da vento proveniente da NE (circa 50°-60°N) di intensità 5-6 m/s.

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

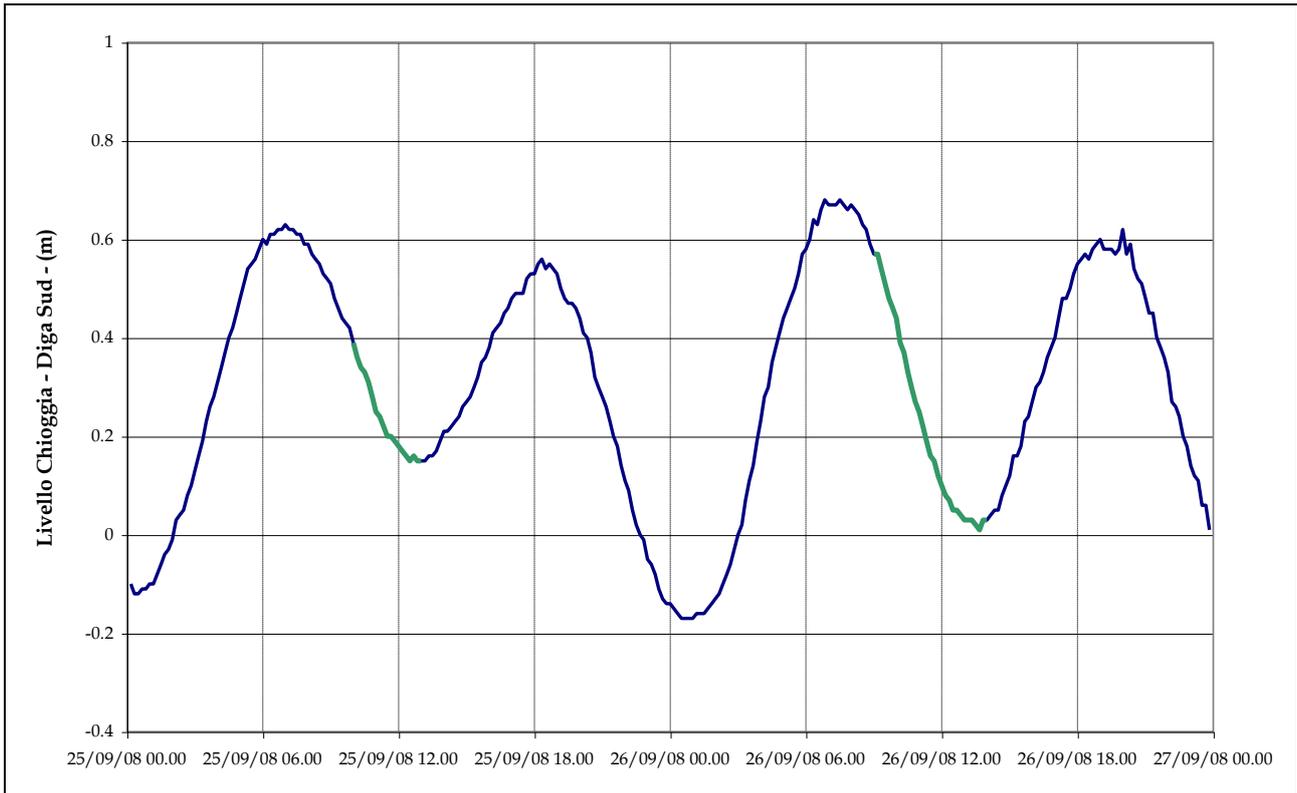


Figura 4.3. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato al mareografo di Chioggia, Diga Sud, per il periodo compreso tra il 25 ed il 26 Settembre 2008. In verde sono indicati gli intervalli mareali durante i quali sono state effettuate le operazioni di misura.

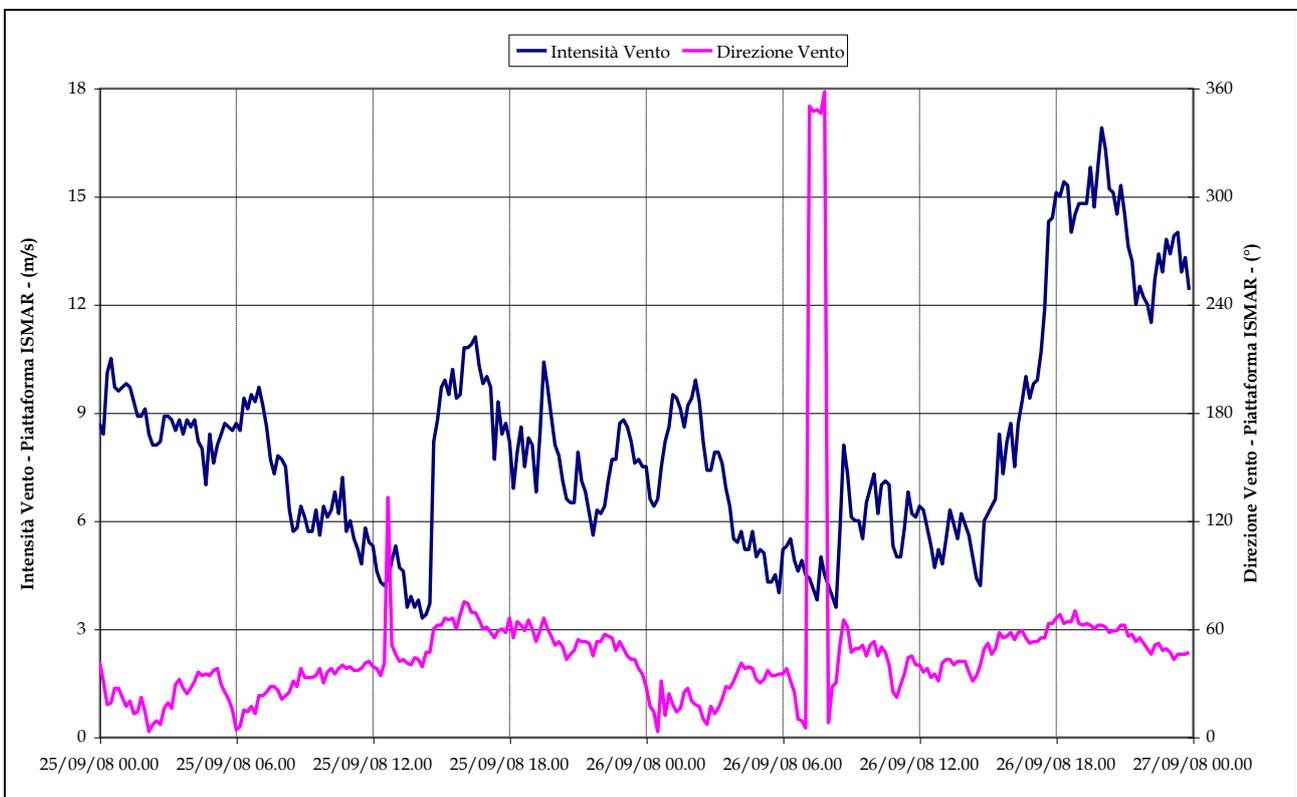


Figura 4.4. Intensità e direzione del vento (valori medi orari, ora UT) registrati alla piattaforma CNR-ISMAR, per il periodo compreso tra il 25 ed il 26 Settembre 2008.

4.2.1 Granulometrie del 25 Settembre: misure in situ

Durante le attività di misura del 25 Settembre è stata calata, solidalmente al supporto a cui è stato fissato l'ADCP (1200 kHz), 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. Dai grafici di Figura 4.5 e 4.6 è facilmente rilevabile come il d50 vari aumentando progressivamente, da 60  $\mu\text{m}$  a poco più di 80  $\mu\text{m}$ , dall'inizio del calante alle sue fasi finali. Inoltre si denota l'aumento anche se molto limitato delle frazioni più grossolane; infatti, i materiali più fini si hanno alle ore 10.00 mentre i più grossolani alla fine del calante alle ore 14.00. Durante le ore centrali del calante non si registrano variazioni significative per quanto riguarda i materiali in sospensione. Per una completa lettura dei dati è stata inserita la Figura 4.7 che riporta l'andamento della curva di profondità, e quindi dell'escursione mareale, registrata dal sensore di pressione dello strumento.

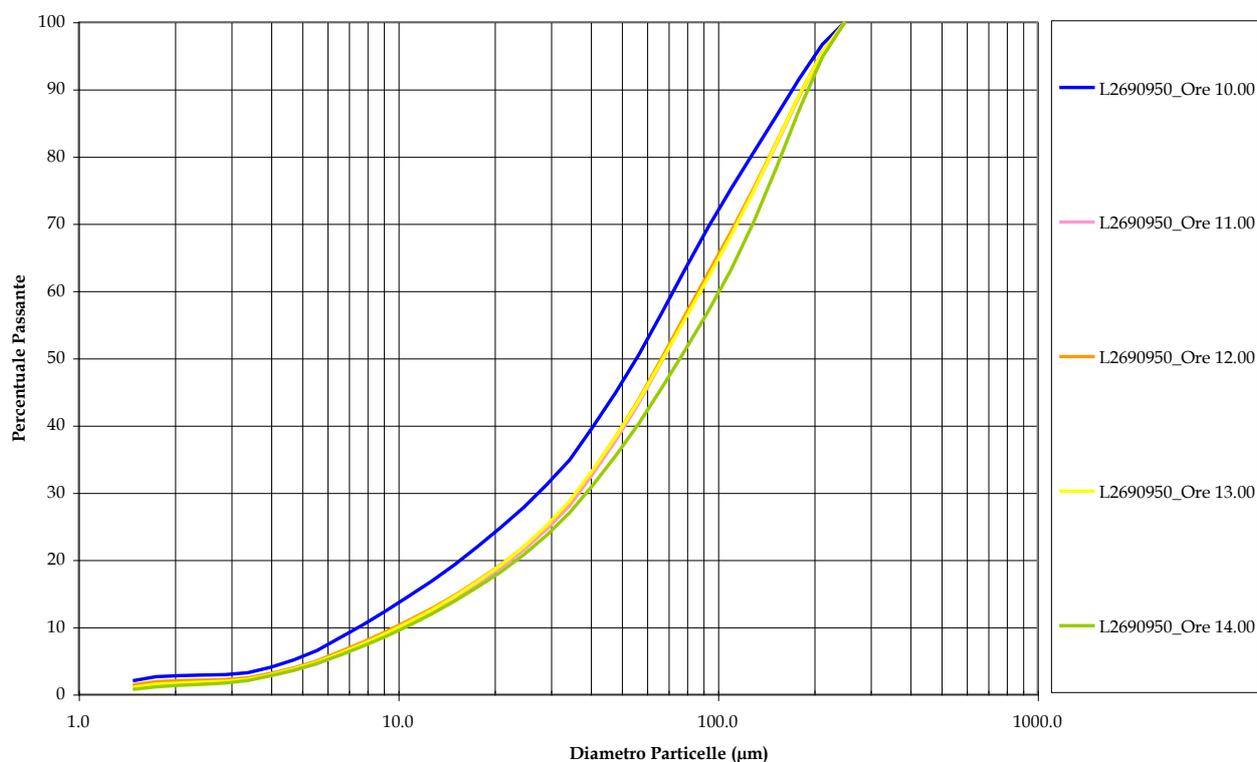


Figura 4.5. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto 192. Figura 1.7) nella fase di marea calante, il giorno 25 Settembre 2008 presso la bocca di porto di Chioggia.

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

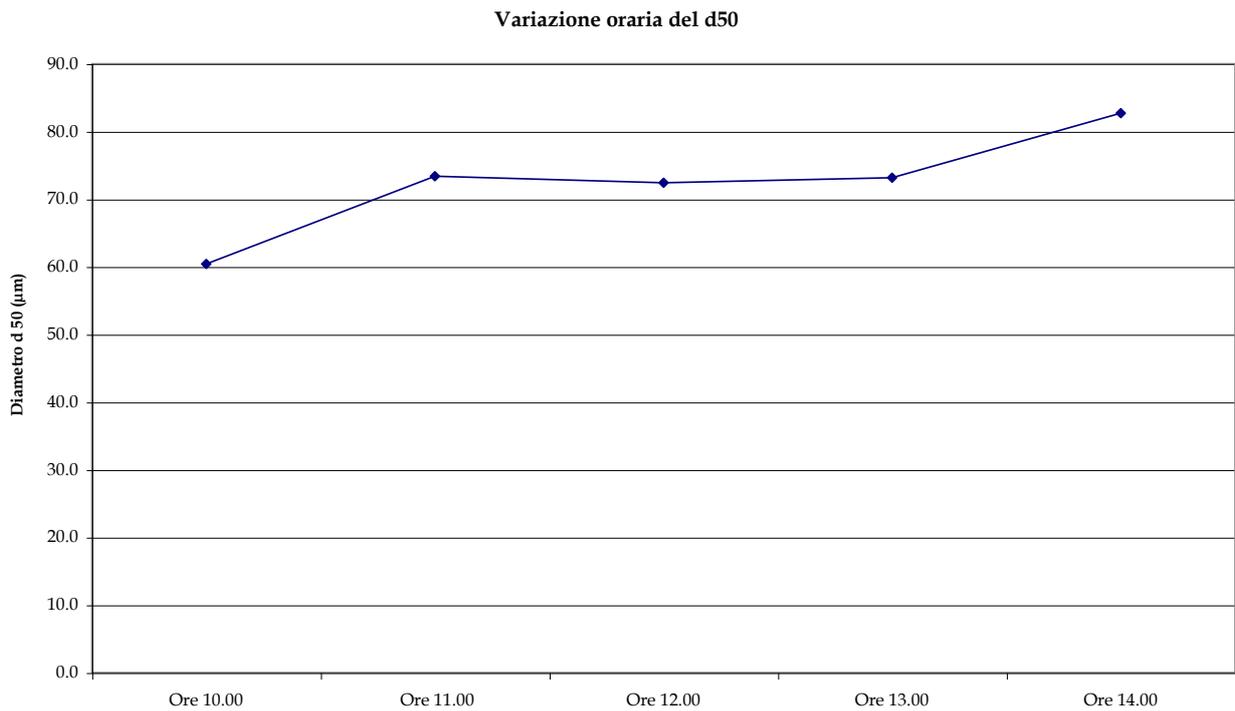


Figura 4.6. Variazione del d50 registrata durante la giornata del 25 Settembre 2008 nella fase di marea calante presso la bocca di porto di Chioggia (Punto 192. Figura 1.7).

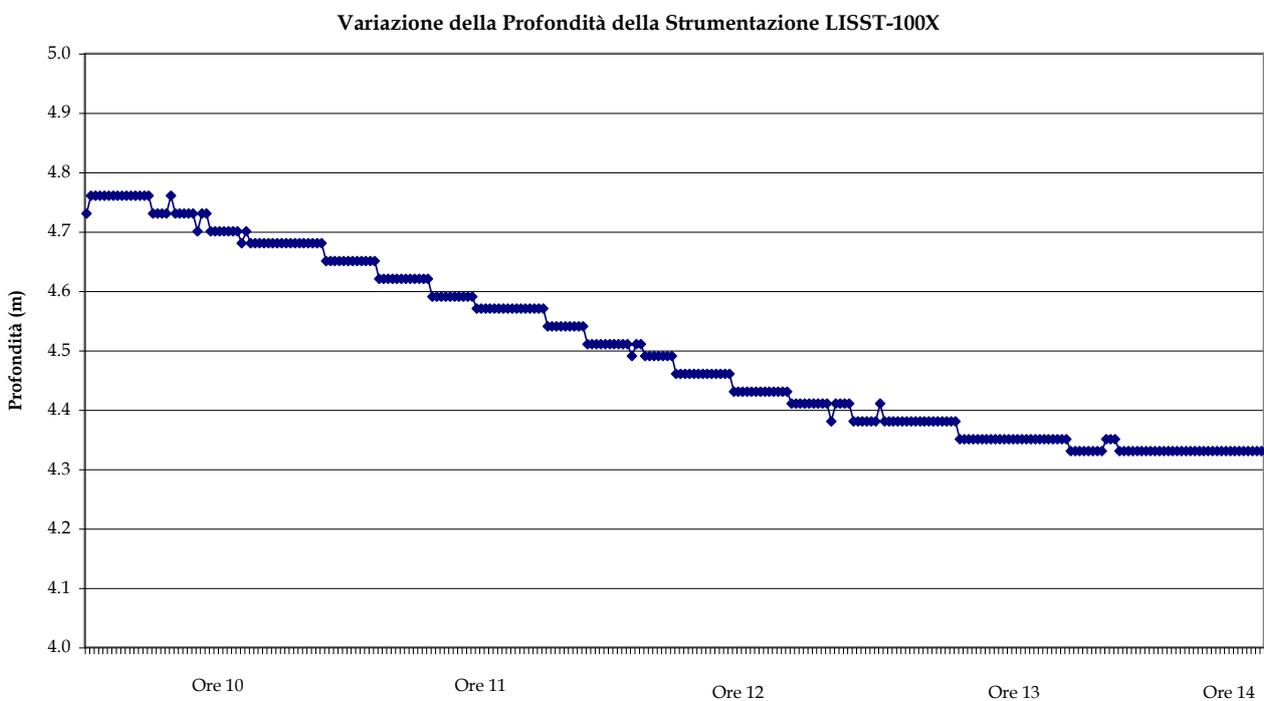


Figura 4.7. Variazione del livello idrico dovuta all'escursione mareale, della strumentazione LISST-100X durante l'acquisizione *real-time*.

4.2.2 Studio sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali solidi sospesi e del trasporto al fondo

Nelle tre colonne in Tabella 4.2 vengono mostrati i valori medi del d50, della percentuale di sostanza organica e della concentrazione di sabbia in sospensione ricavati dalle analisi sui campioni prelevati alla bocca di porto di Chioggia nei giorni 25 e 26 Settembre 2008 (Campagna ISCH).

I valori del d50 variano da un massimo di 290  $\mu\text{m}$  dei sedimenti raccolti dalla trappola bentica ad un minimo di 123  $\mu\text{m}$  dei sedimenti raccolti dalla trappola superficiale. Il contenuto organico, espresso in percentuale sul totale, risulta variabile tra il 14.1% e il 20.4% lungo la colonna d'acqua investigata ed ha un minimo al fondo di 5.4%. La concentrazione della frazione sabbiosa risulta costante per i primi 4 metri di profondità con valori attorno ai 6 - 7 mg/l per poi aumentare bruscamente in prossimità del fondale; infatti le trappole più profonde hanno dato valori di concentrazione di 50.2 mg/l e 356.5 mg/l rispettivamente per l'epi-bentica e la bentica. Appare quindi evidente come vi sia una differenziazione dei materiali trasportati lungo la colonna d'acqua. Infatti, in prossimità della superficie si verifica il trasporto di relativamente poco materiale più fine e caratterizzato da una notevole frazione di sostanza organica, mentre presso il fondo si verifica il maggior trasporto di materiale grossolano e quasi del tutto inorganico.

Tabella 4.2. Diametro medio dei grani (d50), percentuale del contenuto organico e concentrazione della frazione sabbiosa dei campioni raccolti con le trappole.

Campioni	d50( $\mu\text{m}$ )	Contenuto Organico (%)	Concentrazione (mg/l) della frazione sabbiosa (diametri > 64 $\mu\text{m}$ )
	Calante	Calante	Calante
Surface Trap	123	17.26	6.18
Mid-Water Trap	162	20.37	6.87
Epi-Benthic	256	14.12	50.22
Benthic	290	5.44	356.50

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.

Le Figure 4.8 e 4.9 mostrano i grafici degli spostamenti istantanei delle due componenti, Est e Nord, registrate dalla strumentazione dell'ADCP (1200 kHz) posta al fondo durante la giornata del 25 Settembre. Si può notare facilmente come in corrispondenza delle Maggiori velocità (0.6 - 0.8 m/s) si abbiano i Maggiori spostamenti istantanei, dell'ordine di circa 0.7 m per la componente E e 0.6 m per quella N.

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

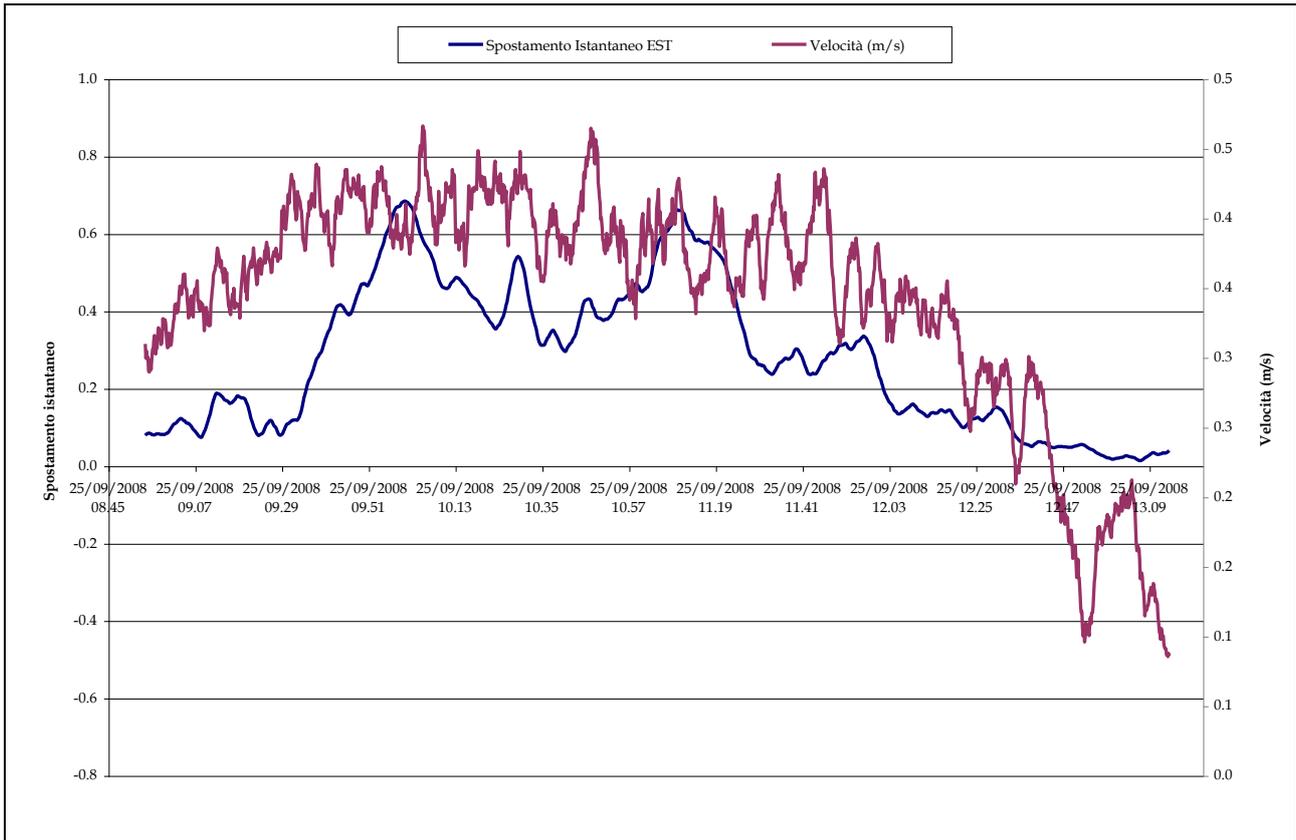


Figura 4.8. Grafico rappresentate lo spostamento istantaneo lungo la componente Est al variare della velocità (media sulla colonna) misurata dall' ADCP (1200 kHz) al fondo il 25 Settembre.

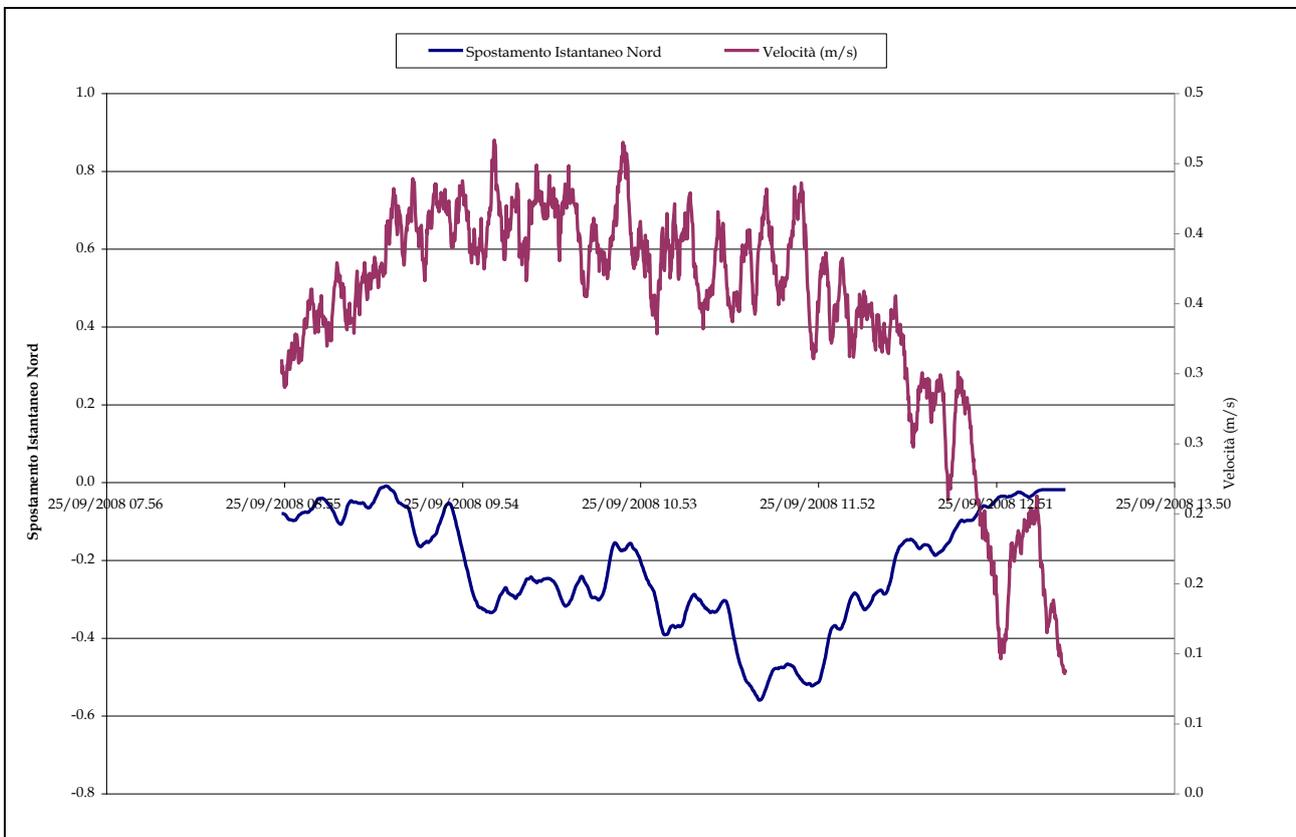


Figura 4.9. Grafico rappresentate lo spostamento istantaneo lungo la componente Nord al variare della velocità (media sulla colonna) misurata dall' ADCP (1200 kHz) al fondo il 25 Settembre.

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

Le Figure 4.10 e 4.11 mostrano, invece, i grafici degli spostamenti istantanei delle due componenti, Est e Nord, per la giornata del 26 Settembre. Mancano alcuni dati nella parte centrale delle curve a causa di alcuni problemi tecnici che hanno interessato la strumentazione ADCP ed il supporto su cui è stata installata durante il periodo d'immersione, non è quindi possibile sovrapporre le due parti della curva. È possibile, comunque, notare anche in questa situazione come alle massime velocità, che si aggirano tra 0.6 m/s e 0.7 m/s, corrispondano i massimi spostamenti, quasi 0.8 m per la componente E e 0.8 m per quella N.

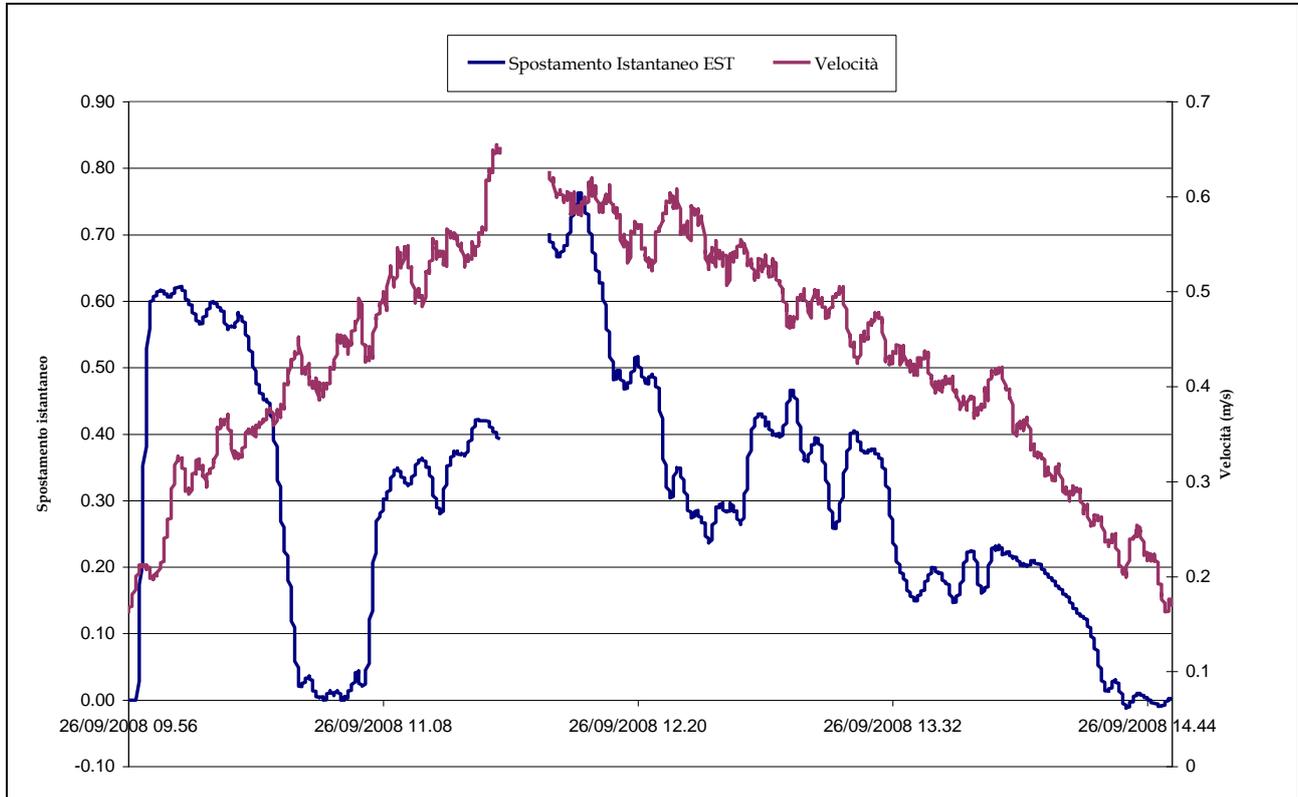


Figura 4.10. Grafico rappresentate lo spostamento istantaneo lungo la componente Est al variare della velocità (media sulla colonna) misurata dall'ADCP (1200 kHz) al fondo il 26 Settembre.

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

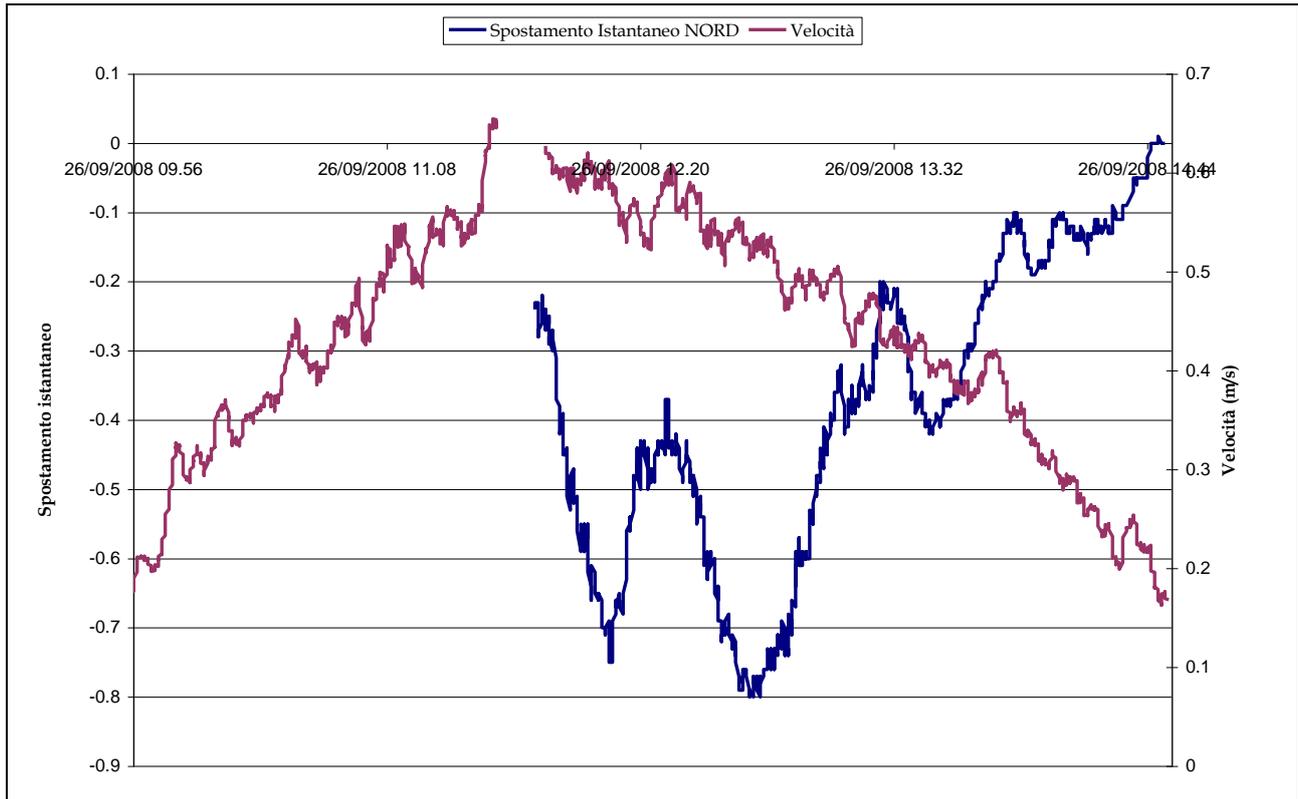


Figura 4.11. Grafico rappresentate lo spostamento istantaneo lungo la componente Nord al variare della velocità (media sulla colonna) misurata dall'ADCP (1200 kHz) al fondo il 26 Settembre.

Si può verificare (Figura 4.12) che i vettori dello spostamento totale risultanti dalle analisi sono assai simili per le due differenti giornate di misura sia per quanto riguarda l'intensità che la direzione. Questo risultato è piuttosto soddisfacente e sembra confermare la possibilità dell'utilizzo della metodologia per una stima dell'entità del trasporto al fondo. In particolare si è ottenuto per la giornata del 25 Settembre uno spostamento totale di 580 m corrispondente ad una velocità media di circa 3 cm/s con una direzione pari a 126°N. Nelle misure effettuate durante la giornata del 26 Settembre si è determinato uno spostamento totale 514 m, nella seconda fase del calante (nella fase iniziale un problema di posizionamento dell'imbarcazione di appoggio ha impedito la rilevazione dello strumento) corrispondente ad una velocità di trasporto di circa 4.8 cm/s con direzione 142°N. Il Maggiore spostamento determinato nella seconda giornata di misura è dovuto alla Maggiore velocità della corrente, indotta dalla Maggiore escursione mareale. La Maggiore velocità media ottenuta nella seconda giornata di misure è dovuta al fatto che sono state scartate dall'elaborazione le informazioni relative alla parte iniziale del calante caratterizzate da velocità inferiori.



Figura 4.12. Vettori di spostamento ricavati dai dati del *bottom tracking* misurati dalla strumentazione ADCP sistemata al fondo (Punto 0192).

### 4.3 Campagna ISMA, 15-16 Ottobre 2008

Per quanto riguarda la campagna ISMA, effettuata alla bocca di porto di Malamocco nei giorni 15 e 16 Ottobre 2008, l'indagine mediante le trappole *Helley-Smith* relativa al trasporto solido in sospensione ed al fondo della colonna d'acqua è stata svolta presso il punto 201 per il giorno 15 Ottobre e presso il punto 202 per il giorno 16 Ottobre. Il supporto dell'ADCP è stato calato su fondale di circa 6 m il giorno 15 Ottobre e su fondale di circa 12 m il giorno 16 Ottobre. Il cambiamento della sezione d'interesse e del punto di immersione delle trappole è stato determinato a seguito del verificarsi di condizioni non idonee alle misure nella prima sezione scelta (macroturbolenza con inversione della velocità).

Le attività di misura sono state effettuate durante due fasi di calante caratterizzate da massime escursioni di marea intorno al metro (Figura 4.13). In particolare durante il calante del giorno 15 Ottobre l'escursione mareale è stata piuttosto importante e ha raggiunto il valore di 1.1 m. Per quanto riguarda le condizioni meteomarine, registrate dalla piattaforma CNR-ISMAR e schematizzate in Figura 4.14, si può verificare che durante la prima giornata di misure l'intensità del vento è calata progressivamente dai 10 m/s a valori compresi tra i 5-7 m/s mentre la direzione si è mantenuta costante dal quadrante di NE (40°-50° Nord). Durante le operazioni di misura della seconda giornata le velocità del vento sono invece risultate molto più modeste con intensità dell'ordine dei 2-4 m/s e direzione da O.

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

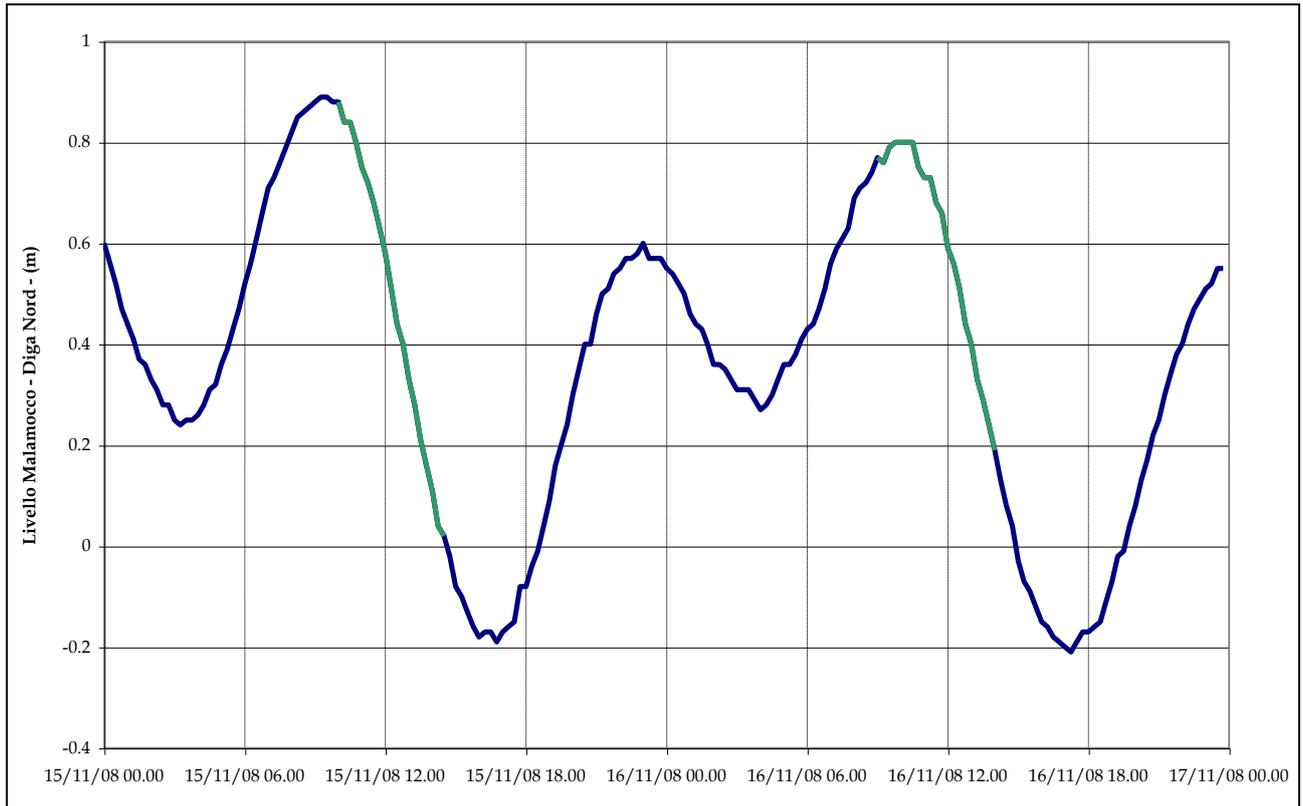


Figura 4.13. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato al mareografo di Malamocco, Diga Nord, per il periodo compreso tra il 15 ed il 16 Ottobre 2008. In verde sono indicati gli intervalli mareali durante i quali sono state effettuate le operazioni di misura.

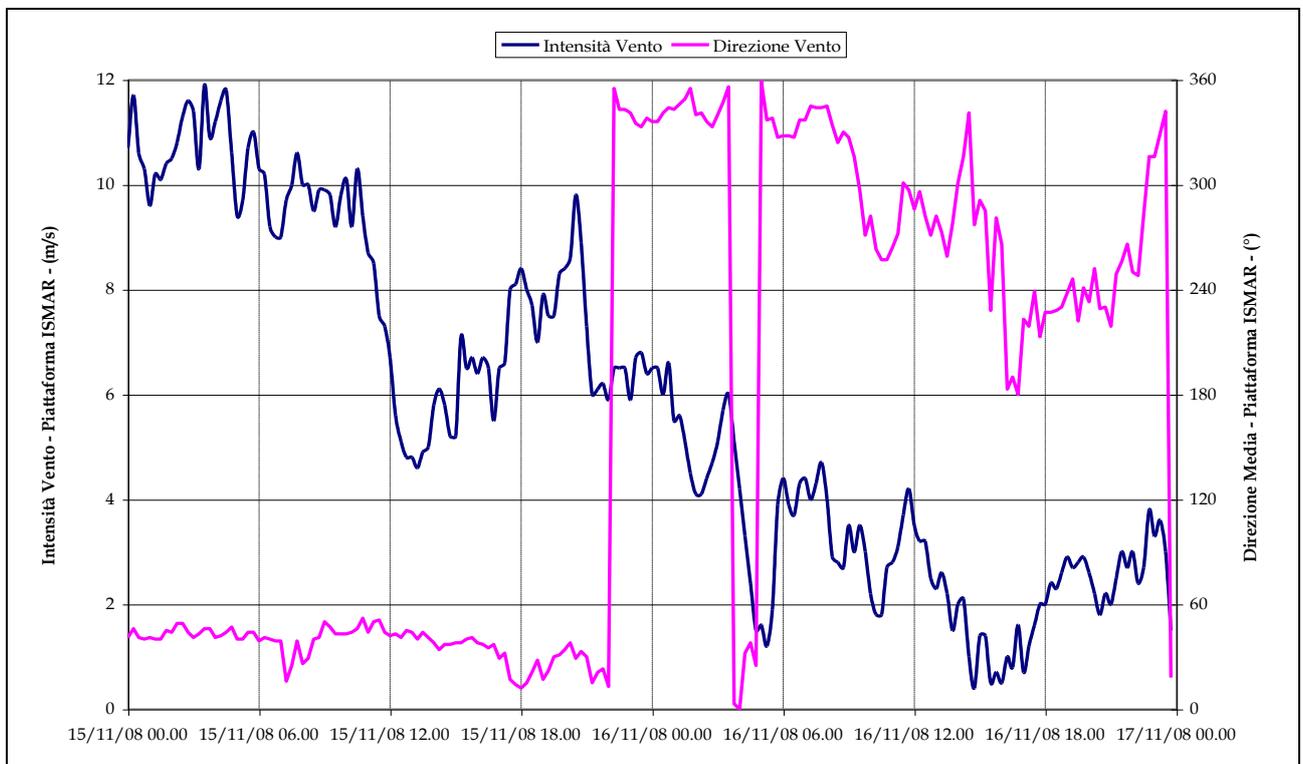


Figura 4.14. Intensità e direzione del vento (valori medi orari) registrati alla piattaforma CNR-ISMAR, per il periodo compreso tra il 15 ed il 16 Ottobre 2008.

4.3.1 Granulometrie del 15 e 16 Ottobre: misure in situ

La Figura 4.15 mostra le curve granulometriche ricavate dall'analisi dei dati LISST ottenuti durante l'acquisizione in real-time nel punto 201 durante la giornata del 15 Ottobre. I dati mostrano una Maggiore presenza di materiali più grossolani nella fase centrale del calante di marea in concomitanza alle Maggiori velocità di flusso idrico; i materiali più fini si riscontrano, invece, nella fase finale del calante, quando le velocità di flusso sono ridotte e la stazione di misura è interessata dal transito di materiali provenienti dalle aree interne della laguna. La Figura 4.16 mostra l'andamento del  $d_{50}$  registrato durante il periodo di acquisizione. Esso passa dai 65  $\mu\text{m}$ , registrati all'inizio del calante, ai 80 - 85  $\mu\text{m}$  caratterizzanti la fase centrale di misura, per poi scendere al minimo di 60  $\mu\text{m}$  alla fine del calante stesso. Dal grafico si riesce a intuire come durante tutta la fase mareale le caratteristiche dei materiali cambino in relazione alla velocità del flusso che mette in sospensione differenti gradazioni di materiale granulometrico. Per la corretta lettura dei dati è stata inoltre inserita la Figura 4.17 che mostra le diverse posizioni dello strumento nel tempo, essendo variata la quota di immersione per effetto della spinta della corrente essendo, in questo caso, lo strumento semplicemente immerso dall'imbarcazione di misura.

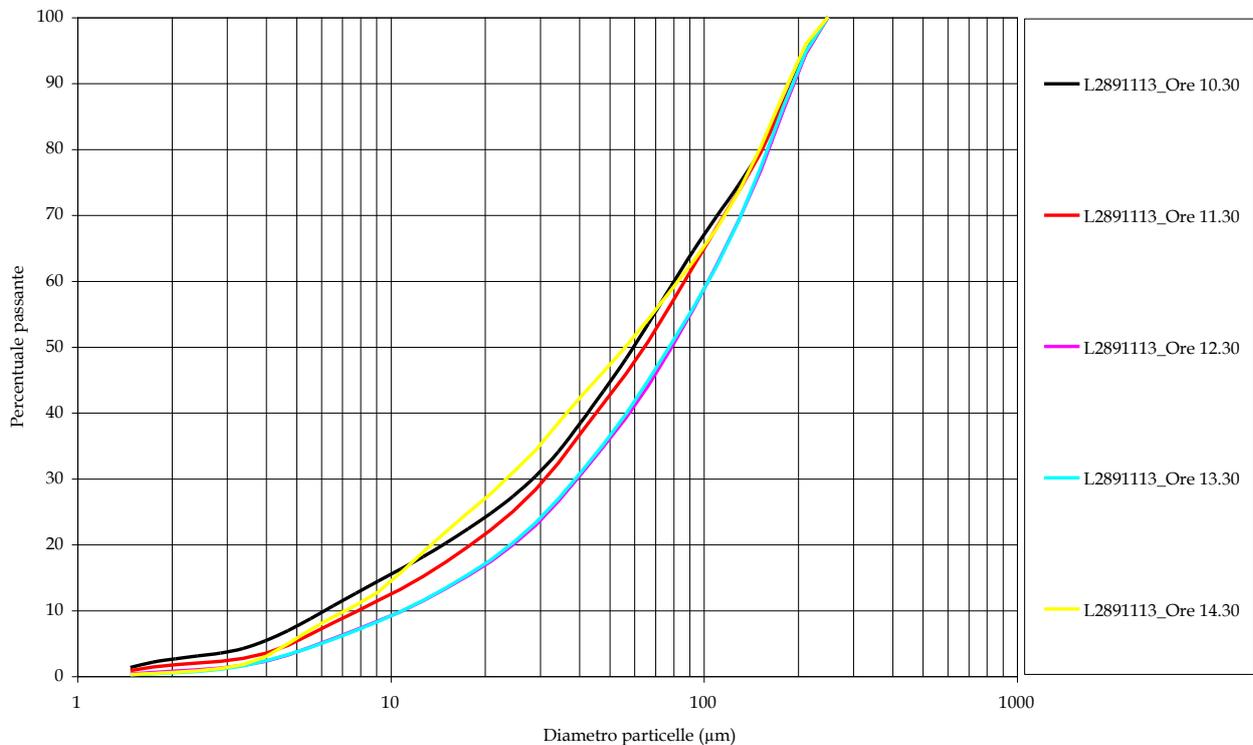


Figura 4.15. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto 201. Figura 1.8) nella fase di marea calante, il giorno 15 Ottobre 2008 presso la bocca di porto di Malamocco.

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

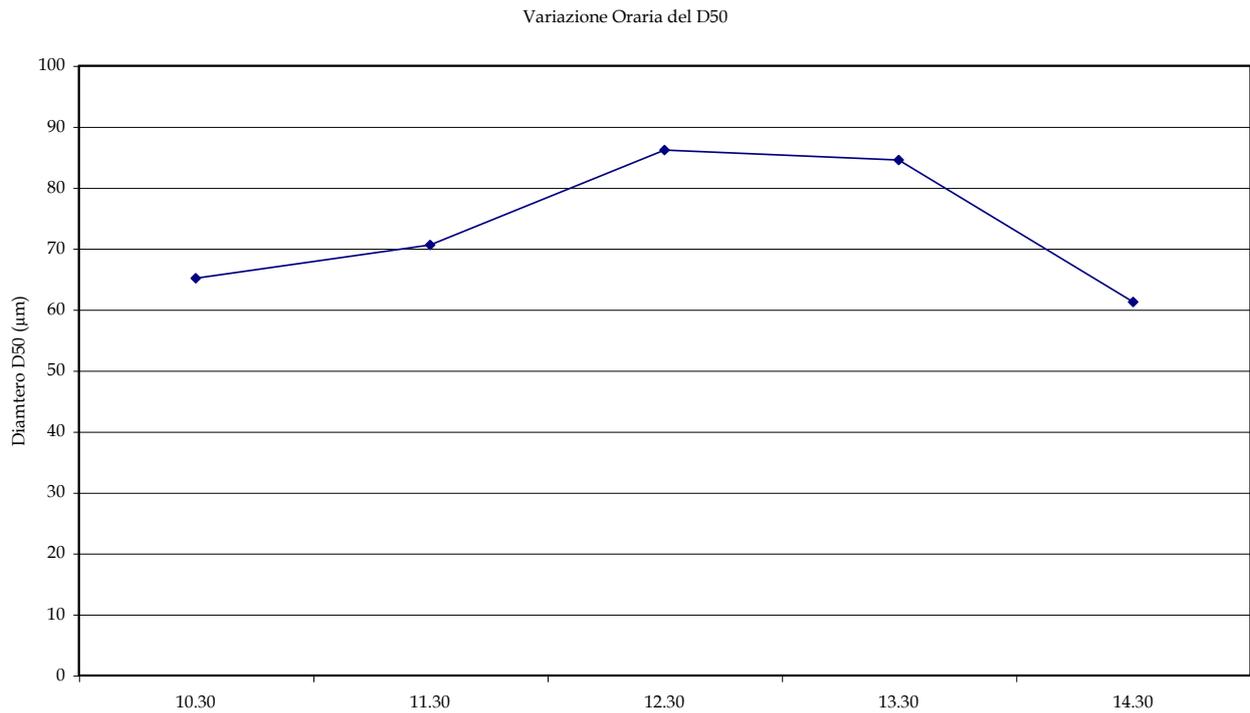


Figura 4.16. Variazione del d50 registrata durante la giornata del 15 Ottobre 2008 nella fase di marea calante (orario 10.30 - 14.30) presso la bocca di porto di Malamocco (Punto 201. Figura 1.8).

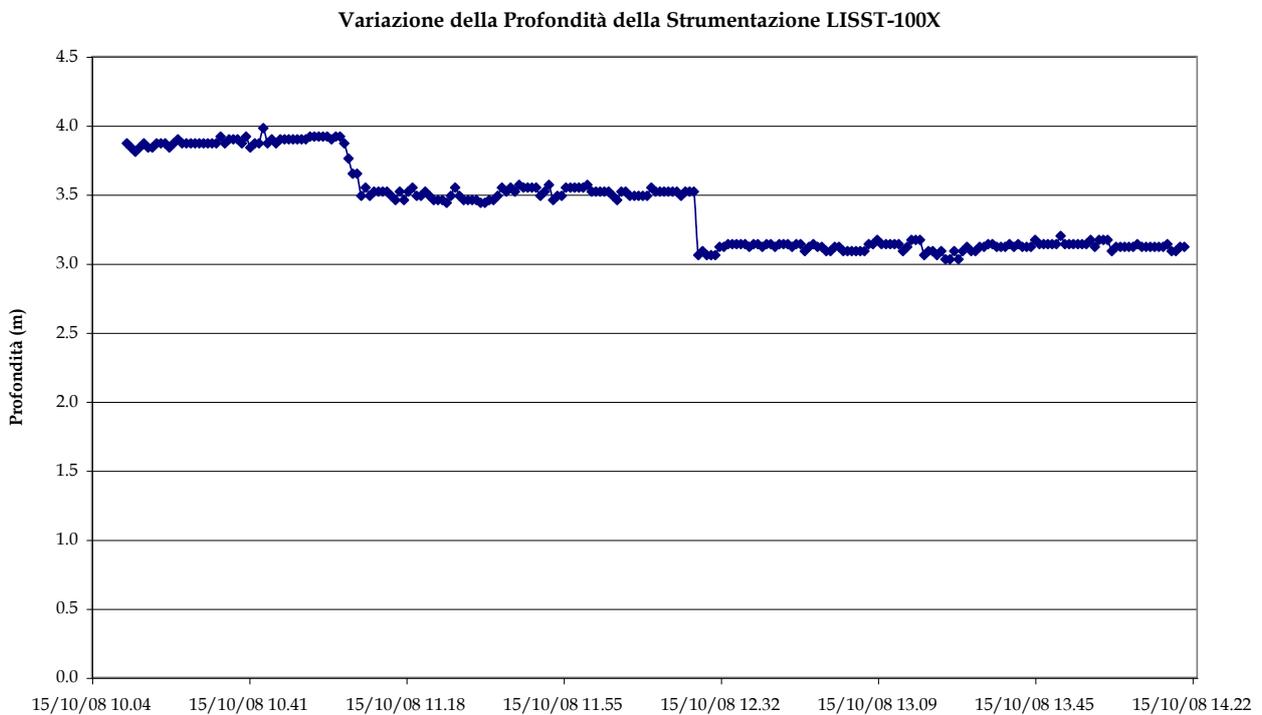


Figura 4.17. Variazione di profondità della strumentazione LISST-100X durante l'acquisizione *real-time*.

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

Durante l'acquisizione *real-time* (punto 202) del giorno 16 Ottobre la strumentazione LISST-100X ha subito una notevole variazione di profondità a causa della spinta della corrente e quindi la quota di lavoro dello strumento è variata nel tempo. Dall'inizio delle misure, da una profondità di circa 13 m (Figura 4.17), lo strumento è stato progressivamente sospinto verso la superficie di oltre 8 m, arrivando, nelle fasi finali, a quote variabili tra i 4 e i 6 m di profondità. È quindi indispensabile considerare questa variazione nell'interpretazione dei dati granulometrici. Dal grafico di Figura 4.19 si nota come si siano registrati valori generalmente bassi del  $d_{50}$ , compresi tra i 55 e 65  $\mu\text{m}$ , durante la fase iniziale del calante (Figura 4.13) dove le velocità di flusso sono minori. I valori hanno poi subito, durante le fasi sostenute del calante, una variazione in positivo raggiungendo circa i 70  $\mu\text{m}$ . Anche le curve granulometriche raffigurate in Figura 4.18 mostrano come i sedimenti presenti in sospensione abbiano subito, se pur in modo non eclatante, una variazione verso frazioni granulometriche più grossolane presenti durante le fasi in cui Maggiore è stato il flusso idrico, cioè in concomitanza alla fase centrale del calante.

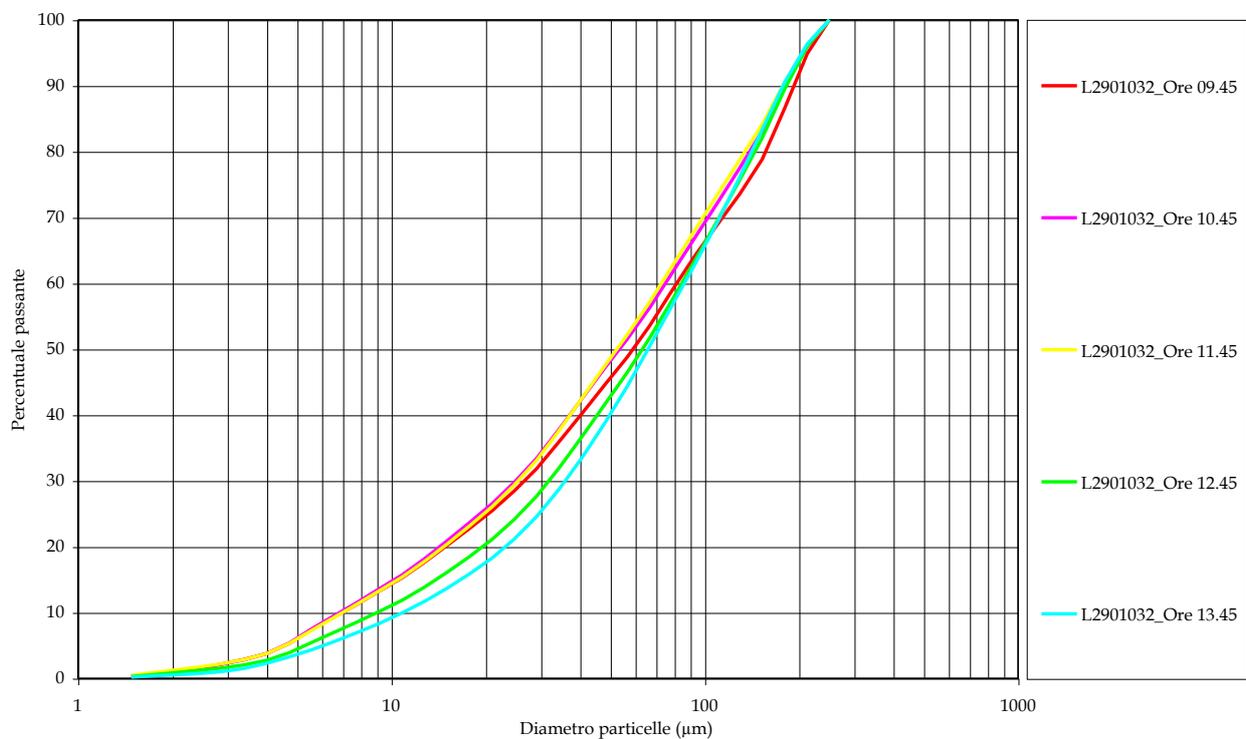


Figura 4.18. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto 202, Figura 1.8) nella fase di marea calante, il giorno 16 Ottobre 2008 presso la bocca di porto di Malamocco.

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

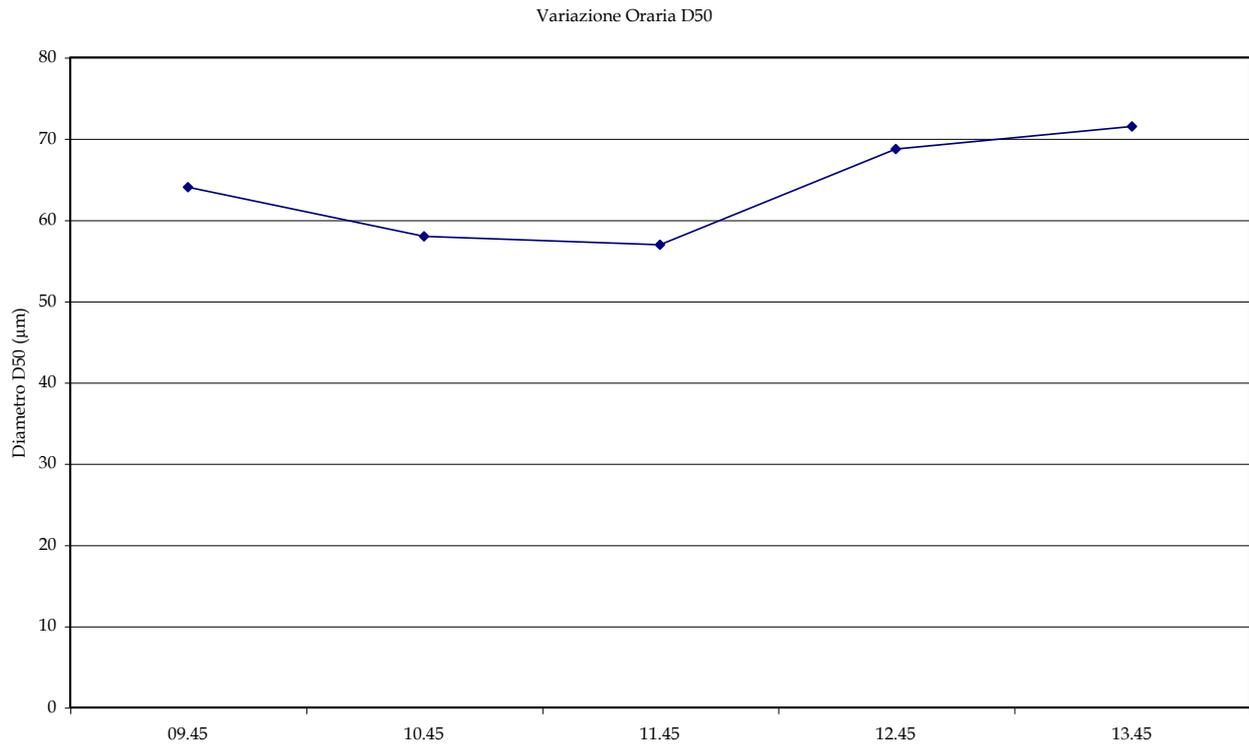


Figura 4.19. Variazione del d50 registrata durante la giornata del 16 Ottobre 2008 nella fase di marea calante (orario 09.45 - 13.45) presso la bocca di porto di Malamocco (Punto 202. Figura 1.8).

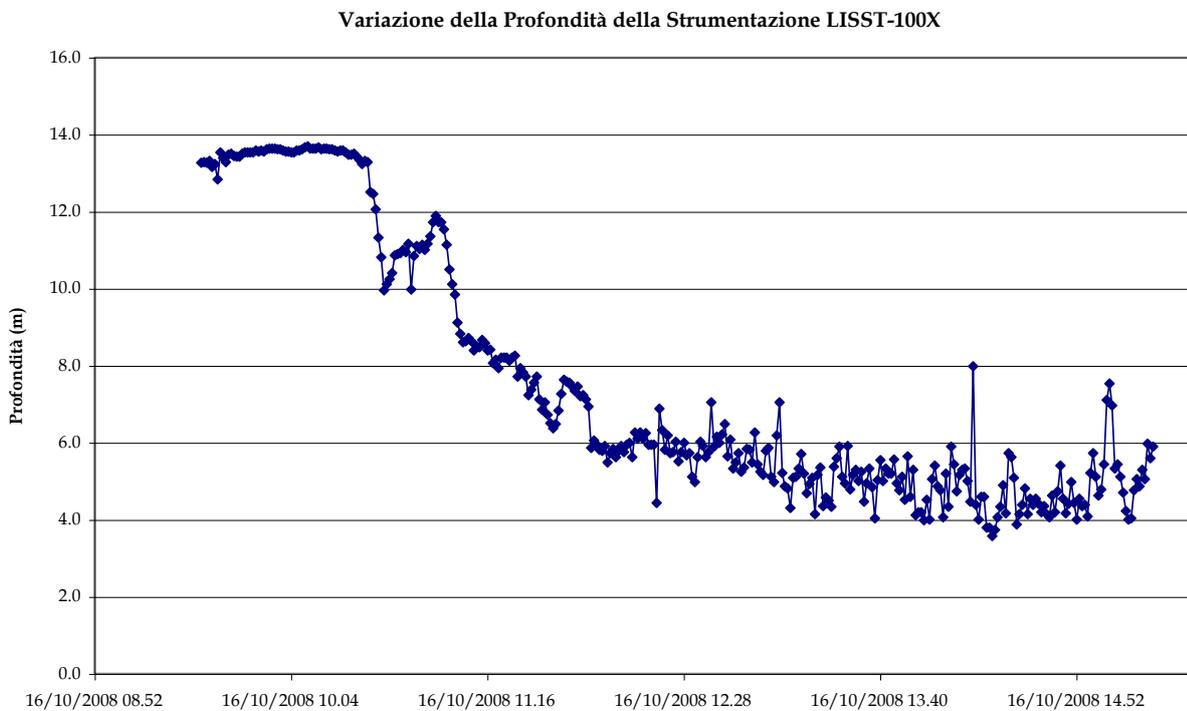


Figura 4.20. Variazione di profondità della strumentazione LISST-100X durante l'acquisizione *real-time*.

4.3.2 Studio sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali sospesi e del trasporto al fondo

Per quanto riguarda l'indagine relativa al trasporto sodo in sospensione ed al fondo della colonna d'acqua per la campagna ISMA, svolta presso la bocca di porto di Malamocco nei giorni 15 e 16 Ottobre 2008, sono stati disponibili solo i dati derivati dalle misure effettuate in campo con le trappole *Helley-Smith*. Infatti, a causa della presenza di una forte quantità di alghe si è verificato l'oscuramento da parziale a totale dei trasduttori dell'ADCP posto al fondo che ha impedito il corretto funzionamento e quindi la completa inutilizzabilità dei dati in entrambe le giornate. Non è stato così possibile stimare lo spostamento totale e la velocità del trasporto al fondo.

In Tabella 4.3 sono riportati i valori medi del d50, della percentuale di sostanza organica e della concentrazione di sabbia in sospensione ricavati dalle analisi sui campioni prelevati alla bocca di porto di Malamocco nei giorni 15 e 16 Ottobre 2008.

Il d50 del 15 Ottobre non presenta un particolare andamento lungo la colonna d'acqua assumendo valori tra i 97  $\mu\text{m}$  (trappola epi-bentica) e 118  $\mu\text{m}$  (trappola mediana, 4 m di profondità). Il giorno 16 Ottobre il d50 ha assunto invece valori Maggiori al fondo via via crescenti risalendo il profilo e precisamente 138  $\mu\text{m}$  per la trappola epi-bentica e 111  $\mu\text{m}$  per la trappola superficiale. La percentuale di materia organica ricavata dalle analisi nella prima giornata di misura si aggira intorno a valori del 12 - 13%, costanti lungo tutto il profilo di indagine, mentre nella seconda giornata assume valori di circa del 6 - 7% in prossimità del fondo per risalire al 12% nella parte più superficiale della colonna d'acqua, dove si concentra la Maggiore quantità di particellato organico. In questo caso dai campioni di calibrazione prelevati con la pompa ad immersione risulta un'efficienza superiore al 40%. Riassumendo, si hanno valori di concentrazione molto bassi durante la giornata del 15 Ottobre, tra 0.2 mg/l della zona bentica e 1,4 mg/l della zona mediana della colonna d'acqua. Mentre per la giornata del 16 Ottobre si hanno nella zona bentica, 3.8 mg/l nella zona epibentica 2.6 mg/l a circa 4 metri di profondità e 1.6 mg/l nella parte più superficiale. Nonostante le concentrazioni siano molto basse rispetto a quelle rilevate alla bocca di porto di Chioggia, si può comunque notare nella seconda giornata di misura una differenziazione dei materiali lungo la colonna d'acqua simile a quella vista precedentemente per Chioggia. Infatti, possiamo verificare la presenza di pochi materiali più fini e Maggiormente ricchi di sostanza organica presso la superficie e più materiali sabbiosi e poveri di sostanza organica presso il fondo. Il giorno 15 Ottobre la situazione risulta anomala, probabilmente perché il punto di campionamento scelto (201 in Figura 1.8) rappresenta un sito particolare, con caratteristiche idrodinamiche diverse rispetto a quelle che si verificano nelle altre aree del canale di bocca.

Tabella 4.3. Diametro medio dei grani, (d50), percentuale del contenuto organico e concentrazione della frazione sabbiosa dei campioni raccolti con le trappole.

Campioni	d50 ( $\mu\text{m}$ )		Contenuto Organico (%)		Concentrazione (mg/l) della frazione sabbiosa (diametro > 64 $\mu\text{m}$ )	
	Calante		Calante		Calante	
	15/10/2008	16/10/2008	15/10/2008	16/10/2008	15/10/2008	16/10/2008
Surface Trap	109	111	13.56	12.24	0.60	1.57
Mid-Water Trap	118	117	13.43	12.26	1.42	2.60
Epi-Benthic	97	136	12.31	7.25	0.49	3.80
Benthic	112	138	12.55	6.38	0.23	6.13

#### 4.4 Campagna Lfeb, 10- 11 Febbraio 2009

Per quanto riguarda la campagna Lfeb, effettuata alla bocca di porto di Lido nei giorni 10 e 11 Febbraio 2009, le attività di misura del trasporto solido in sospensione ed al fondo della colonna d'acqua sono state svolte presso il punto T (Figura 1.9). Anche in questo caso si è provveduto al posizionamento dell'ADCP al fondo a circa 5 m di profondità ed alla determinazione delle caratteristiche granulometriche *in situ* per mezzo del LISST in modalità *real-time*. Purtroppo il segnale acustico inviato dai trasduttori dell'ADCP in questa campagna risulta affetto da interferenze probabilmente dovute a echi dei pattini metallici del supporto su cui è posizionato lo strumento (Figura 4.2), causando la perdita dei dati di *backscatter* e di velocità della corrente al fondo. Per quanto riguarda, invece, le caratteristiche granulometriche del particolato in sospensione effettuate *in situ*, il disturbo provocato dall'oscuramento del fascio laser dello strumento da parte delle numerose alghe trasportate dalla corrente uscente ha causato la perdita di buona parte dei dati granulometrici in entrambe le giornate di campionamento.

Le attività di misura sono state effettuate anche in questo caso durante due fasi di calante caratterizzate da forti escursioni mareali, 1 m il giorno 10 Febbraio e 0.80 m il giorno 11 Febbraio (Figura 4.21).

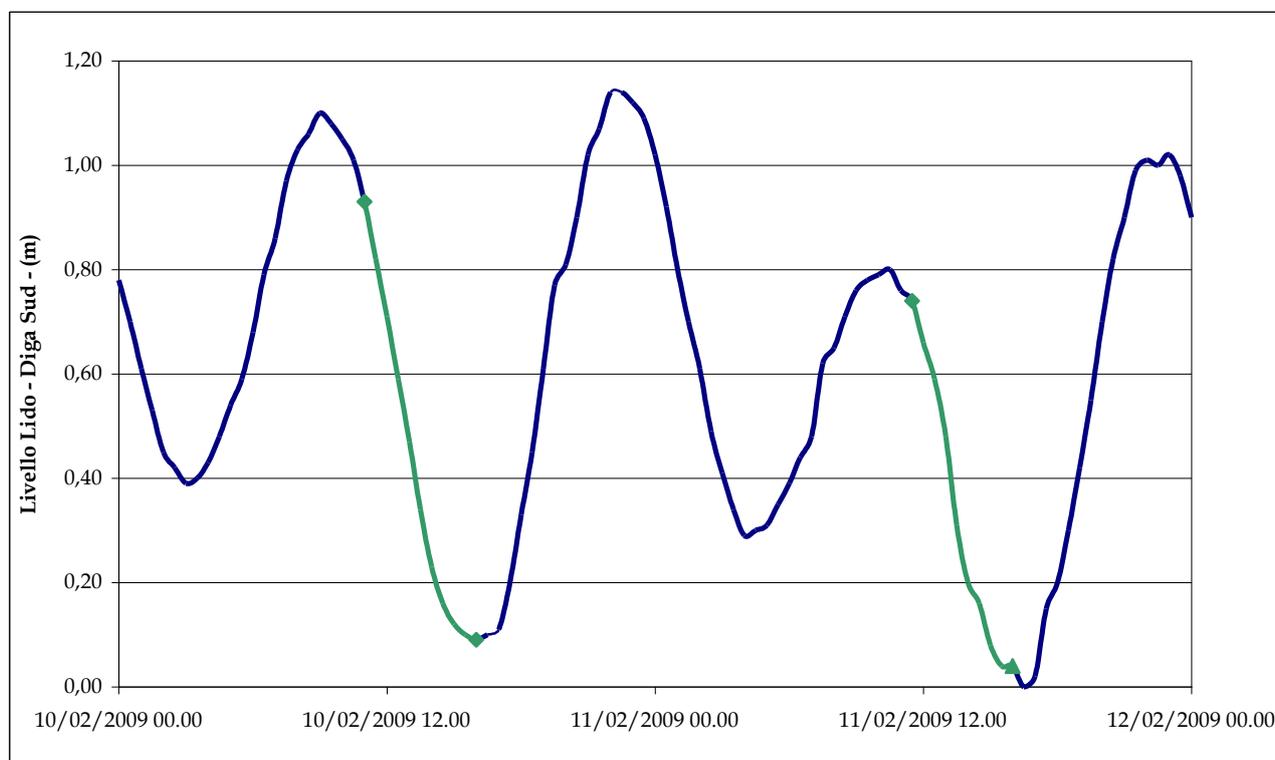


Figura 4.21. Andamento del livello di marea (valori medi su base oraria riferiti al livello medio mare) registrato al mareografo di Lido, Diga Sud, per il periodo compreso tra il 10 ed il 11 Febbraio 2009. In verde sono indicati gli intervalli mareali durante i quali sono state effettuate le operazioni di misura.

Per quanto riguarda le condizioni meteo, riportate in Figura 4.22, la prima giornata di misura è risultata caratterizzata da una certa variabilità sia dei valori di intensità sia dei valori di direzione del vento. Infatti, si è verificato un rapido decremento delle intensità da valori pari a 7.4 m/s alle ore 11.00 a valori di 0.7 m/s alle ore 14.30, per poi aumentare di nuovo alla fine delle attività di misura verso le ore 15.00., con direzione prevalente dal quadrante di NO (270° - 360°N). Anche il secondo giorno di misure è stato caratterizzato da una sostanziale variabilità dell'intensità del vento, che da valori pari a 5.8 m/s alle ore 11.30 è scesa bruscamente a 0.9 m/s alle ore 12.30, per

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

poi ricominciare ad aumentare lievemente alla fine delle attività. La direzione è cambiata gradualmente da Sud a Nord Ovest, mantenendosi prevalentemente nel quadrante di SO (230° - 260°N).

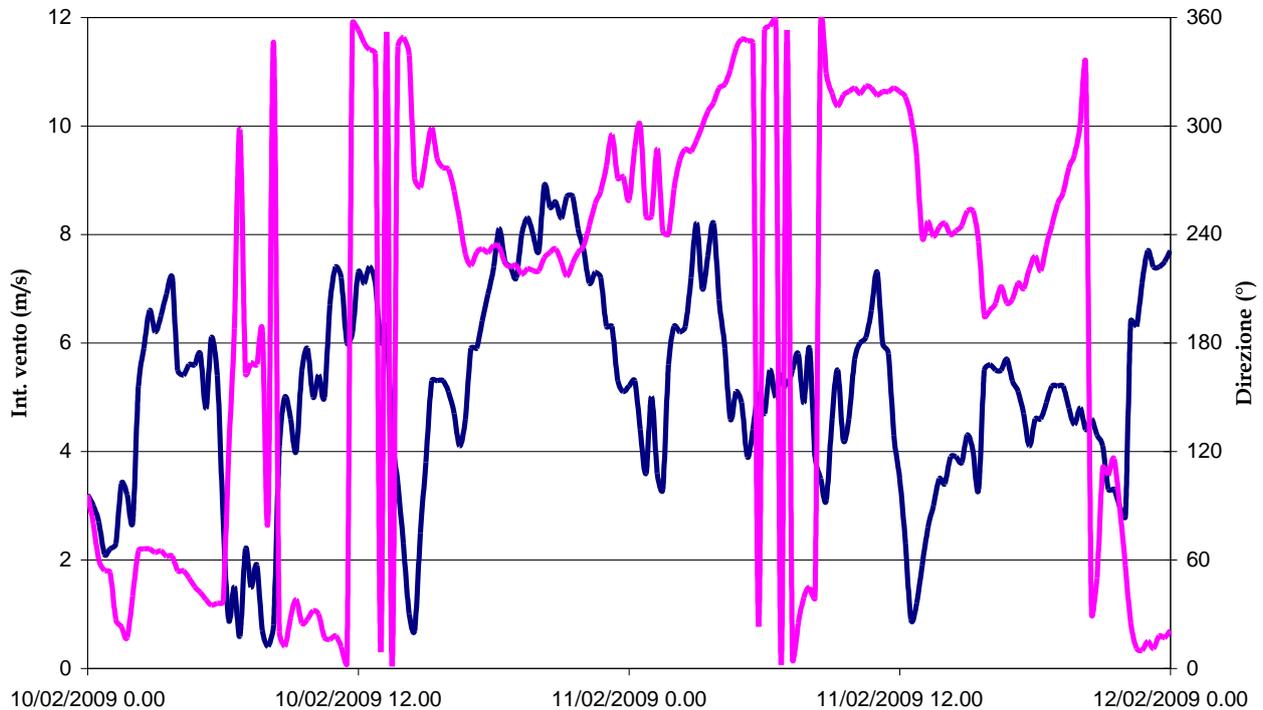


Figura 4.22. Intensità e direzione del vento (valori medi orari) registrati alla piattaforma CNR-ISMAR, per il periodo compreso tra il 10 e l' 11 Febbraio 2009.

#### 4.4.1 Granulometrie del 10 e 11 Febbraio: misure in situ

Come già detto all'inizio del paragrafo, l'oscuramento del fascio laser dello strumento LISST da parte delle alghe ha causato la perdita di buona parte dei dati granulometrici in entrambe le giornate di campionamento. Pertanto di seguito si riportano i dati relativi alle prime tre ore di misura sia il giorno 10 Febbraio e per il giorno 11 Febbraio. La Figura 4.23 mostra le curve granulometriche ricavate dall'analisi dei dati LISST ottenuti durante l'acquisizione in real-time nel punto T durante la giornata del 10 Febbraio. I dati mostrano in generale la presenza di elevate percentuali di materiale grossolano durante gli orari di misura. Anche se non particolarmente accentuata si riscontra una diminuzione granulometrica del sedimento dalle 10.33 alle 12.33. In Figura 4.24, in cui si riporta l'andamento del d50 durante il periodo di acquisizione, i valori decrescono dai 92  $\mu\text{m}$  registrati all'inizio del calante agli 81  $\mu\text{m}$  che caratterizzano il sedimento trasportato nella parte centrale del calante. Possiamo tuttavia notare dalla variazione della profondità dello strumento LISST riportata in Figura 4.25 che la velocità della corrente nel punto di campionamento scelto comincia ad essere elevata a partire dalle ore 12.00 quindi dai dati disponibili non è possibile osservare una relazione tra velocità di corrente e tipologia di materiali trasportati.

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

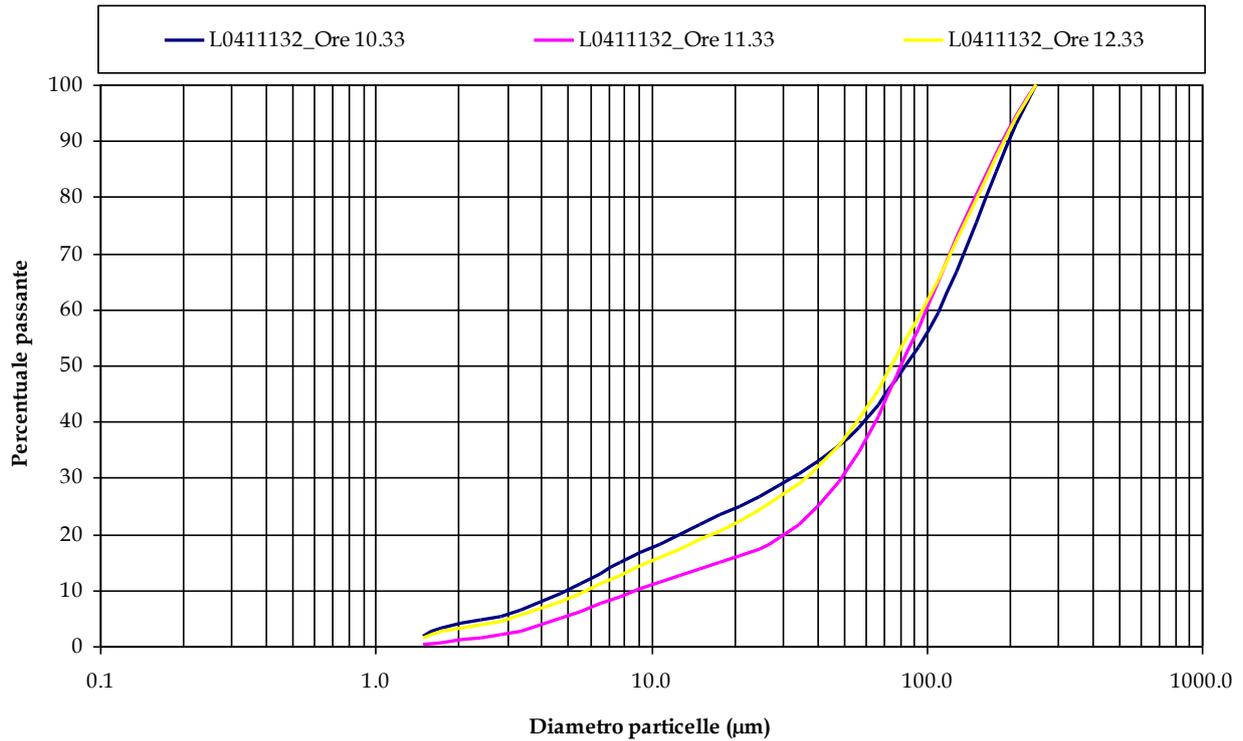


Figura 4.23. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto T. Figura 1.9) nella fase di marea calante, il giorno 10 Febbraio 2009 presso la bocca di porto di Lido.

**Variazione oraria del d50**

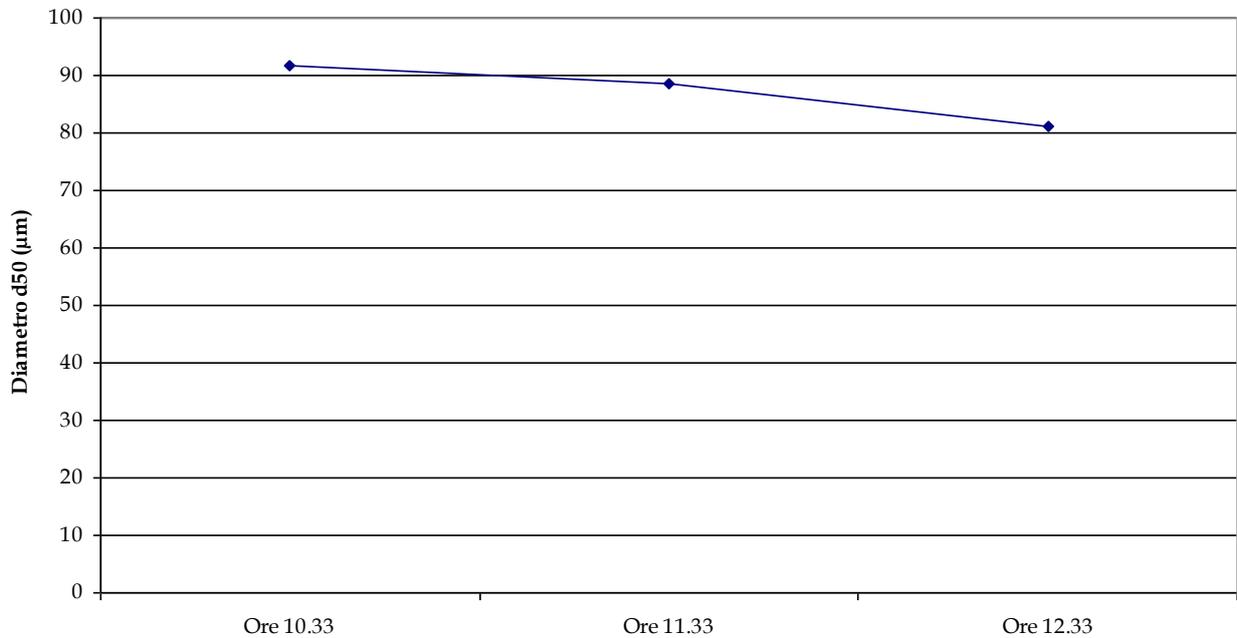


Figura 4.24. Variazione del d50 registrata durante la giornata del 10 Febbraio 2009 nella fase di marea calante (orario 11.33 - 13.33) presso la bocca di porto di Lido (Punto T. Figura 1.9).

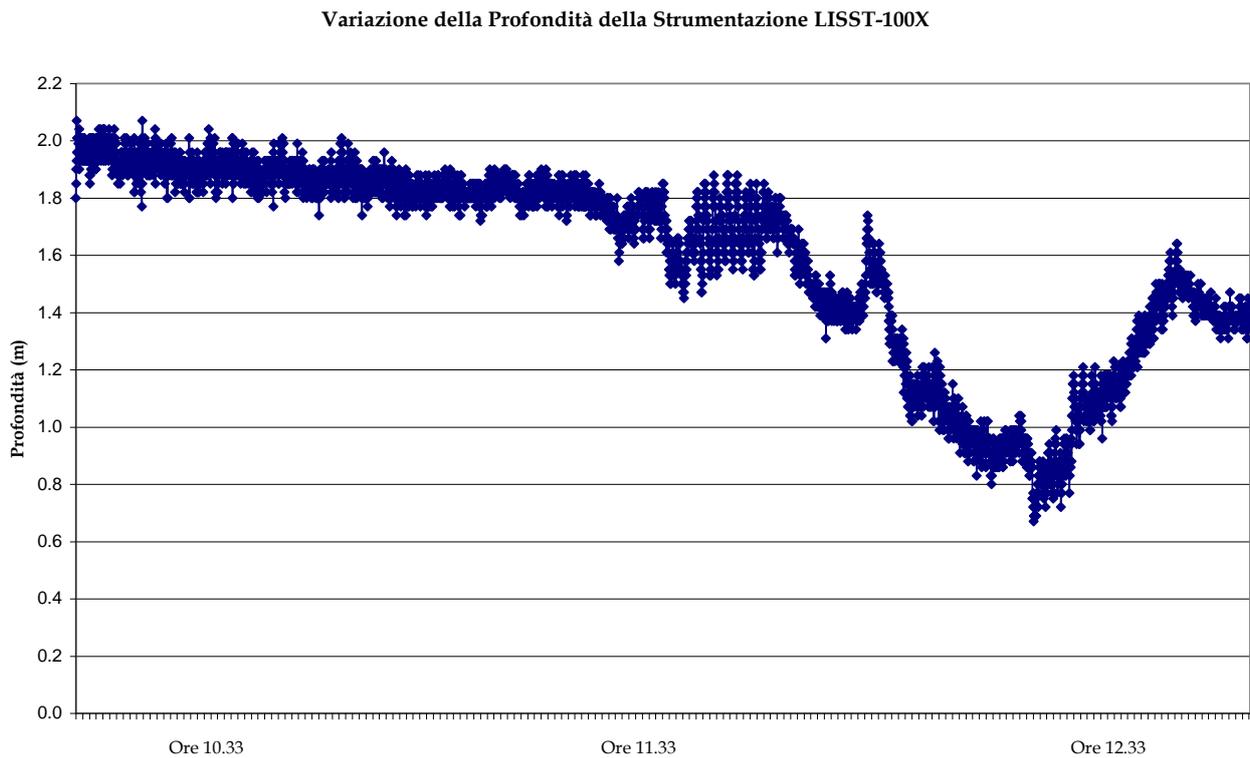


Figura 4.25. Variazione di profondità della strumentazione LISST-100X durante l'acquisizione *real-time*.

Durante l'acquisizione *real-time* del giorno 11 Febbraio la situazione non appare molto diversa da quella appena descritta. Dalle curve granulometriche riportate in Figura 4.26 e dall'andamento del  $d_{50}$  durante il periodo di acquisizione riportato in Figura 4.27, è possibile infatti notare una diminuzione della granulometria del sedimento. Il  $d_{50}$  scende dai  $67 \mu\text{m}$  registrati alle ore 11.15 fino ai  $55 \mu\text{m}$  registrati alle ore 13.15. Tuttavia in Figura 4.28 è possibile notare come anche in questa giornata la variazione di profondità dello strumento LISST cominci a farsi importante a partire dalle ore 13.00 circa. Purtroppo i dati disponibili sono quelli registrati all'inizio della fase di marea calante, quando la velocità di corrente non è ancora particolarmente elevata e probabilmente i dati granulometrici delle ore successive avrebbero permesso di stabilire la stessa relazione tra velocità della corrente e tipologia di sedimento trasportato riscontrata per la campagna ISCH e per la campagna ISMA.

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

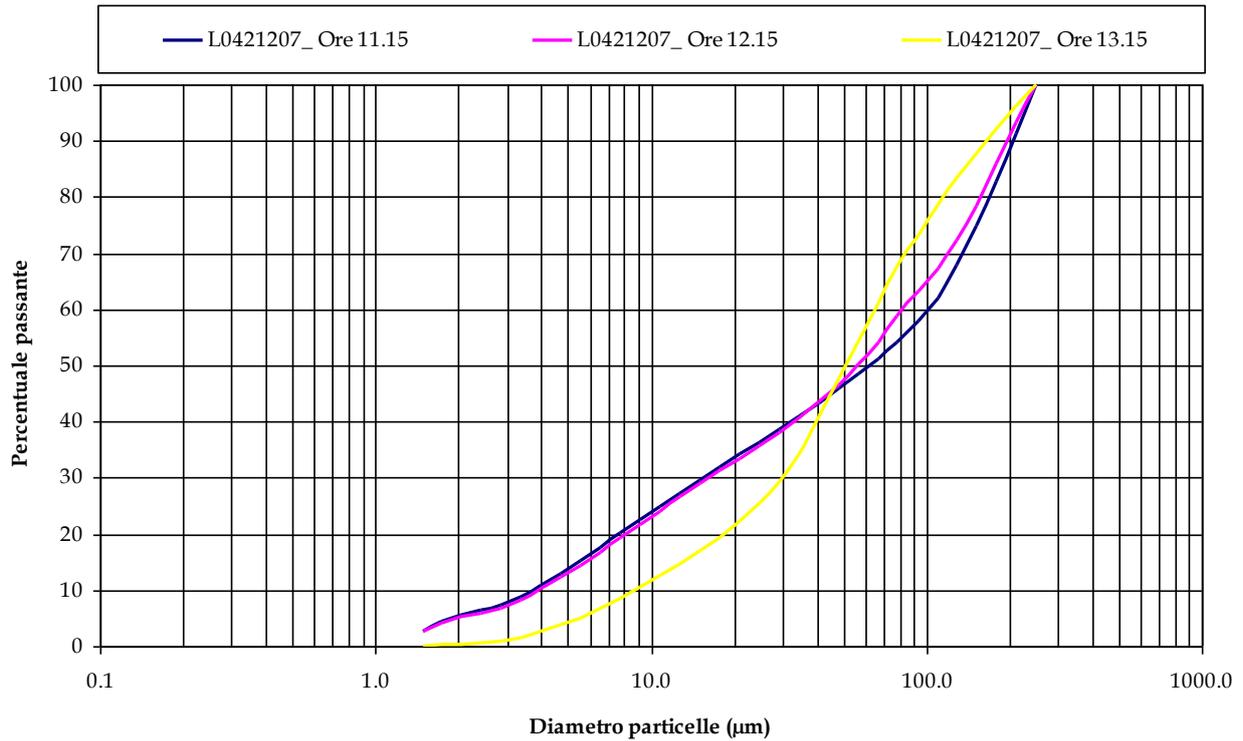


Figura 4.26. Distribuzione granulometrica media oraria *in situ* (Punto T. Figura 1.9) nella fase di marea calante, il giorno 11 Febbraio 2009 presso la bocca di porto di Lido.

**Variazione oraria del d50**

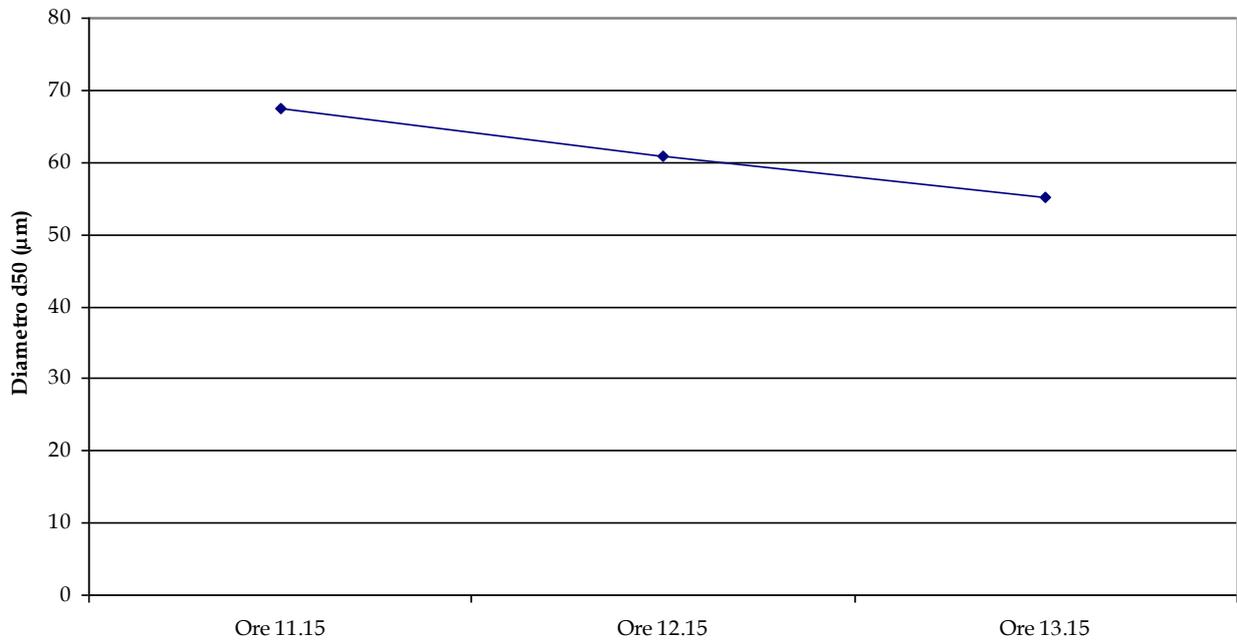


Figura 4.27. Variazione del d50 registrata durante la giornata dell'11 Febbraio 2009 nella fase di marea calante (orario 12.15 - 14.15) presso la bocca di porto di Lido (Punto T. Figura 1.9).

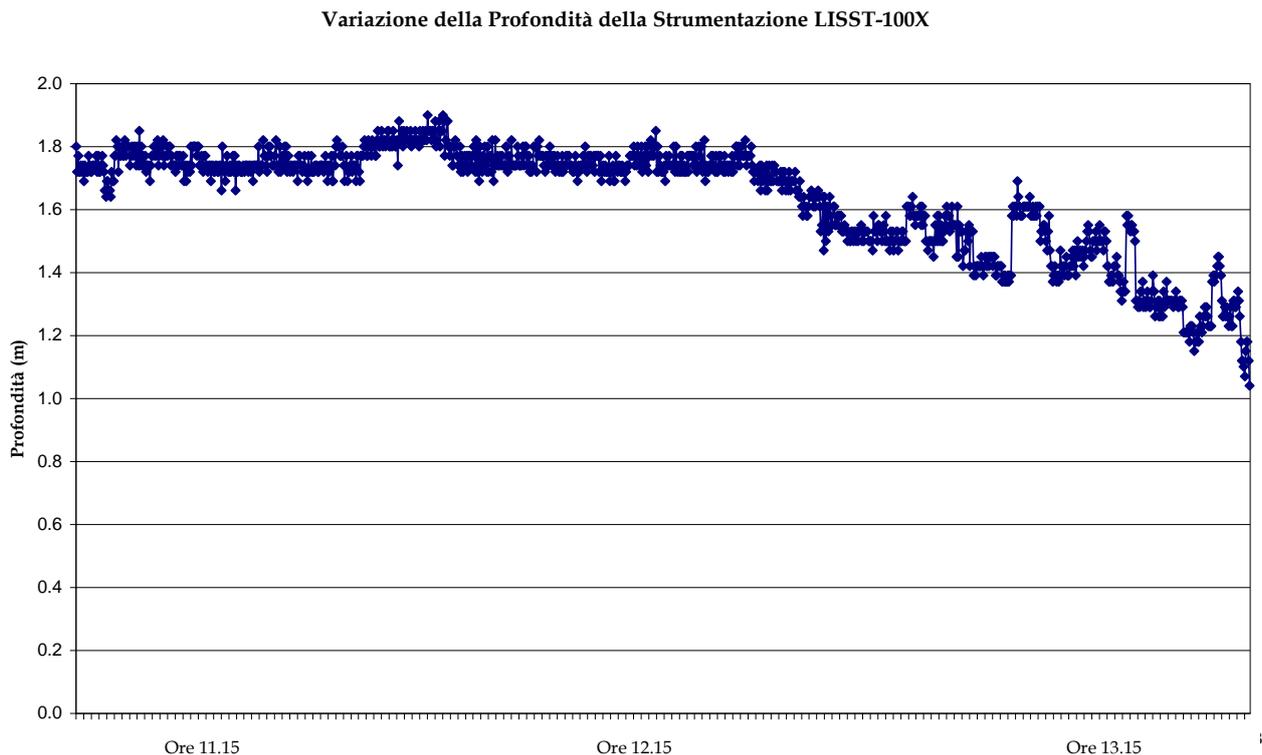


Figura 4.28. Variazione di profondità della strumentazione LISST-100X durante l'acquisizione *real-time*.

#### 4.4.2 Studio sulla distribuzione e sulle caratteristiche dei materiali sospesi e del trasporto al fondo

I risultati ottenuti dallo studio del trasporto solido in sospensione ed al fondo della colonna d'acqua presso il punto T (Figura 1.9) sono riportati in Tabella 4.4. I valori del d<sub>50</sub> il giorno 10 Febbraio variano da un minimo di 100  $\mu\text{m}$  del materiale campionato alla trappola superficiale ad un massimo di 121  $\mu\text{m}$  del materiale campionato dalla trappola bentica, mentre il giorno 11 Febbraio il valore minimo che ha caratterizzato il sospeso raccolto dalla trappola superficiale è stato di 94  $\mu\text{m}$  ed il valore massimo determinato per il materiale campionato dalla trappola bentica è stato di 110  $\mu\text{m}$ . La frazione di sostanza organica presente nei materiali raccolti è stata Maggiore il giorno 11 Febbraio. In particolare, il giorno 10 Febbraio la più bassa percentuale, pari a 3.15 %, di contenuto organico è stata collezionata dalla trappola superficiale, mentre la Maggiore ha caratterizzato il materiale raccolto dalla trappola bentica. Il giorno 11 Febbraio, invece, la trappola superficiale ha raccolto la minore percentuale di sostanza organica, pari al 3.55 %, e la trappola mediana ha campionato la Maggiore percentuale, pari al 9.00 %. Per quanto riguarda le concentrazioni di materiale raccolto dalle trappole, possiamo notare dei valori importanti, anche se non elevati come quelli ricavati alla bocca di porto di Chioggia. In entrambe le giornate di misura i minimi di concentrazione sono stati ricavati dai campionamenti effettuati con la trappola superficiale, 4.13 mg/l il giorno 10 Febbraio e 0.99 mg/l il giorno 11 Febbraio, mentre i massimi valori di concentrazione sono stati riscontrati alle massime profondità, 63.59 mg/l il giorno 10 Febbraio e 50.64 mg/l il giorno 11 Febbraio. Possiamo quindi osservare come anche alla bocca di porto di Lido dalla superficie al fondo della colonna d'acqua le concentrazioni aumentano con un certo gradiente ed i materiali si fanno via via più grossolani. La sostanza organica, sebbene sia stata caratterizzata da valori relativamente bassi, non segue invece il generale andamento decrescente verso le Maggiori profondità riscontrato alle altre bocche di porto.

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

Tabella 4.4. Diametro medio dei grani, (d50), percentuale del contenuto organico e concentrazione della frazione sabbiosa dei campioni raccolti con le trappole.

Campioni	d50 (µm)		Contenuto Organico (%)		Concentrazione (mg/l) della frazione sabbiosa (diametro > 64 µm)	
	Calante		Calante		Calante	
	10/02/2009	11/02/2009	10/02/2009	11/02/2009	10/02/2009	11/02/2009
Surface Trap	100	94	3.15	3.55	4.13	0.99
Mid-Water Trap	104	97	3.55	9.00	17.36	12.00
Epi-Benthic	111	100	3.42	6.47	49.23	25.06
Benthic	121	110	5.24	7.24	63.59	50.64

#### 4.5 Conclusioni

Dalle attività volte 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 è emersa l'importanza della velocità della corrente, e dell'escursione mareale ad essa legata, nel determinare la tipologia di materiali che vengono trasportati dalle aree interne della laguna fino al mare. Infatti, nella fase centrale della fase di marea calante, quando le velocità della corrente si fanno più intense, vengono trasportati i materiali più grossolani provenienti dalle aree limitrofe alla bocca di porto, mentre i materiali più fini si riscontrano tendenzialmente nelle fasi iniziale e finale del calante, quando transitano i materiali provenienti dalle aree più interne della laguna.

Per quanto riguarda il trasporto di sabbia indagato mediante l'utilizzo delle trappole *Helley-Smith* è stato possibile osservare come questo sia concentrato nelle zone più prossime al fondale della bocca, con una differenziazione della tipologia di materiali trasportati lungo la colonna d'acqua. Infatti, dalla superficie alle Maggiori profondità, fino al fondale, i materiali trasportati si fanno Maggiormente grossolani e poveri di sostanza organica. Inoltre, le concentrazioni si fanno anche particolarmente importanti in prossimità del fondo. È questo il caso in particolare della bocca di porto di Chioggia in cui il fenomeno del trasporto di materiali sabbiosi è risultato particolarmente intenso, soprattutto alle Maggiori profondità, considerando anche il fatto che l'escursione mareale che ha interessato le giornate di misura non è stata molto elevata. Anche la tipologia dei materiali trasportati alla bocca di porto di Chioggia appare relativamente differente rispetto a quella delle altre bocche di porto. Infatti, il materiale è risultato particolarmente grossolano ed anche Maggiormente ricco di sostanza organica.

Un caso particolare sembra rappresentato dalla bocca di porto di Malamocco dove il trasporto di materiali sabbiosi non appare particolarmente intenso, ma il problema è forse legato alla scelta delle stazioni di misura che, data l'impossibilità di indagare aree più vicine al canale della bocca di porto a causa del brusco aumento della profondità, non rispecchiano le caratteristiche idrodinamiche che si verificano in questa area.

Per quanto riguarda, infine, la determinazione del trasporto al fondo con il segnale di bottom tracking del correntometro acustico Doppler si rileva la necessità di effettuare ulteriori approfondimenti allo scopo di ridurre l'effetto delle riflessioni da parte della struttura di sostegno. Tali interferenze, peraltro, si sono manifestate in maniera differente in ognuno degli impieghi rendendo difficile l'individuazione delle cause del disturbo. Nel seguito delle attività sarà dedicata particolare attenzione alla soluzione di queste problematiche. Le misure considerate sufficientemente affidabili mostrano comunque risultati verosimili con velocità medie del trasporto dell'ordine dei 3 - 5 cm/s a fronte di escursioni di circa 40 e 60 cm/s.

## 5. RILEVAZIONE DELLA TORBIDITÀ IN CONTINUO

### 5.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo

La misura della torbidità in continuo alle bocche di porto ha un doppio obiettivo: valutare la diffusione del *plume* di torbida generato dalle operazioni dei cantieri e monitorare i valori di torbidità di fondo ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio.

L'attività di rilevazione della torbidità continuo è iniziata a Maggio 2005 in otto stazioni di misura opportunamente posizionate nei canali delle tre bocche di porto o nelle immediate vicinanze e sta proseguendo quasi ininterrottamente assieme all'acquisizione dei parametri chimico-fisici dell'acqua ed alle variabili meteo marine.

Le misure hanno dimostrato carattere di necessità al fine di stabilire il livello "naturale" sopra il quale avviene il disturbo della torbidità generata dagli scavi. Gli eventi naturali in grado di influenzare l'andamento della concentrazione del particolato in sospensione si succedono, infatti, in maniera irregolare ed una particolare concentrazione o assenza di episodi significativi possono dare luogo ad una non corretta valutazione del tempo di ritorno degli eventi di una certa intensità. Da cui la necessità di disporre di una serie temporale il più possibile prolungata in modo da colmare la lacuna rappresentata dalla storica mancanza di un rilevamento sistematico della torbidità nelle bocche di porto della laguna di Venezia. Inoltre, le trasformazioni morfologiche dell'area prossima alle bocche potrebbero avere degli effetti anche sull'idrodinamica e il trasporto. Il monitoraggio della torbidità può quindi risultare funzionale non solo alla conoscenza degli effetti a breve termine delle attività di cantiere, ma anche degli effetti a lungo termine indotti dalla presenza delle opere, che per quanto riguarda la parte in grado di influenzare l'idrodinamica e il trasporto, si possono considerare già in avanzato stato di realizzazione.

L'ubicazione di alcune delle postazioni di misura è cambiata nel corso dei tre anni di monitoraggio e solamente la sonda LMR, posta nel canale della bocca di Lido, ha registrato in modo continuativo a partire da Aprile 2005.

In particolare, si ricorda che in primavera 2006 le sonde multiparametriche sono state soggette ad un periodo di necessaria manutenzione, della durata di circa 1 mese.

La stazione LSN di Canale S. Nicolò alla bocca di Lido, ritenuta poco rappresentativa e comunque di difficile gestione per il costante accumulo di detrito organico che ne impediva di fatto il corretto funzionamento, è stata spostata in Giugno 2006 dall'altra parte del canale, sul lato Forte di S. Andrea, ed è stata individuata dalla nuova sigla LSA.

In Giugno 2006 anche le stazioni a mare alle bocche di Malamocco e Chioggia, rispettivamente MAM e CHM (il sensore è stato perso, assieme alla struttura di installazione al fondo, in conseguenza al probabile impatto di una imbarcazione con l'installazione strumentale della stazione ed il conseguente strappo del cavo di acciaio utilizzato per il recupero della strumentazione di misura), sono state tolte in quanto ritenute troppo distanti dalla zona di influsso dei cantieri; solo la stazione MAM è stata, dopo un anno, riposizionata in loco 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.).

Una ulteriore sonda è stata installata nella stazione LMR, a circa 7.5 m. dal fondo (stazione LMR-2), per avere in questa stazione anche un monitoraggio dello stato più superficiale della colonna d'acqua. In questo modo nella postazione di Lido Meda Rossa le sonde LMR-2 e LMR, rispettivamente a 7.5 e 1.5 m. dal fondo, sono entrambe sospese allo stesso supporto una al di sopra dell'altra.

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

La Figura successiva 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 quarto anno di monitoraggio; esse coincidono con quelle utilizzate nel corso del precedente Studio B.6.72 B/3. Nella Tabella 5.1 sono riassunte le caratteristiche delle stazioni e, per ciascuna di queste, sono riportate le coordinate geografiche espresse nel sistema UTM WGS 84 e Gauss Boaga, nonché 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 è 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 2008-2009.

## 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>Data di re-installazione (Studio B.6.72 B/2, B/3 e B/4)</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	8/06/2006
<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	15/06/2006
<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	18/04/2005
<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	15/06/2006
<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	12/06/2006
<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	8/06/2006
<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	8/06/2006

## 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>Data di re- installazione (Studio B.6.72 B/2, B/3 e B/4)</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	12/07/2007
<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	8/06/2006

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

La rete è costituita da due gruppi di stazioni: il primo gruppo composto da 6 stazioni posizionate in aree vicine alle bocche di porto, verso la laguna, ed il secondo da 2 stazioni posizionate a mare.

Le stazioni del primo gruppo sono state allestite utilizzando prevalentemente le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 5.2). Per la stazione LMR e LMR-2 è stata, invece, sfruttata la struttura della meda di segnalazione del canale navigabile all'interno della bocca di porto di Lido, lato Diga Sud (Figura 5.3).

Per le stazioni del secondo gruppo, LIM e 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 (Figure 5.4 - 5).



Figura 5.2. Stazione LSA.



Figura 5.3. Stazione LMR.



Figura 5.4. Stazione MAM.

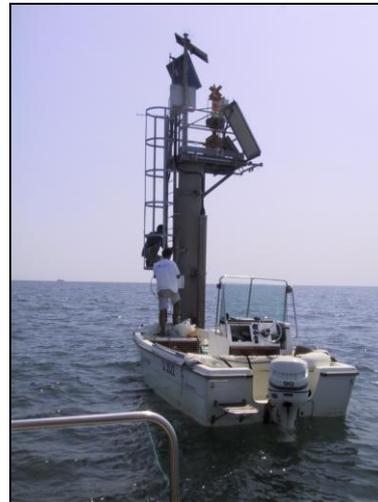


Figura 5.5. Stazione LIM.

I torbidimetri posizionati nelle stazioni sopra descritte funzionano acquisendo 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 vengono 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, si faccia riferimento i 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 quarto anno di monitoraggio: Maggio 2008-Aprile 2009. 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 2007-Aprile 2008.

Stazione	Dati validati sul totale del monitoraggio
CHP	94.5
LIM	45.8
LMR-2	74.1
LMR	95.1
LSA	77.2
LTP	78.3
MAM	74.7
MAP	74.0

Ad eccezione delle due sole stazioni CHP e LMR, le cui percentuali di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri è circa 95%, tutte le stazioni presentano percentuali inferiori all'80%.

Gli strumenti di misura che fanno parte della rete sono stati installati nel 2005 e tenuti in funzione per l'acquisizione dei dati in maniera quasi continua per più di 3 anni. Le diverse componenti degli strumenti, fra cui le più delicate come l'elettronica e la sensoristica, sono ormai prossime alla loro vita tecnologica presunta. Diventano, quindi, sempre più frequenti i periodi di malfunzionamento o non funzionamento delle singole postazioni (Figure 5.6). Le cause di non funzionamento sono dovute soprattutto e sempre più a cedimenti strutturali dei sensori sottoposti settimanalmente a stress meccanici per le operazioni di rimozione del fouling. Le operazioni di pulizia effettuate in campo, se da una parte assicurano misure più precise, dall'altra a lungo andare intaccano la struttura meccanica e fisica dei sensori.

Nel periodo Maggio 2008 - Aprile 2009 sono state quindi più volte sostituite parti meccaniche, guarnizioni, connettori, e in alcuni sensori (es. sensori di conducibilità per deterioramento degli elettrodi e sensori di torbidità per rigatura della superficie emittente dovuti alle operazioni di pulizia dal fouling) e ciò ha inevitabilmente comportato l'interruzione più o meno lunga dell'acquisizione dei dati.



Figura 5.6 Esempio di danno alla testata della sonda nella stazione CHP: le saldature di collegamento del cavo di trasmissione dati tra la sonda ed il PC si sono irrimediabilmente danneggiati (fusione del conduttore probabilmente a seguito di corto; 20 Novembre 2008).

Inoltre, il giorno 2 Gennaio 2009 la sonda LSA è stata trovata sganciata dal supporto e adagiata sul fondo in seguito alla caduta (Figura 5.7); la sonda è stata quindi recuperata con un'immersione, immediatamente rimessa in posizione ed avviata.

In data 31 Marzo 2009, in occasione di una ispezione di pulizia dei sensori, è stata verificata l'assenza della sonda e rinvenuto il cavo di sostegno collegato all'anello abitualmente fissato al dispositivo di sgancio (Figura 5.8) il che lascia supporre che la sonda sia stata intenzionalmente svitata con l'aiuto di un attrezzo dall'anello che la collegava al cavo. Il 6 Aprile, col favore delle condizioni di marea e delle condizioni di visibilità in acqua, è stato svolto un tentativo di ricerca con l'immersione di un sommozzatore che ha perlustrato il fondale sottostante; dopo ripetuti tentativi con esito negativo la ricerca è stata sospesa e la sonda considerata persa. Stupisce che, nonostante la zavorra, la sonda si sia mossa una volta arrivata al fondo; il fondale è infatti costellato di detriti (cavi, cime, ferraglia) oltre che da pietre e strutture di origine organogena. Appare quindi abbastanza improbabile che la sonda sia passata tra un ostacolo e l'altro, solo grazie alla forza delle correnti, senza incastrarsi. Non ci sentiamo quindi di escludere che la sonda sia stata intenzionalmente rimossa anziché semplicemente staccata dalla sua sede per un evento accidentale.



Figura 5.7. Operazioni di recupero della sonda LSA (2 Gennaio 2009).



Figura 5.8. Immagine della postazione LMR-2, così come rinvenuta il 31 Maggio 2008.

Il grafico 5.9 riporta l'efficienza della rete dei torbidimetri a partire dal 2005, calcolata come percentuale dei dati acquisiti ogni mese dal complesso delle stazioni (diagramma in alto) e come numero di giorni di mancata registrazione da ciascuna stazione ogni mese (istogramma in basso). A motivo dei bassi valori del primo anno si ricorda che, successivamente allo scaricamento dell'11 Gennaio 2006, lo strumento posizionato nella stazione CHM è stato perso per cause non accertate ed è stato sostituito con uno equivalente l'1 Aprile 2006. Dal punto di vista del trend, si può notare come l'efficienza diminuisca in maniera molto marcata a partire dalla primavera 2008, anche se nel primo quadrimestre del 2009, grazie anche alle operazioni di manutenzione straordinaria dei mesi precedenti, le percentuali di dati validi sono estremamente positive (Figura 5.10).

Ad oggi l'efficienza della rete è assicurata al prezzo di continue e costose manutenzioni allo scopo di mantenere la percentuale dei dati validi il più possibile prossima al valore indice che classifica una rete di monitoraggio come efficiente.

In particolare, l'efficienza del sistema di alimentazione delle sonde è in diminuzione; infatti, mentre nel primo anno di attività il pacco batterie è durato circa 12 mesi, nell'ultimo periodo alcune postazioni hanno richiesto una sostituzione dopo soli 5 mesi e nel periodo invernale, con il calo delle temperature, è stata rilevata una durata ulteriormente inferiore.

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

**Efficienza della rete di monitoraggio della torbidità**

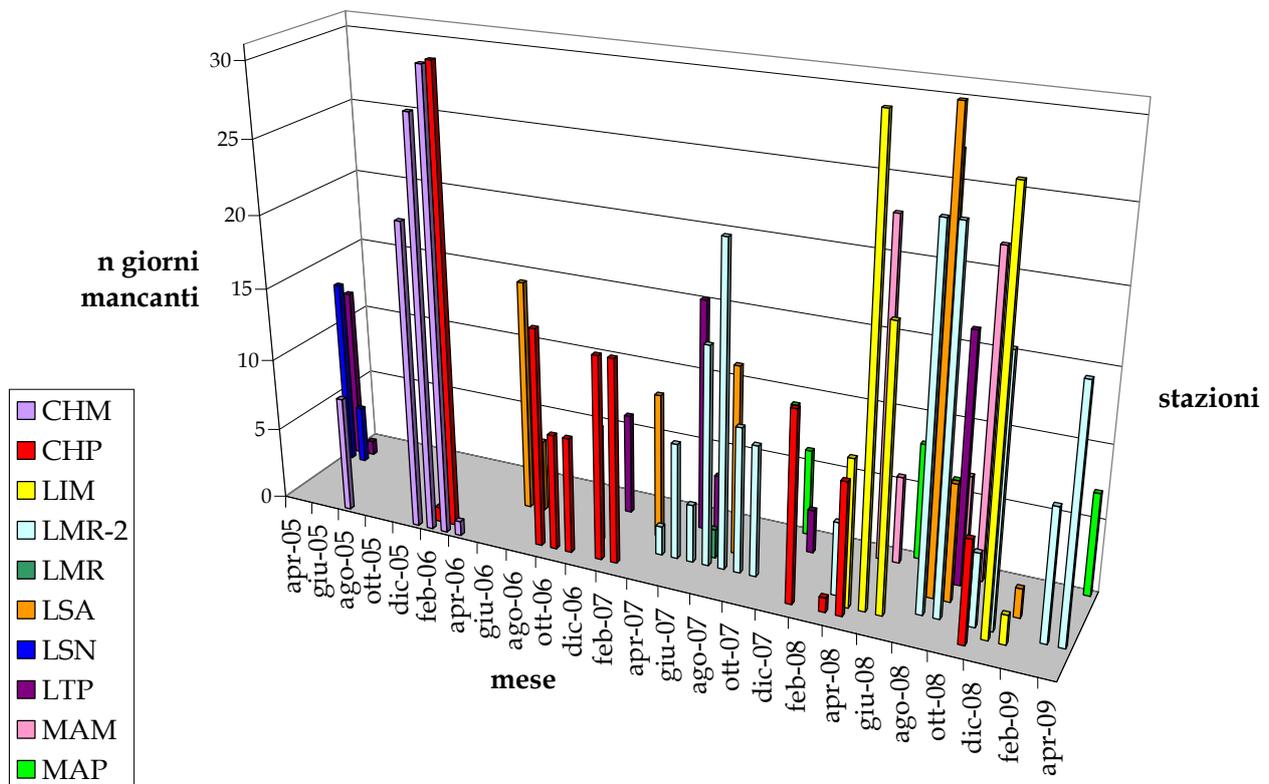
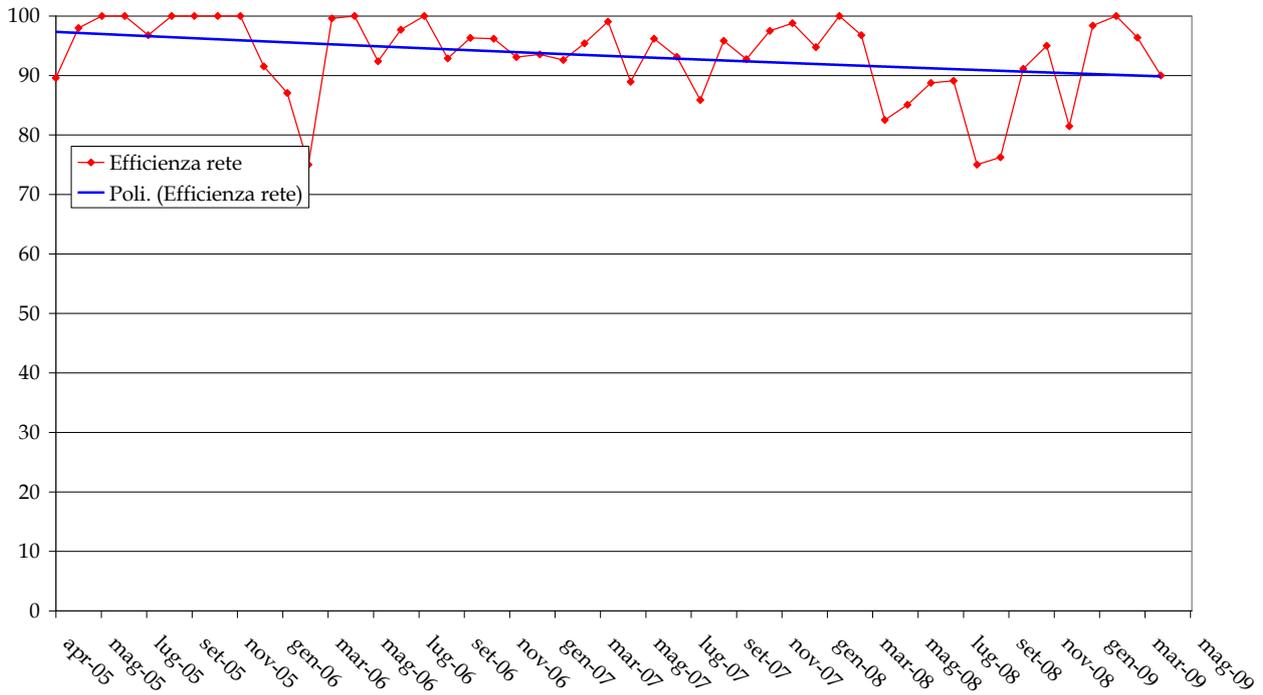


Figura 5.9. Rappresentazione dell'andamento dell'efficienza della rete dei torbidimetri, attiva da Aprile 2005, espressa come percentuale di dati acquisiti (grafico in alto) e come numero di giorni persi (istogramma in basso).

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

**Percentuali di dati validi nel quadrimestre gennaio-aprile 2009**

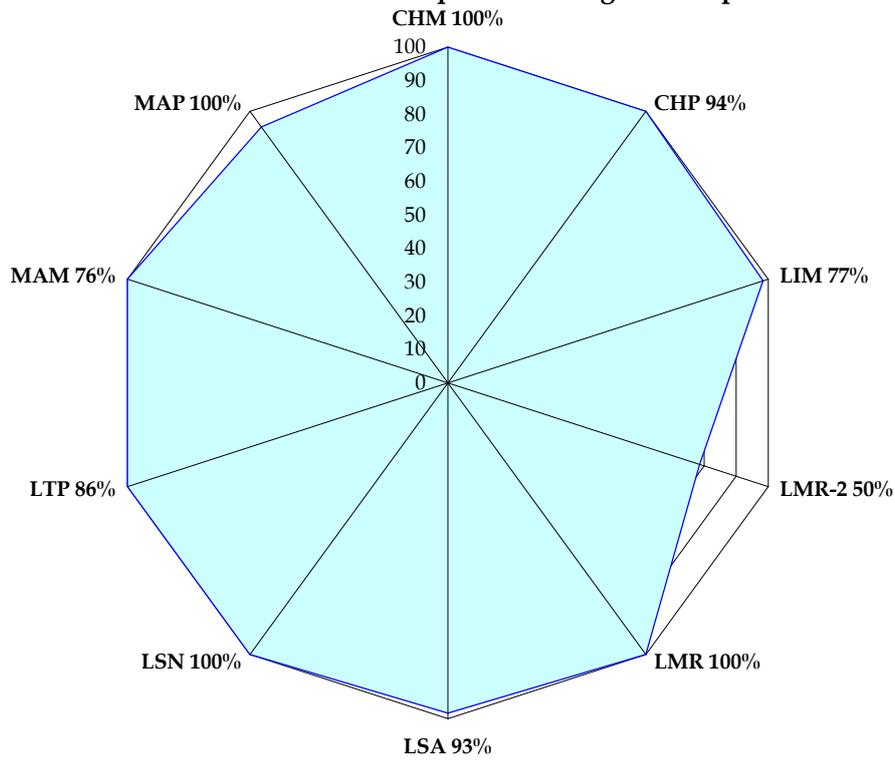


Figura 5.10. Efficienza della rete dei torbidimetri nel quadrimestre Gennaio-Aprile 2009.

Per facilitare la comprensione del grado di copertura delle registrazioni, nel diagramma di Figura 5.11 viene visualizzata l'estensione temporale delle acquisizioni effettuate dai singoli strumenti.

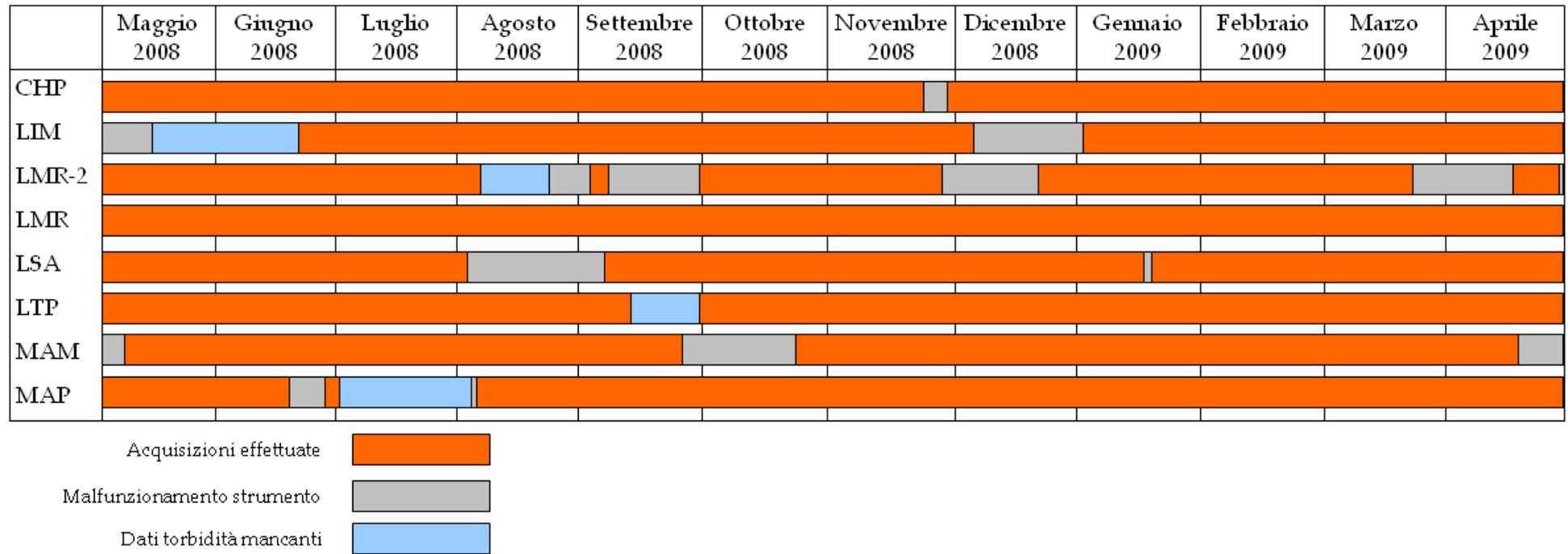


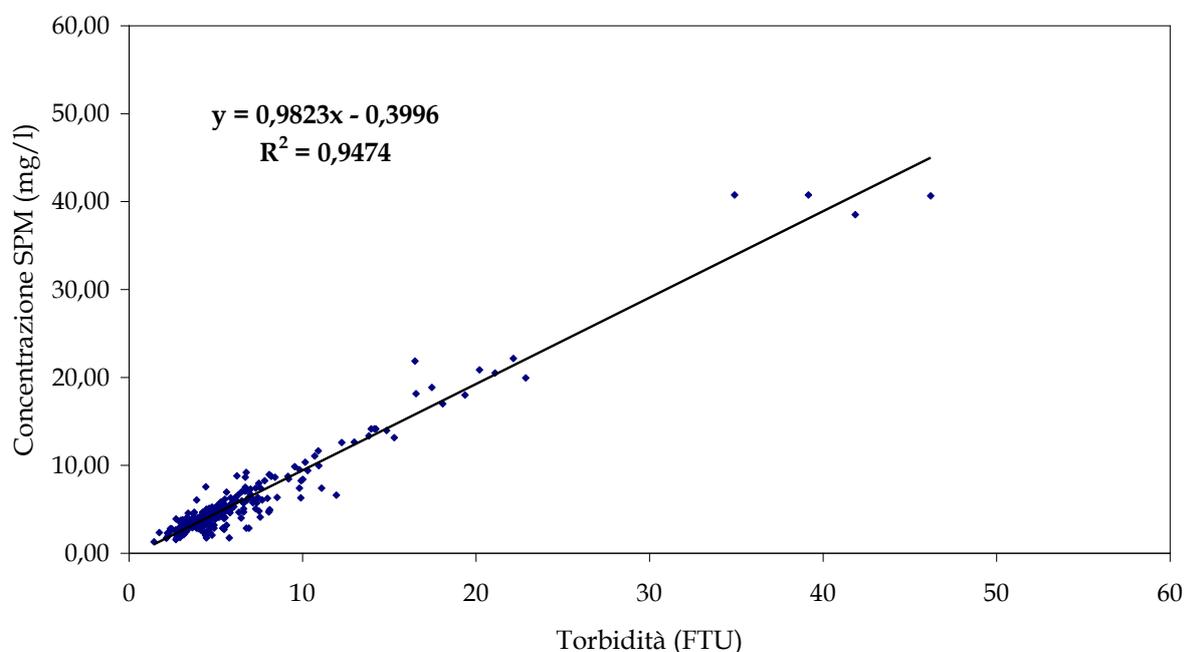
Figura 5.11. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle otto stazioni oggetto del monitoraggio.

Le relazioni utilizzate per la calibrazione dei dati registrati in ciascuna delle stazioni sono riportate nella Tabella 5.3 e visualizzate nelle Figure 5.12.a-h. Si osserva come, in quasi tutti i casi, la pendenza della retta di regressione sia piuttosto vicina all'unità. Ciascuna di queste relazioni è stata utilizzata per derivare la serie temporale della concentrazione di SPM a partire dalle serie della torbidità della corrispondente stazione, ottenute dalla procedura di correzione descritta nella precedente sezione.

Tabella 5.3. Coefficienti retta di calibrazione.

Stazione	Coefficiente retta di calibrazione
CHP	$y = 0,9823x - 0,3996$ $R^2 = 0,9474$
LIM <sup>1</sup>	$y = 1,0101x - 1,1519$ $R^2 = 0,8782$
LMR-2	$y = 0,9353x + 0,0113$ $R^2 = 0,9489$
LMR	$y = 0,9804x + 0,5121$ $R^2 = 0,9414$
LSA	$y = 0,9559x - 0,1098$ $R^2 = 0,9464$
LTP	$y = 1,0568x - 1,1029$ $R^2 = 0,9612$
MAM	$y = 1,0126x - 0,8176$ $R^2 = 0,9004$
MAP	$y = 0,935x - 0,2735$ $R^2 = 0,9274$

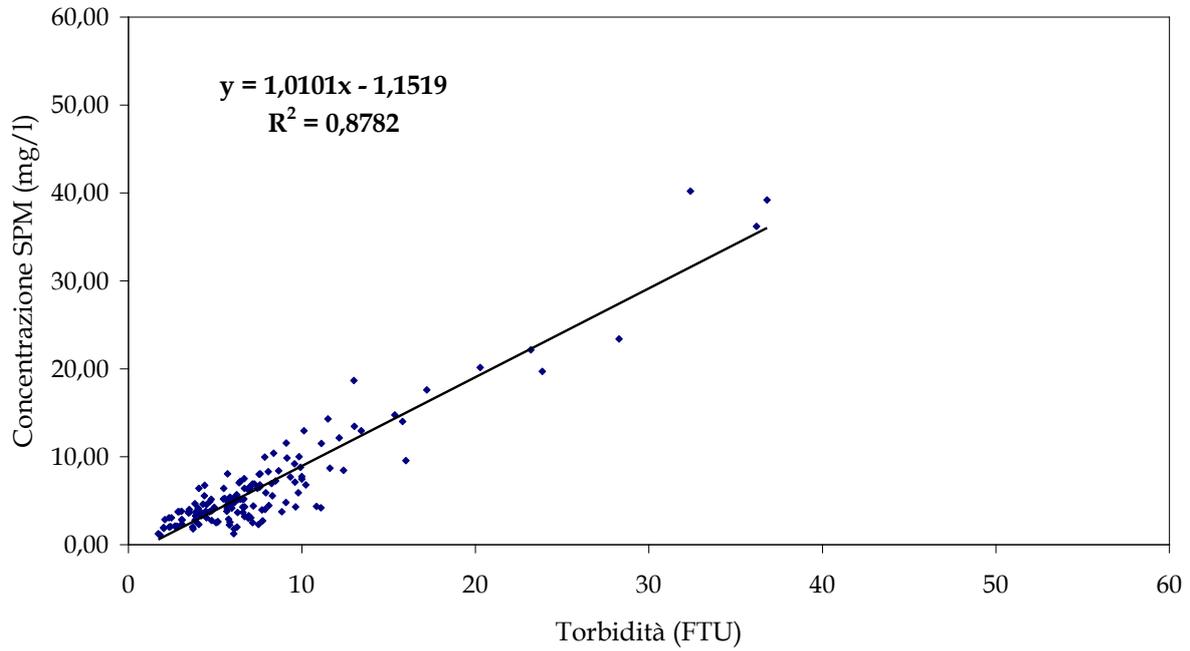
Stazione CHP



(a)

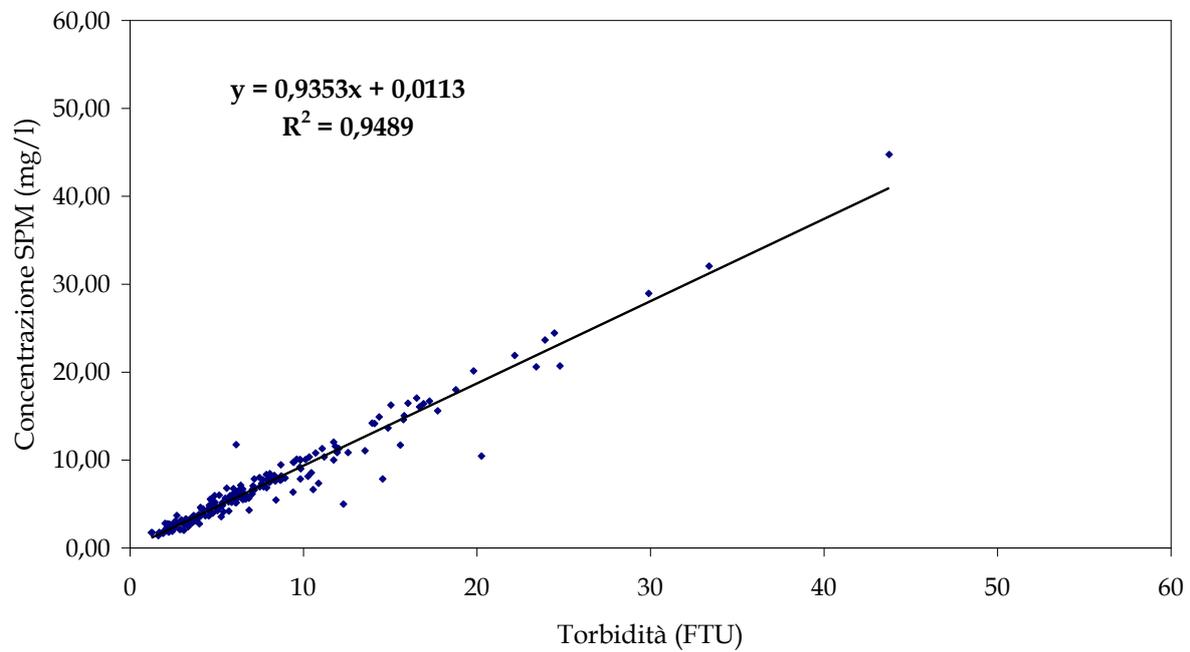
<sup>1</sup> I dati utilizzati per la realizzazione della retta di calibrazione sono stati corretti rispetto allo Studio B.6.72 B/3, con l'eliminazione di due campioni spuri del 2007.

**Stazione LIM**



(b)

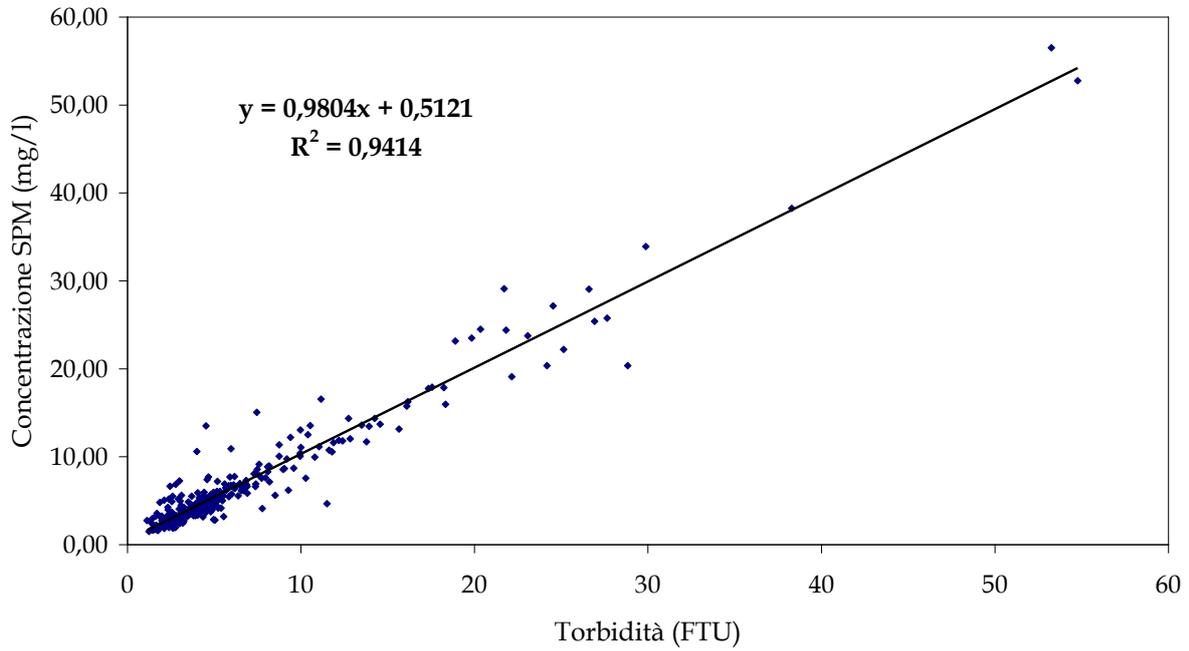
**Stazione LMR-2**



(c)

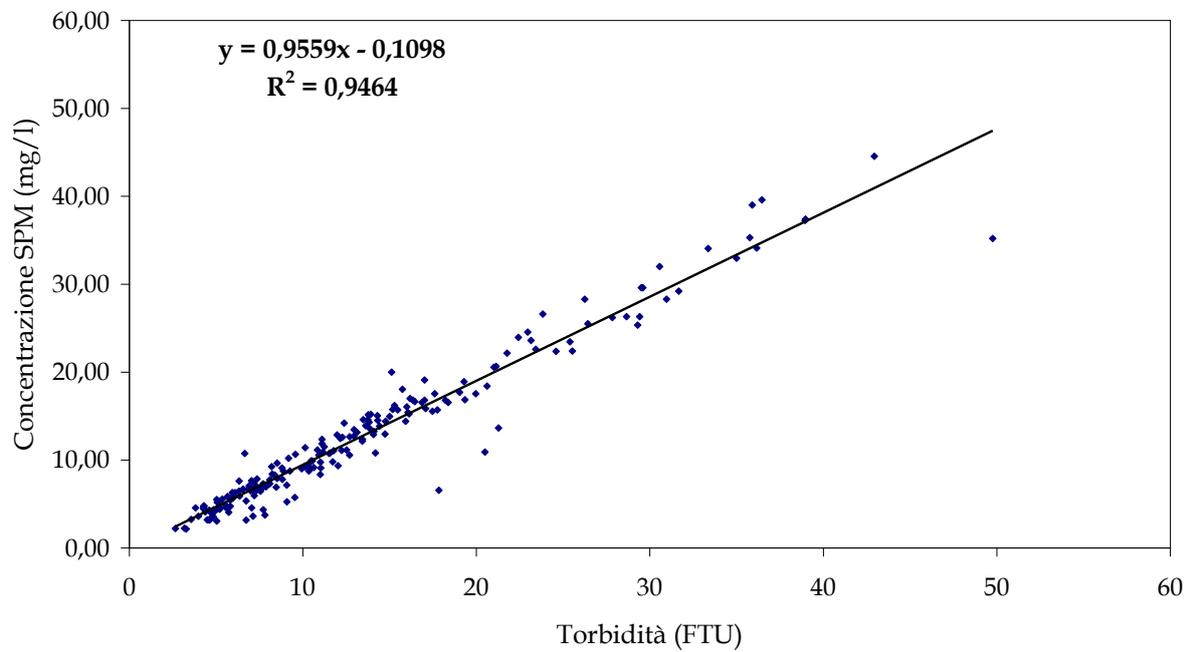
CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Stazione LMR



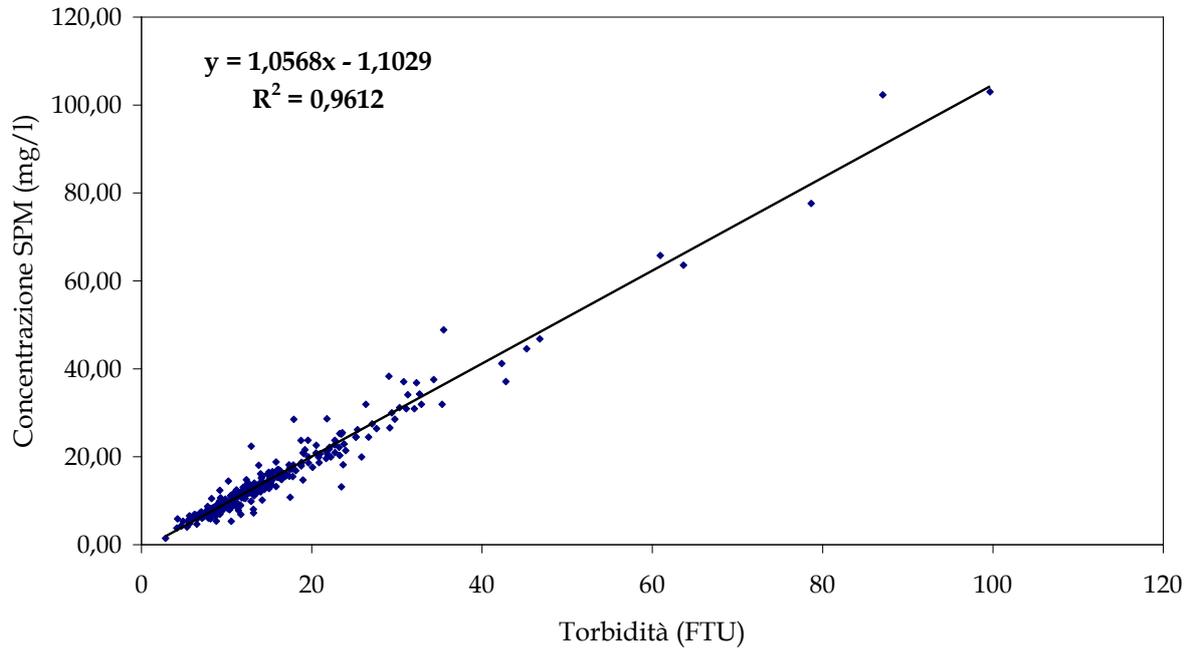
(d)

Stazione LSA



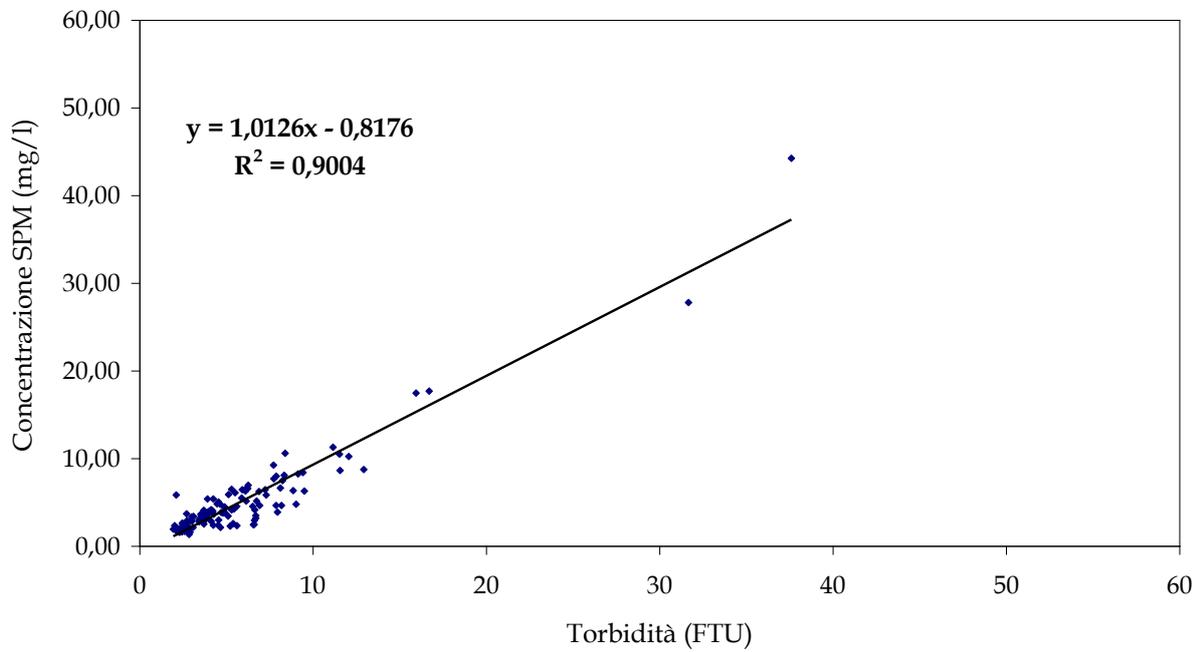
(e)

**Stazione LTP**



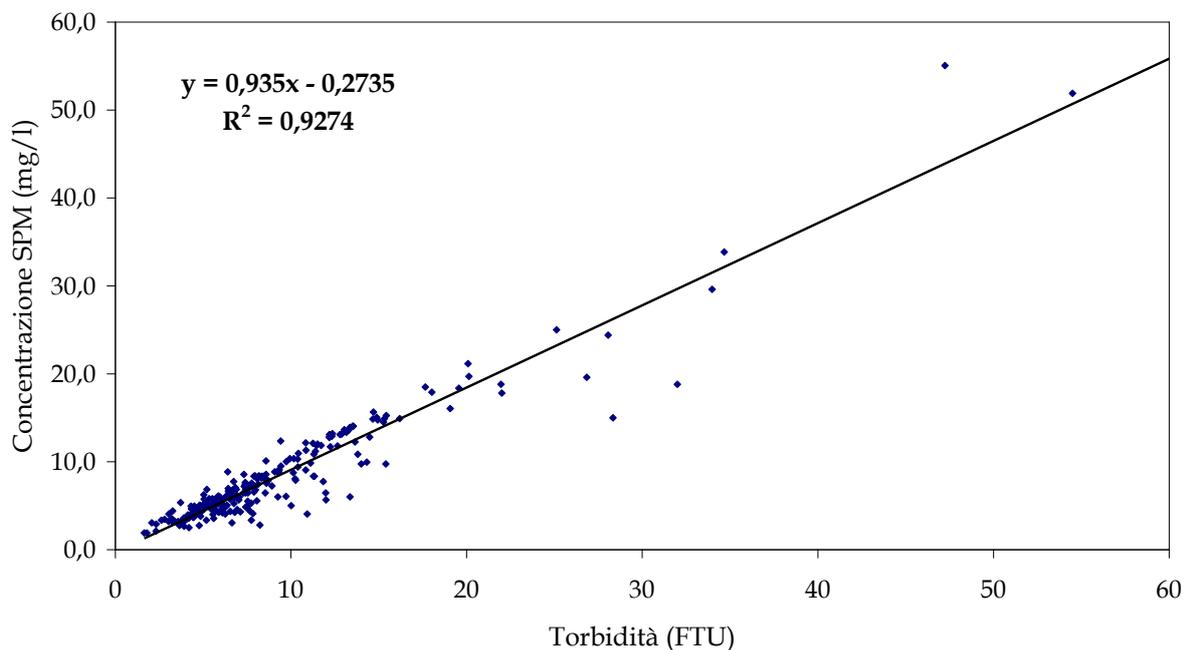
(f)

**Stazione MAM**



(g)

**Stazione MAP**



(h)

Figura 5.12. 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 2009.

### 5.3 Serie temporali della torbidità/SPM

L'intera serie temporale del periodo Maggio 2008 - Aprile 2009 per ciascuna delle stazioni è inclusa nei files del database allegato al presente rapporto.

Per quanto riguarda gli elaborati grafici, vengono qui presentate due versioni dell'intera serie temporale del periodo di osservazione per ciascuna delle stazioni, su scala semestrale: nella prima (in alto) la concentrazione di SPM è rappresentata insieme alla curva di marea del mareografo più vicino alla stazione in questione (Diga Nord di Lido, Diga Sud di Chioggia, Diga Nord di Malamocco - Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia), mentre nella seconda (in basso) l'SPM è rappresentato insieme all'andamento orario della velocità del vento, misurato alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR.

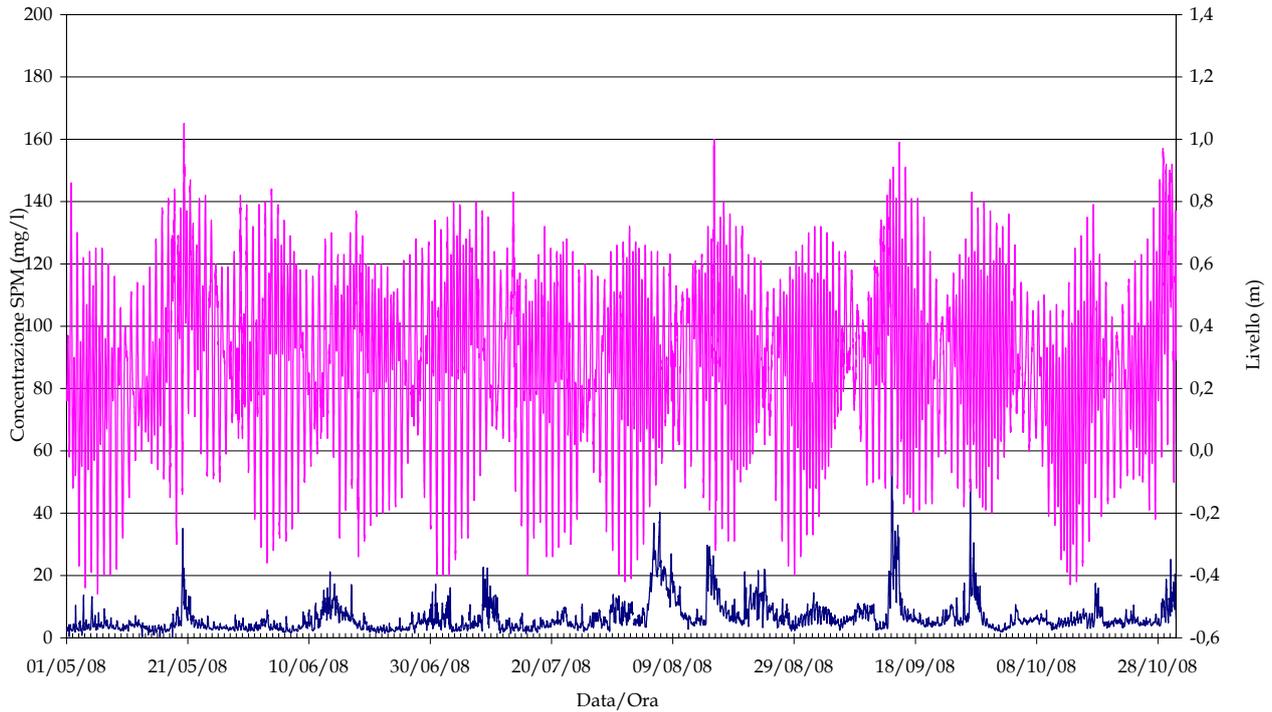
I grafici bimestrali della concentrazione del particolato in sospensione sono riportati nei tre Rapporti di Valutazione:

- I Rapporto di Valutazione, Settembre 2008. Periodo di riferimento: Maggio-Agosto 2008;
- II Rapporto di Valutazione, Gennaio 2009. Periodo di riferimento: Settembre-Dicembre 2008;
- III Rapporto di Valutazione, Maggio 2009. Periodo di riferimento: Gennaio-Aprile 2009.

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

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

Stazione CHP



Stazione CHP

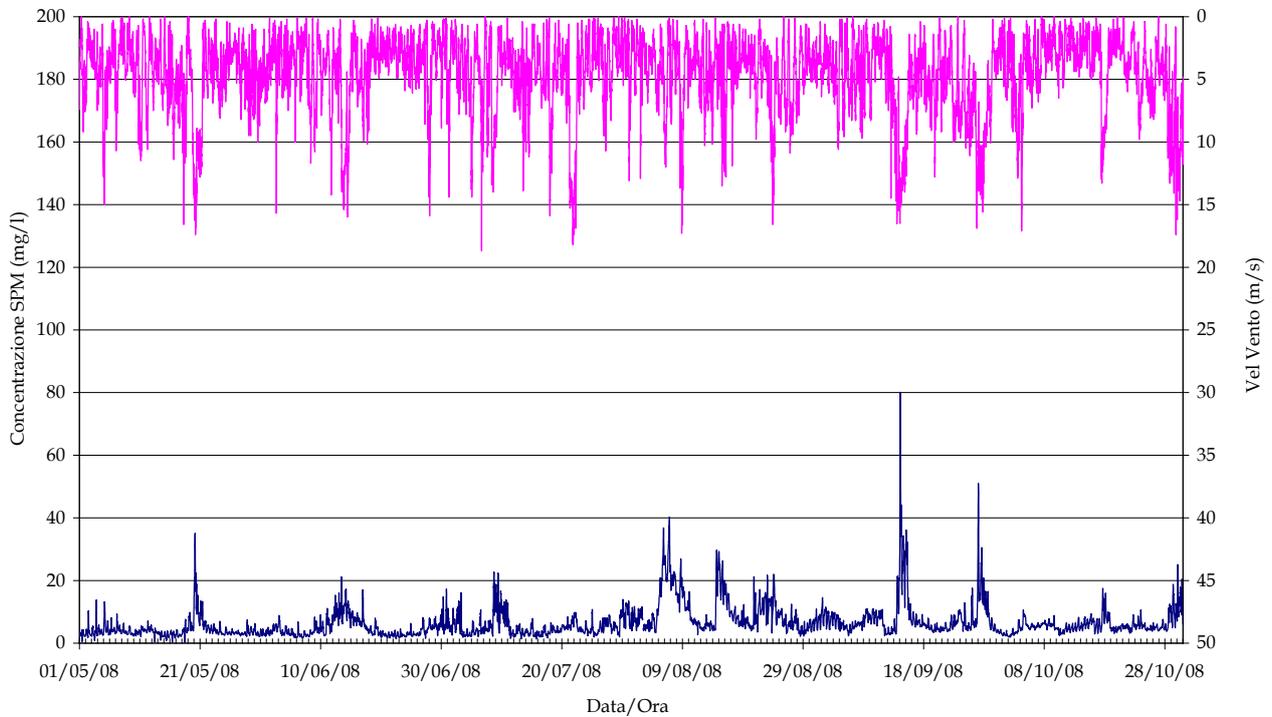
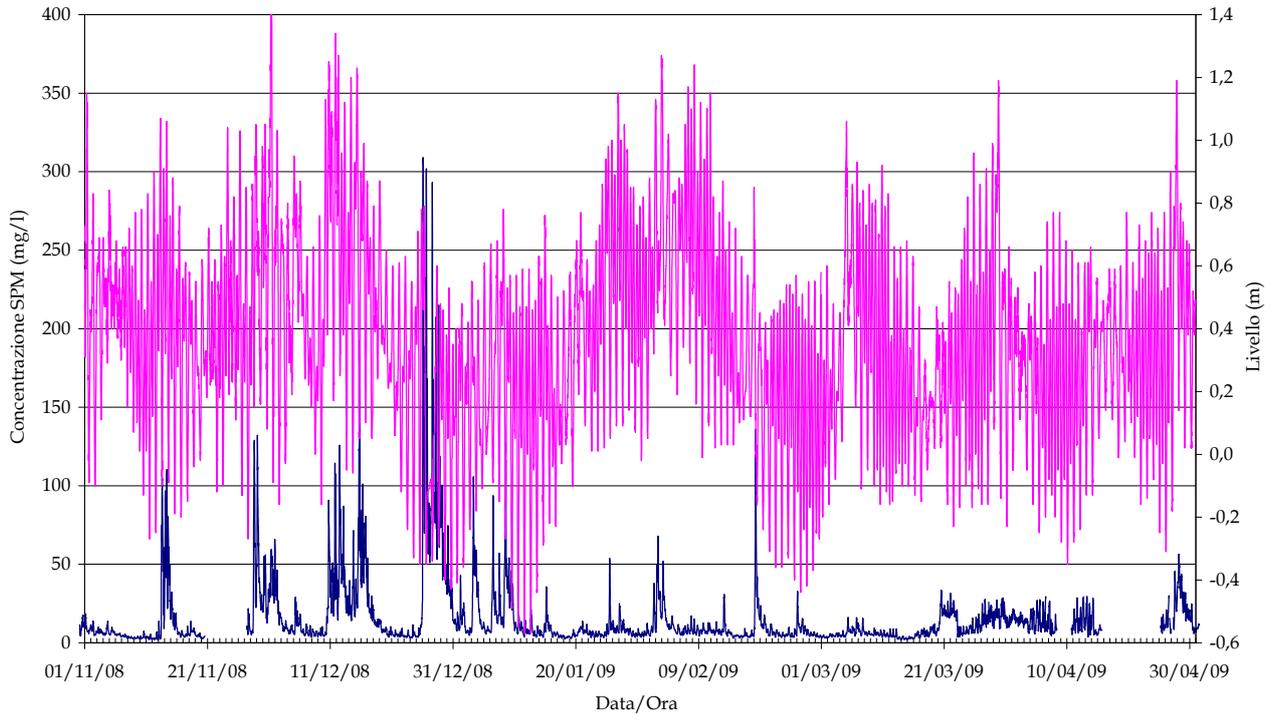


Figura 5.13 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Maggio-Ottobre 2009.

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

Stazione CHP



Stazione CHP

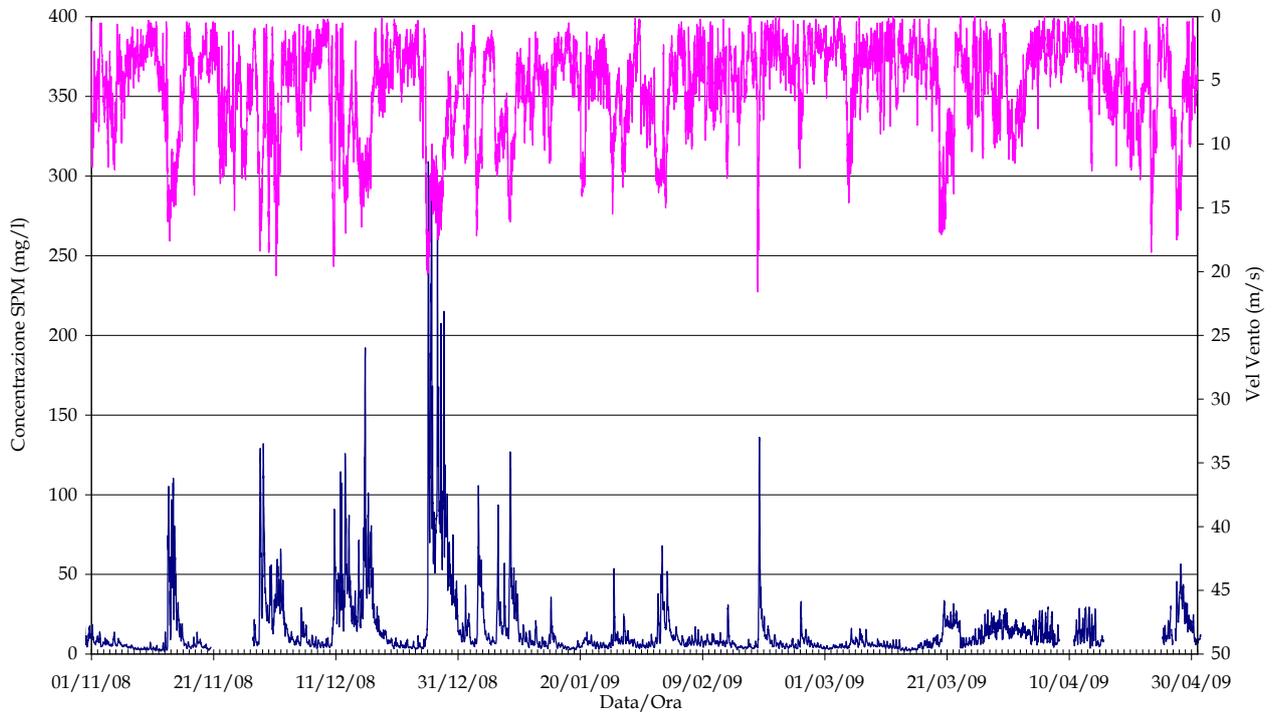
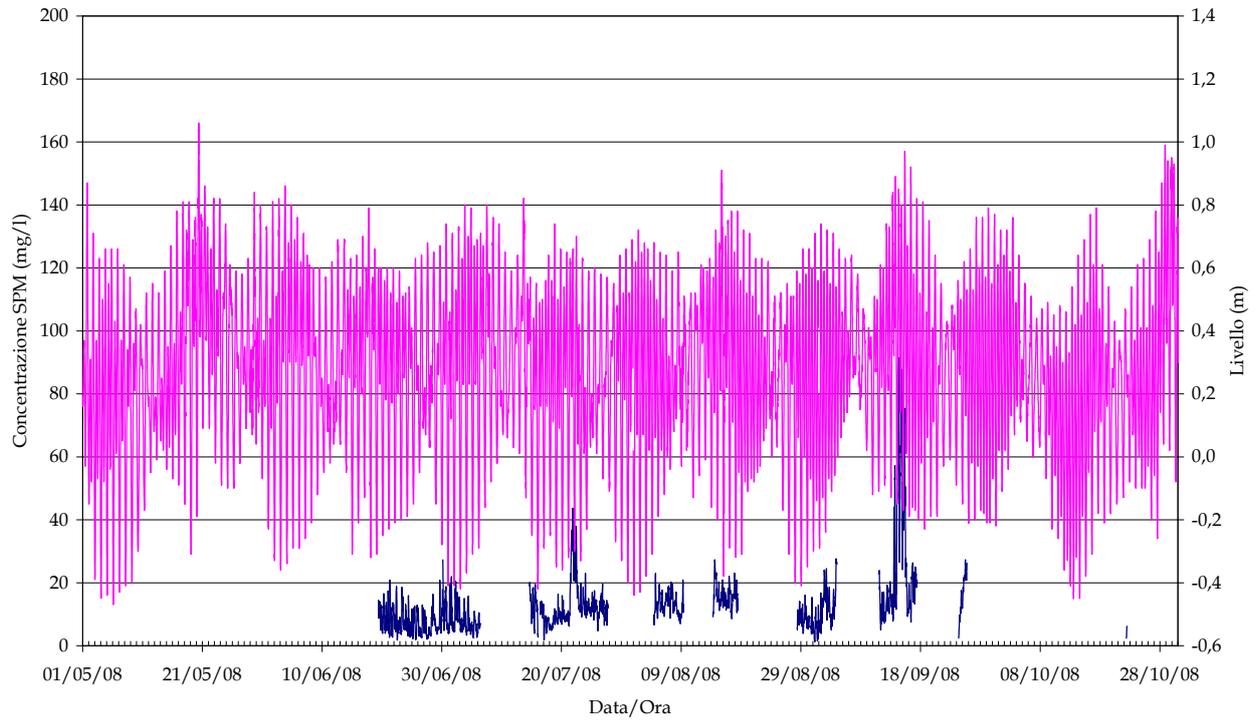


Figura 5.13 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Novembre 2008-Aprile 2009.

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

Stazione LIM



Stazione LIM

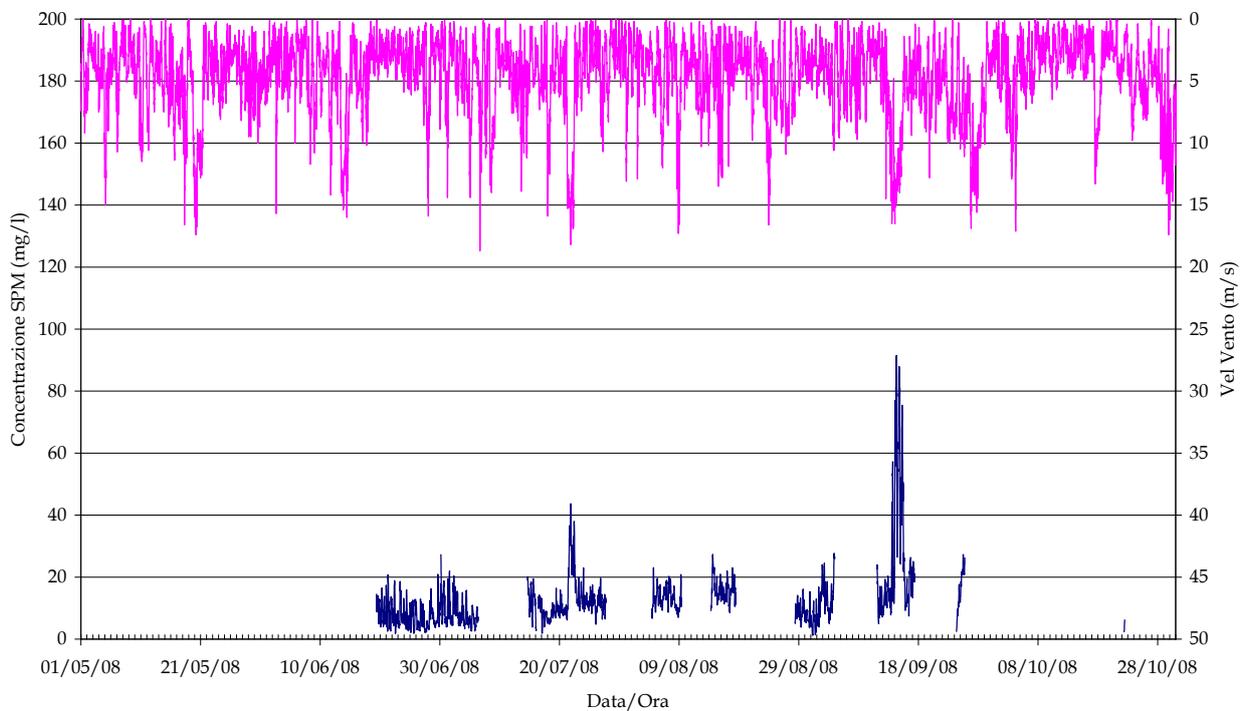


Figura 5.14 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo Maggio-Ottobre 2009.

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

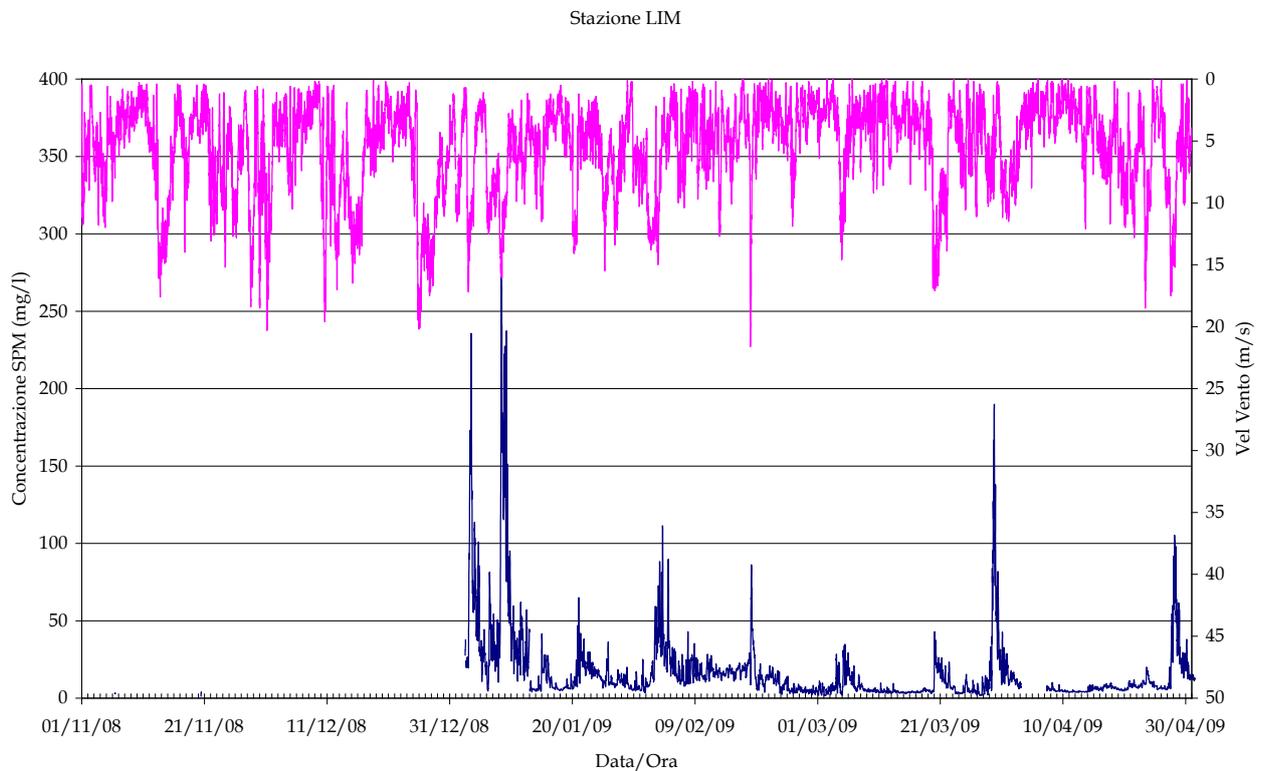
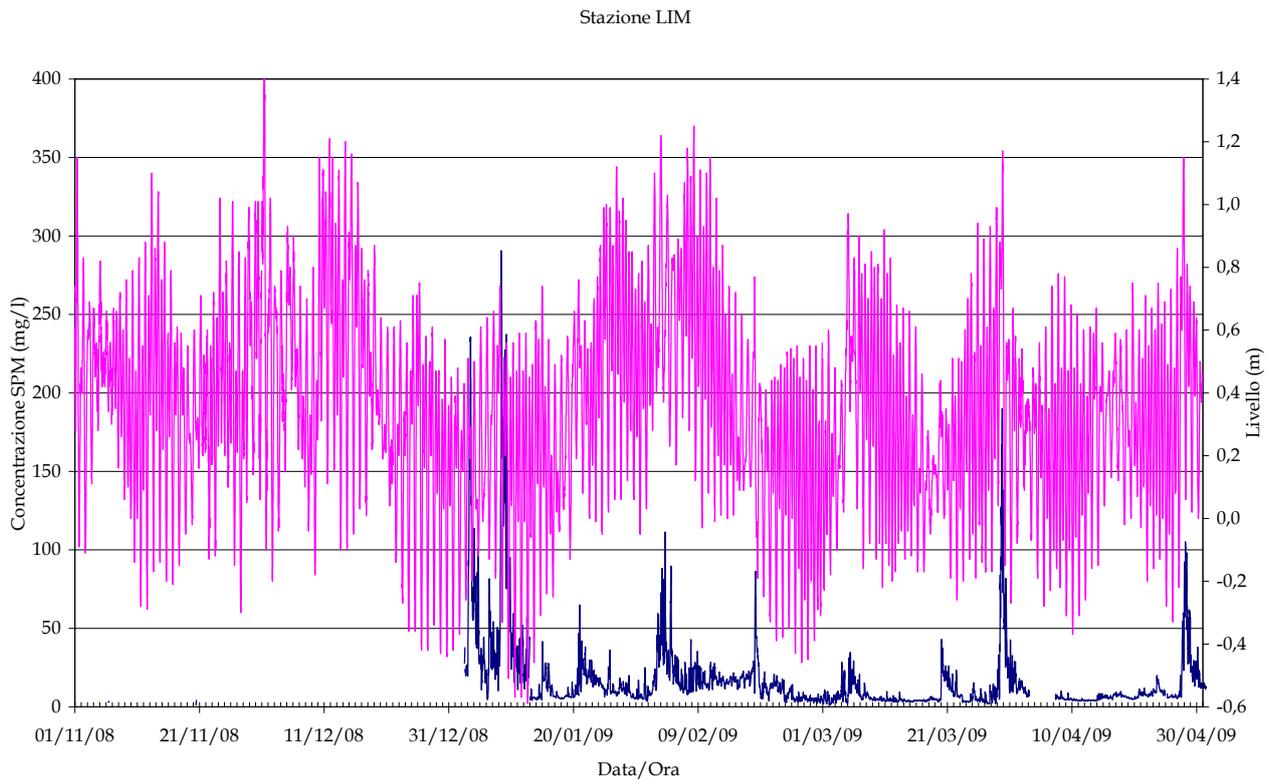
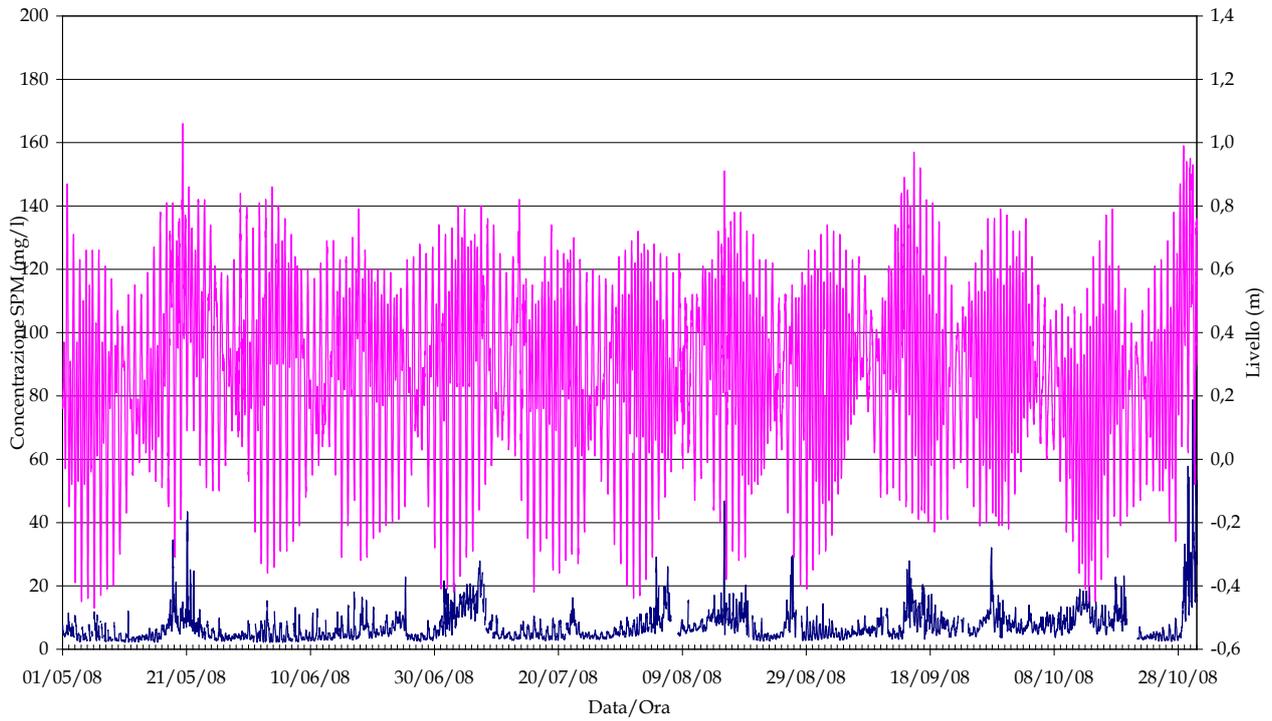


Figura 5.14 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo Novembre 2008-Aprile 2009.

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

Stazione LMR



Stazione LMR

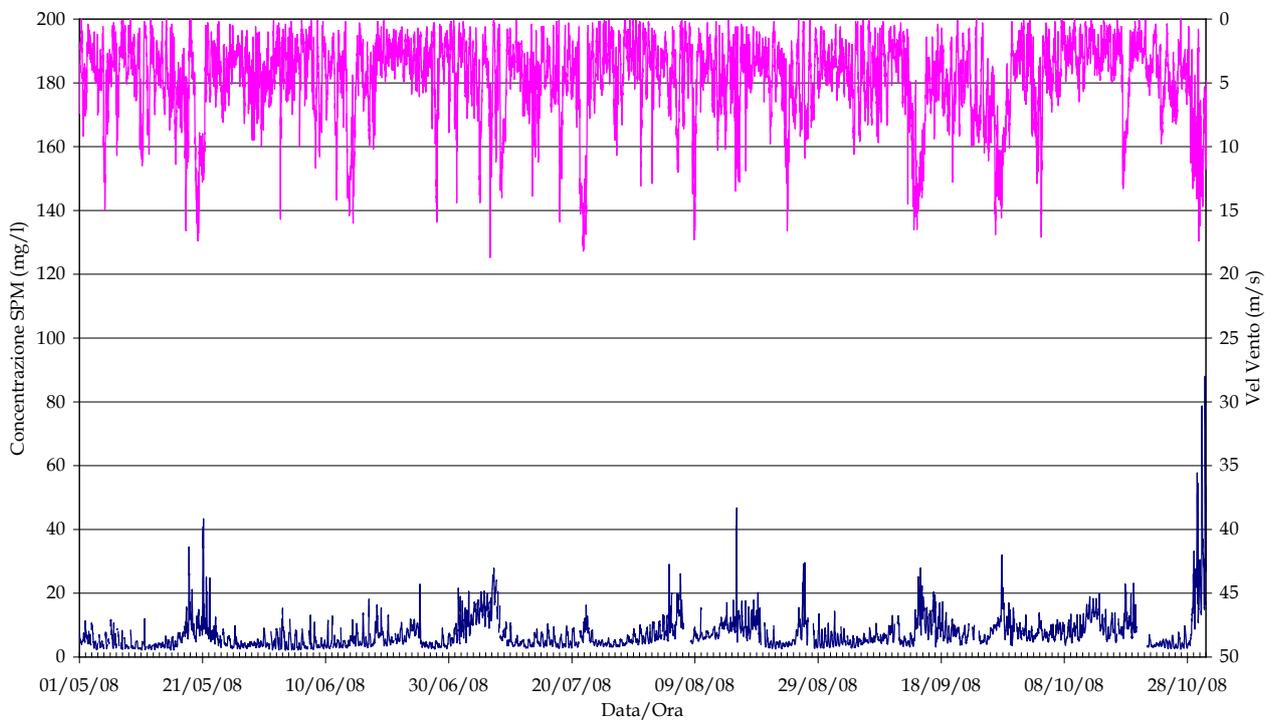
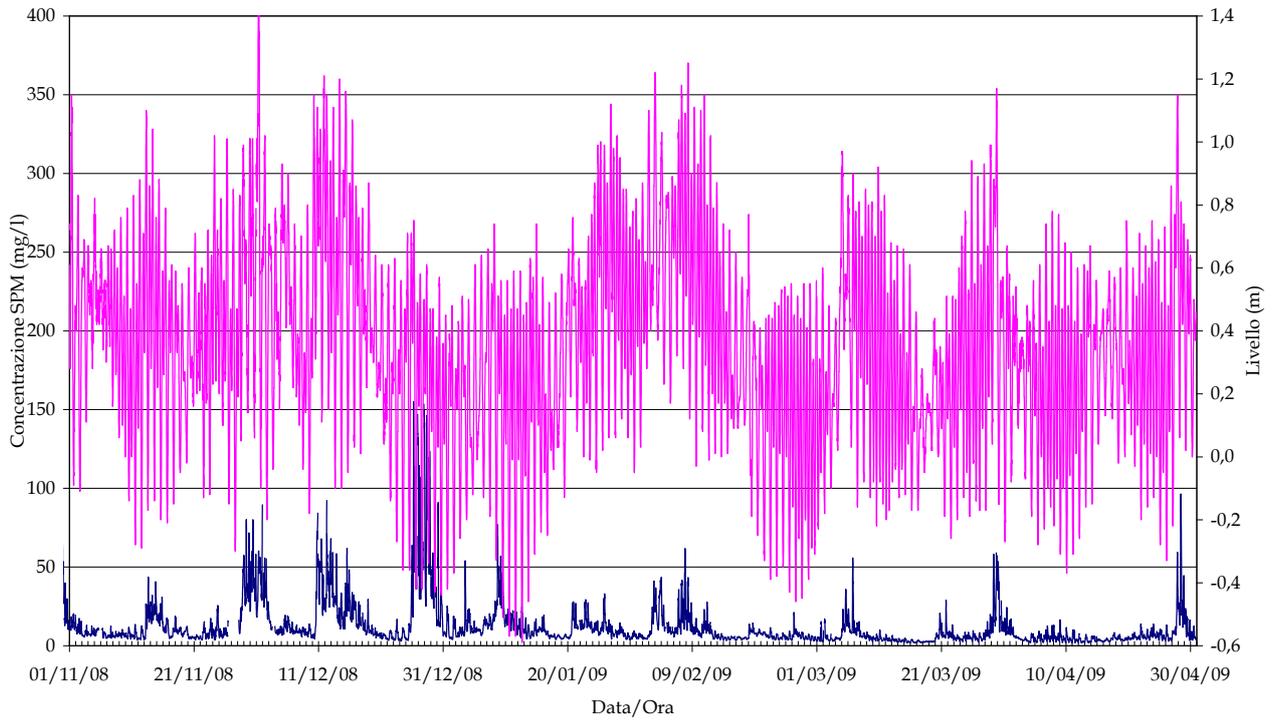


Figura 5.15(a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR nel periodo Maggio-Ottobre 2009.

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

Stazione LMR



Stazione LMR

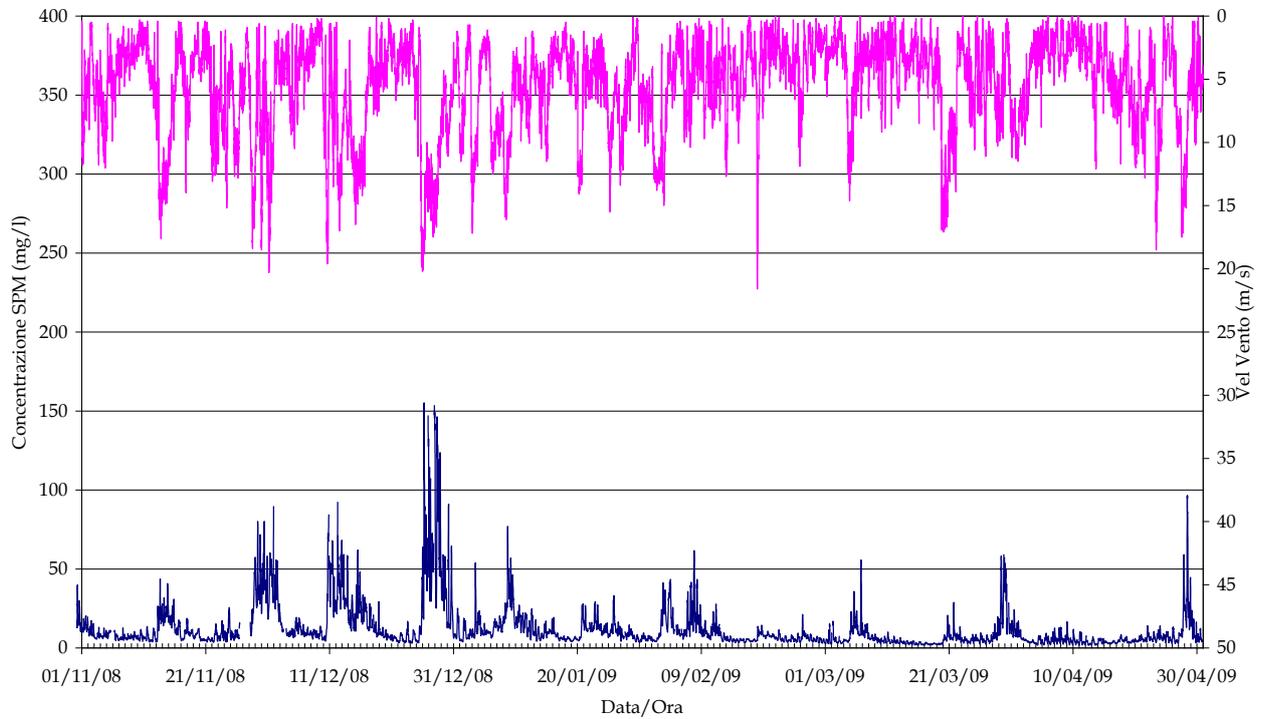
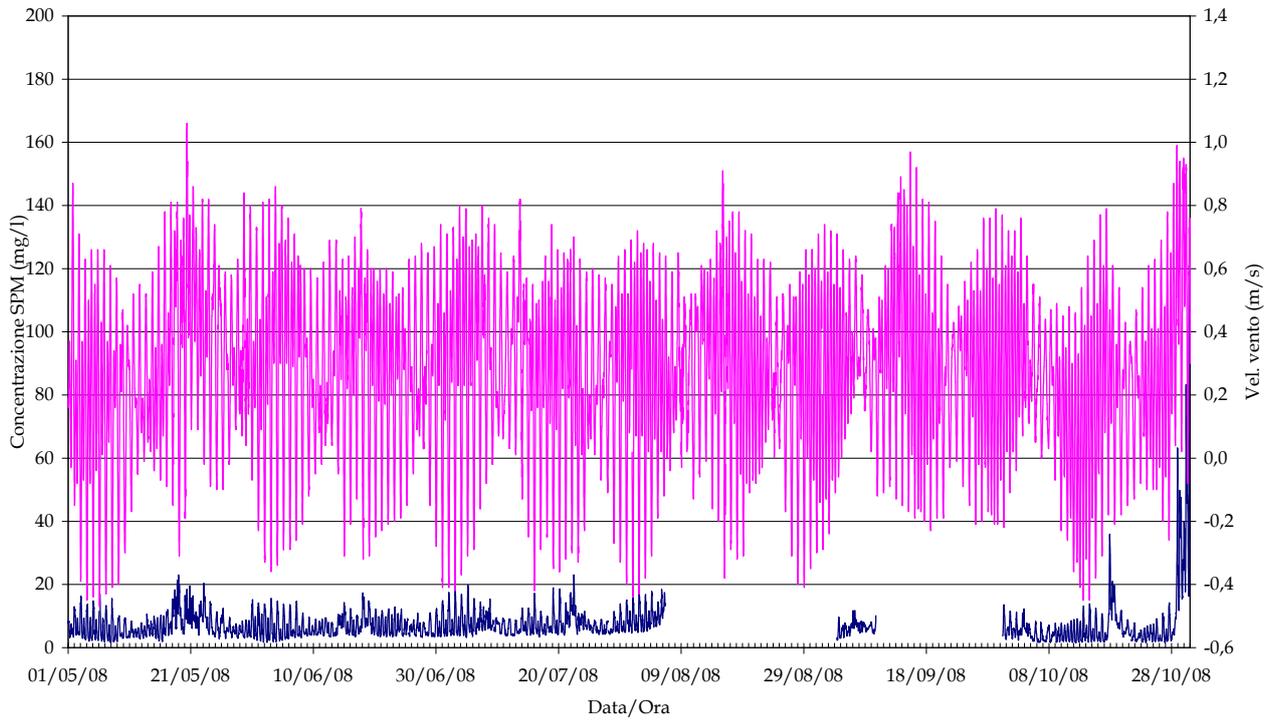


Figura 5.15 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR nel periodo Novembre 2008-Aprile 2009.

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

Stazione LMR-2



Stazione LMR-2

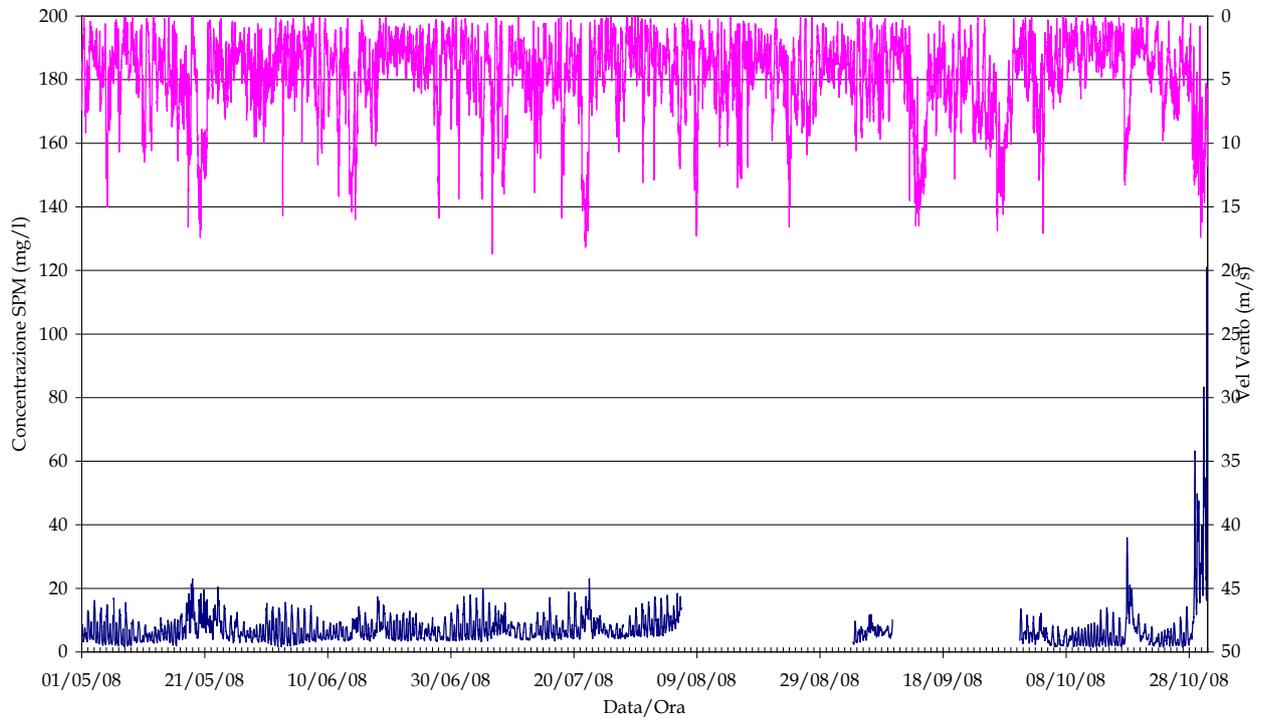
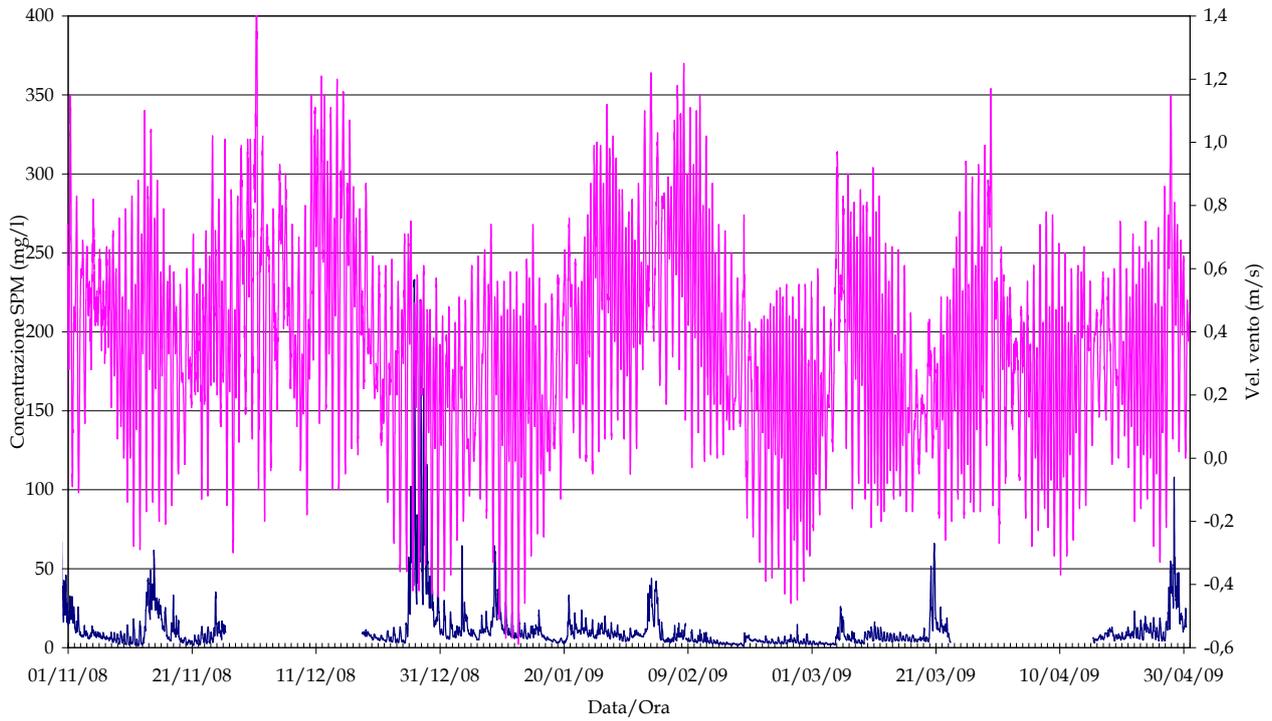


Figura 5.16 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo Maggio-Ottobre 2009.

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

Stazione LMR-2



Stazione LMR-2

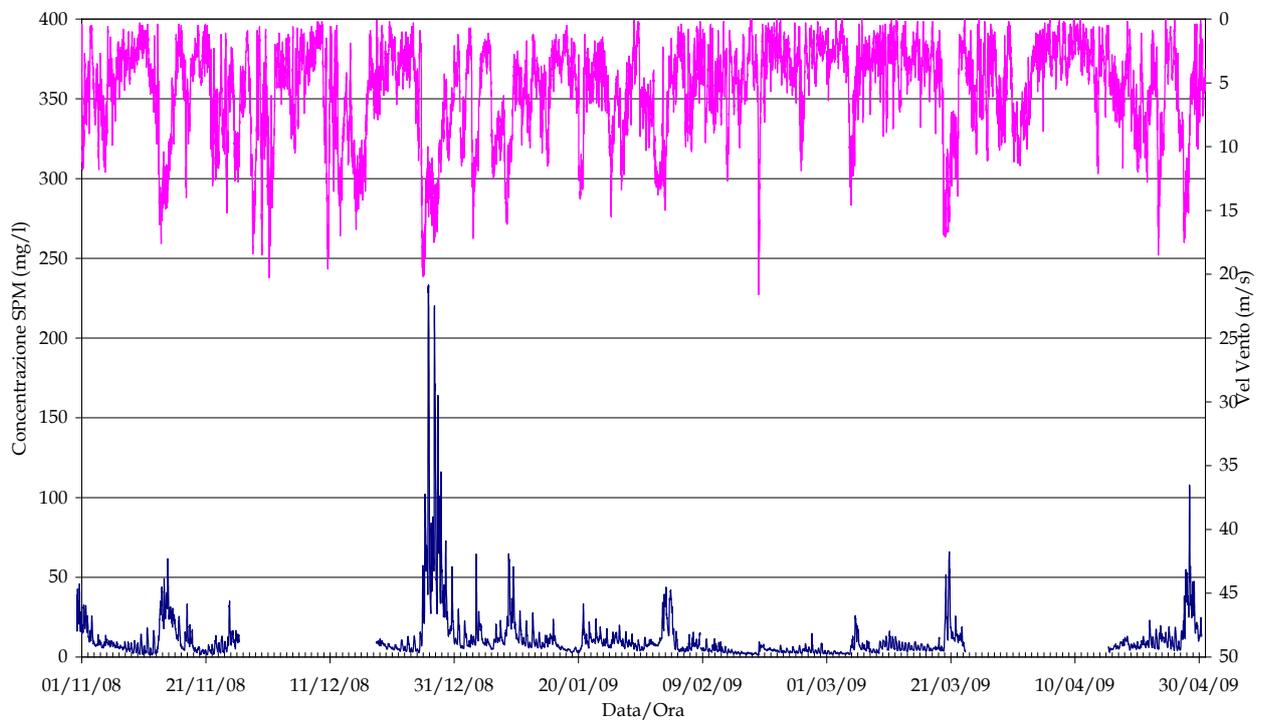
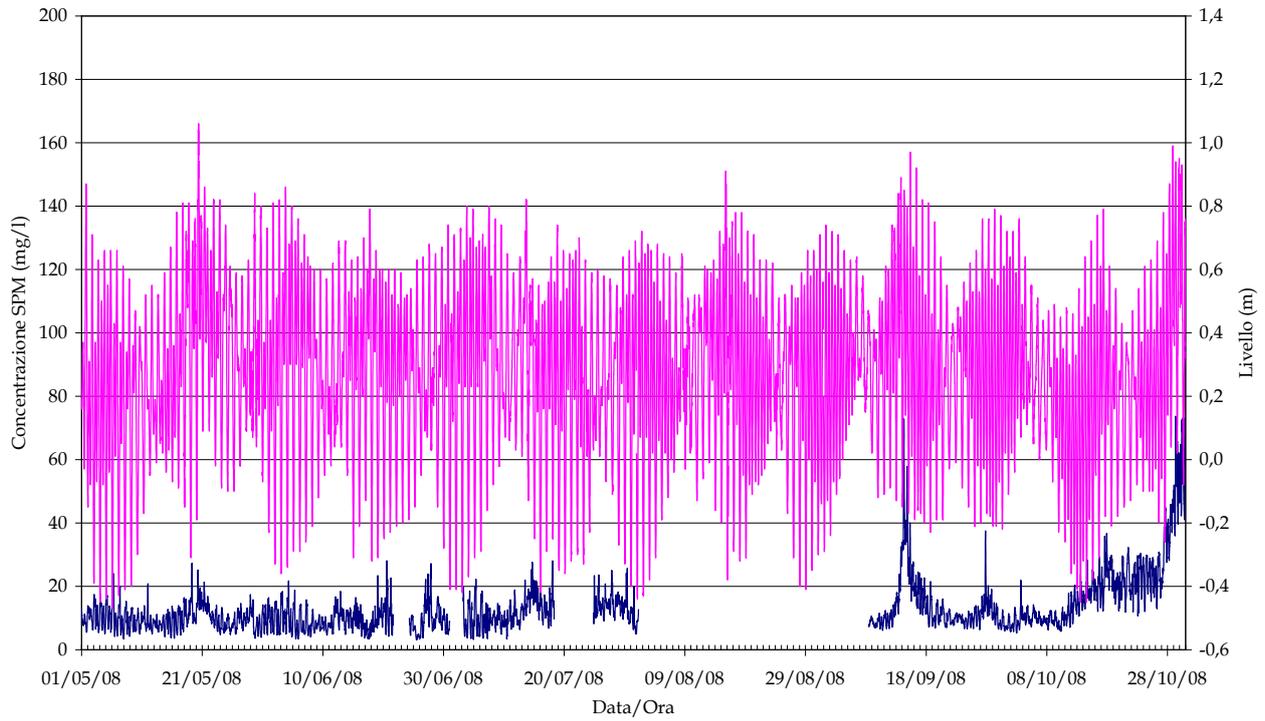


Figura 5.16 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo Novembre 2009-Aprile 2009.

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

Stazione LSA



Stazione LSA

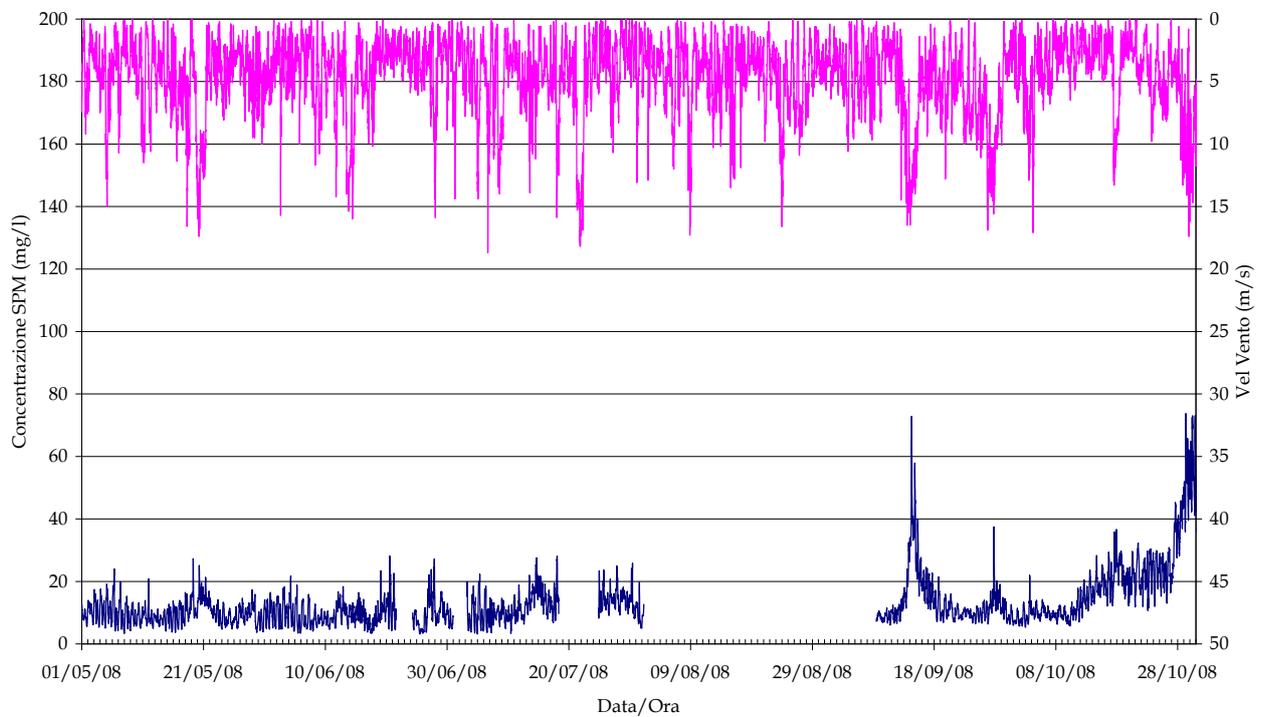
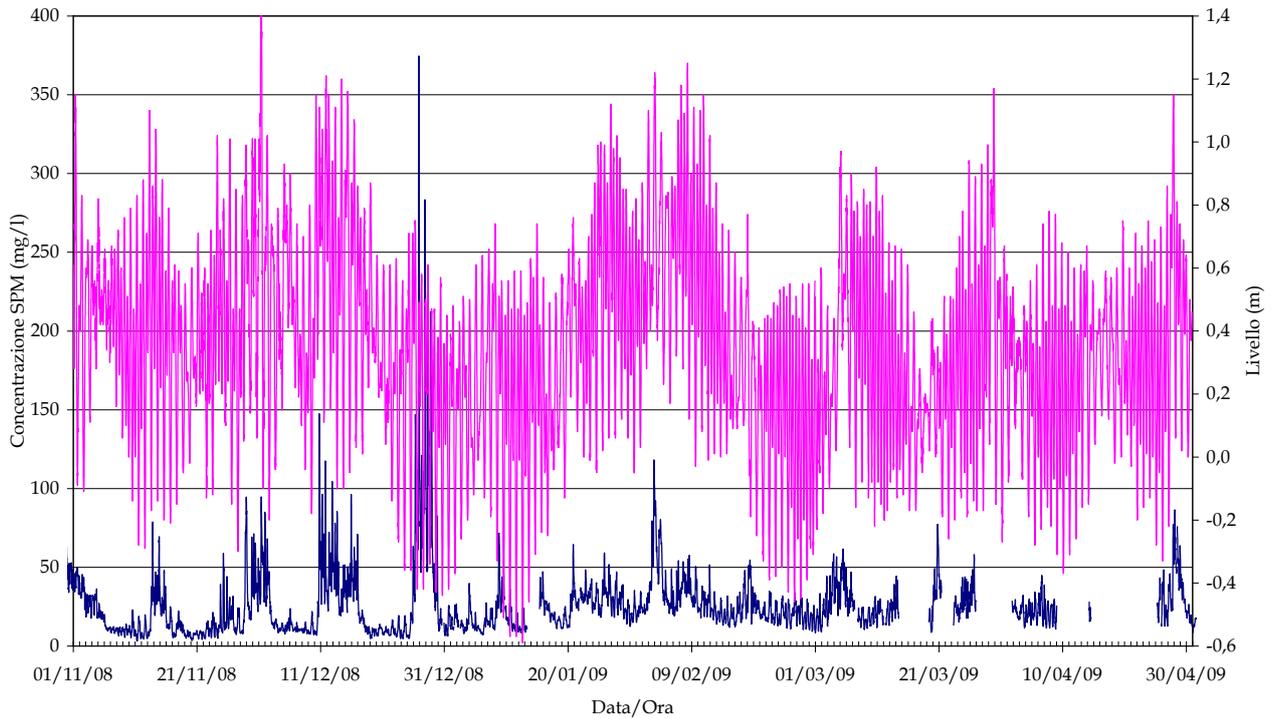


Figura 5.17 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo Maggio-Ottobre 2009

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

Stazione LSA



Stazione LSA

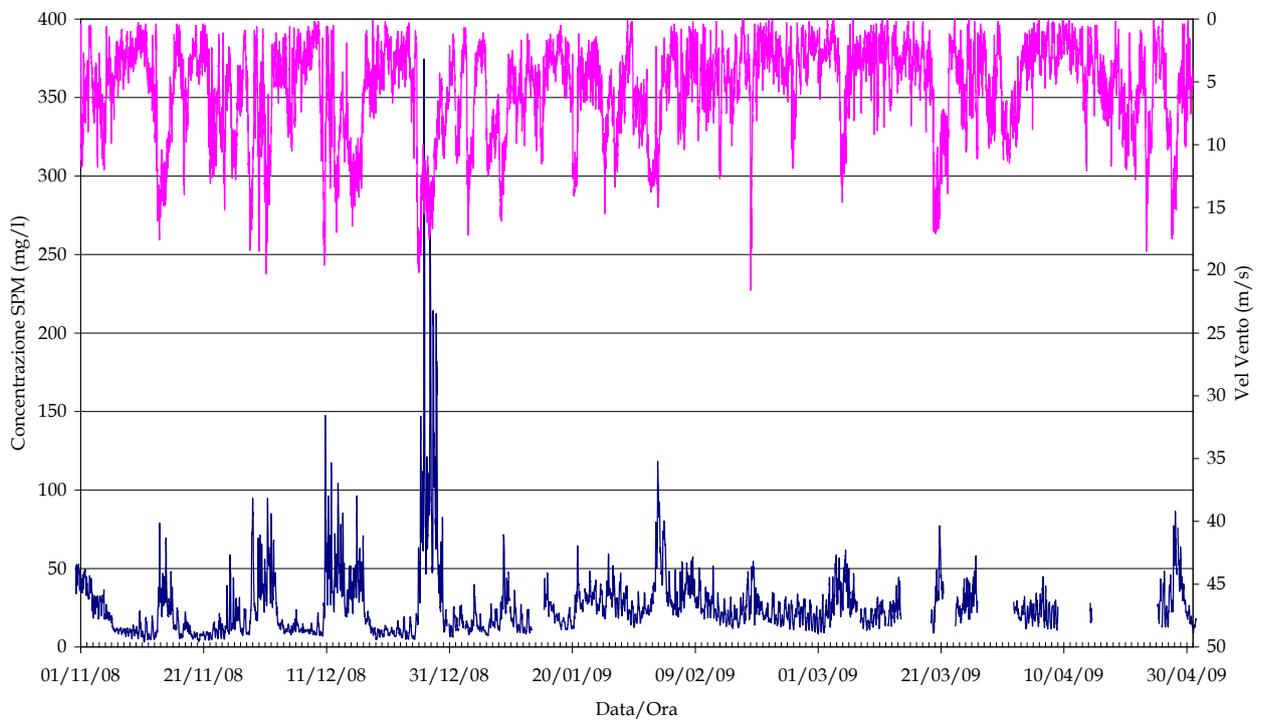
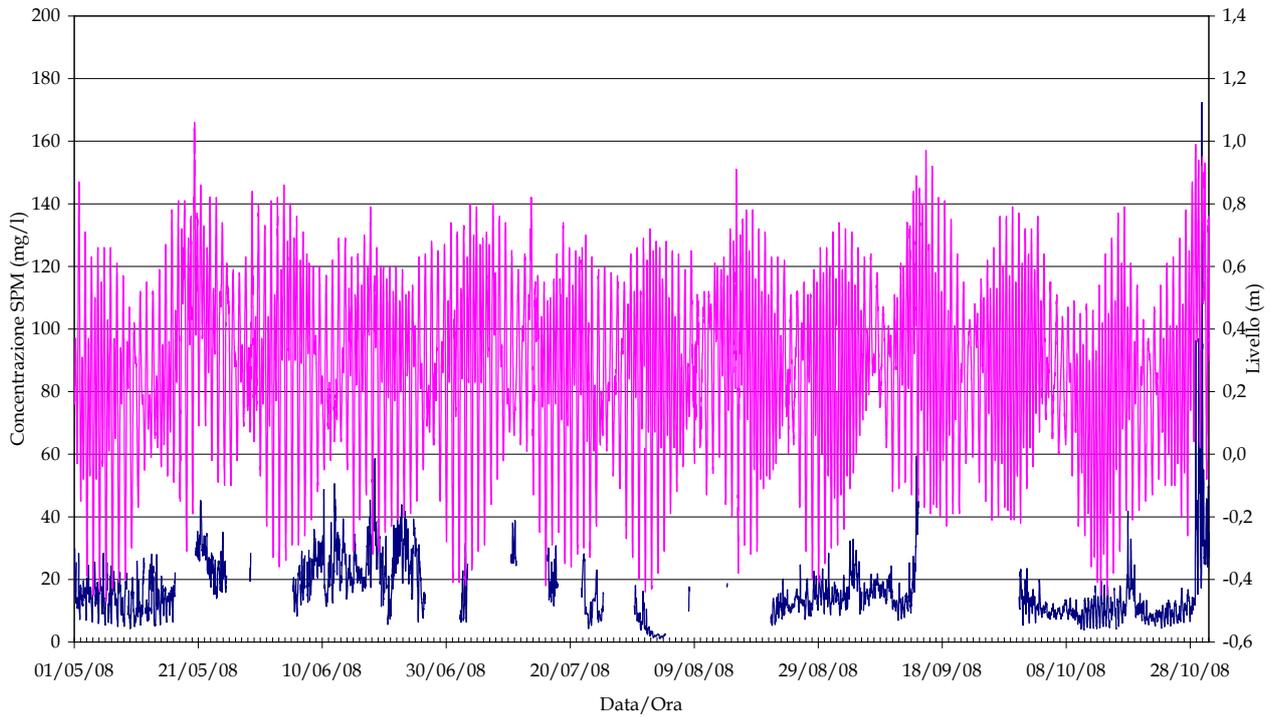


Figura 5.17 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo Novembre 2008-Aprile 2009.

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

Stazione LTP



Stazione LTP

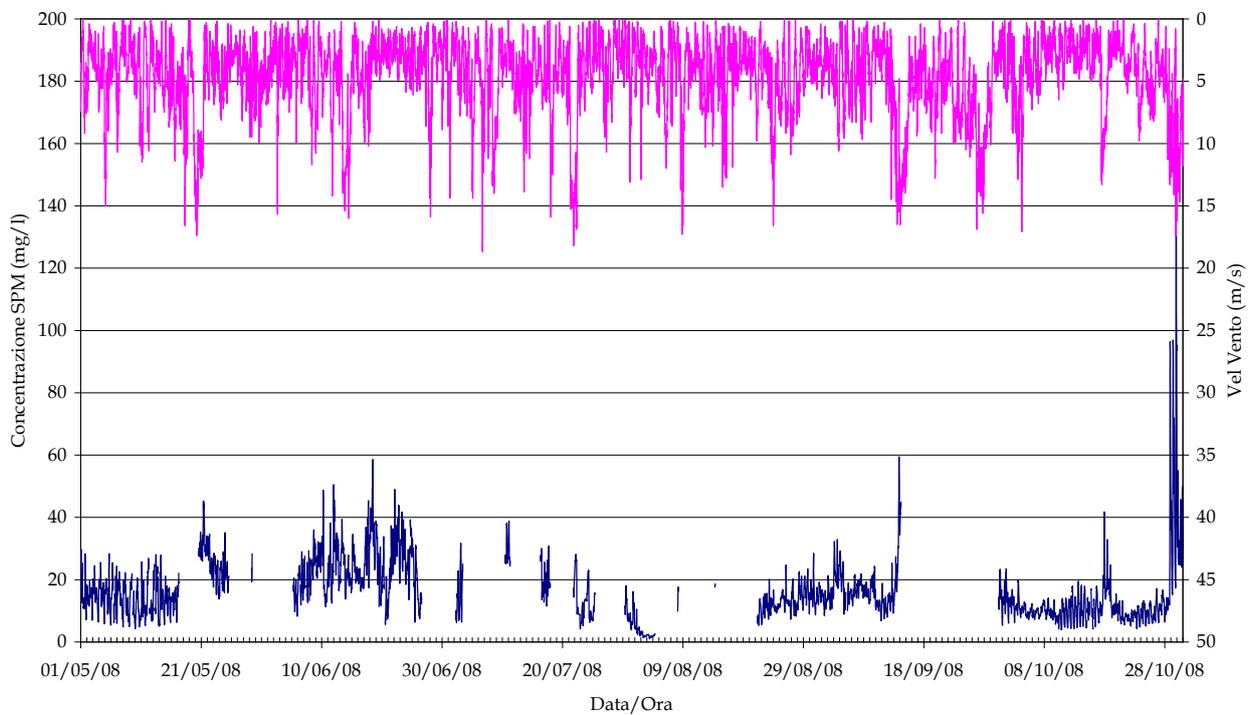
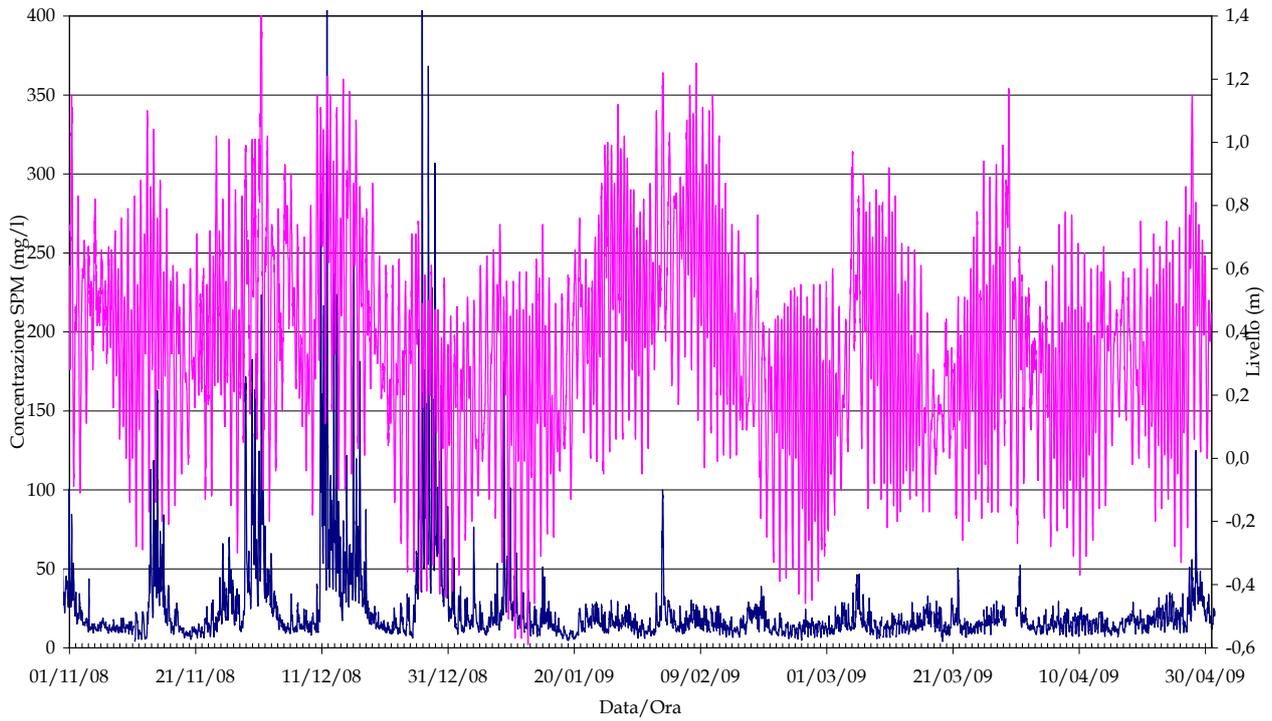


Figura 5.18 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LTP nel periodo Maggio-Ottobre 2009.

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

Stazione LTP



Stazione LTP

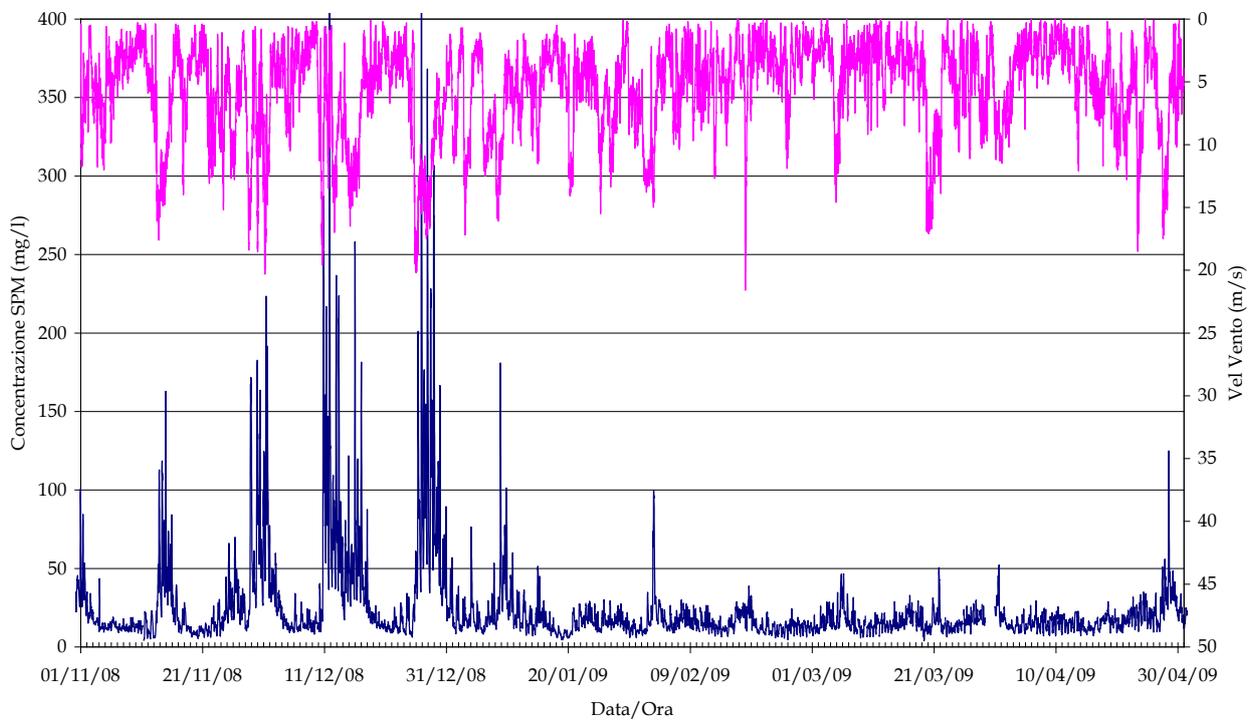
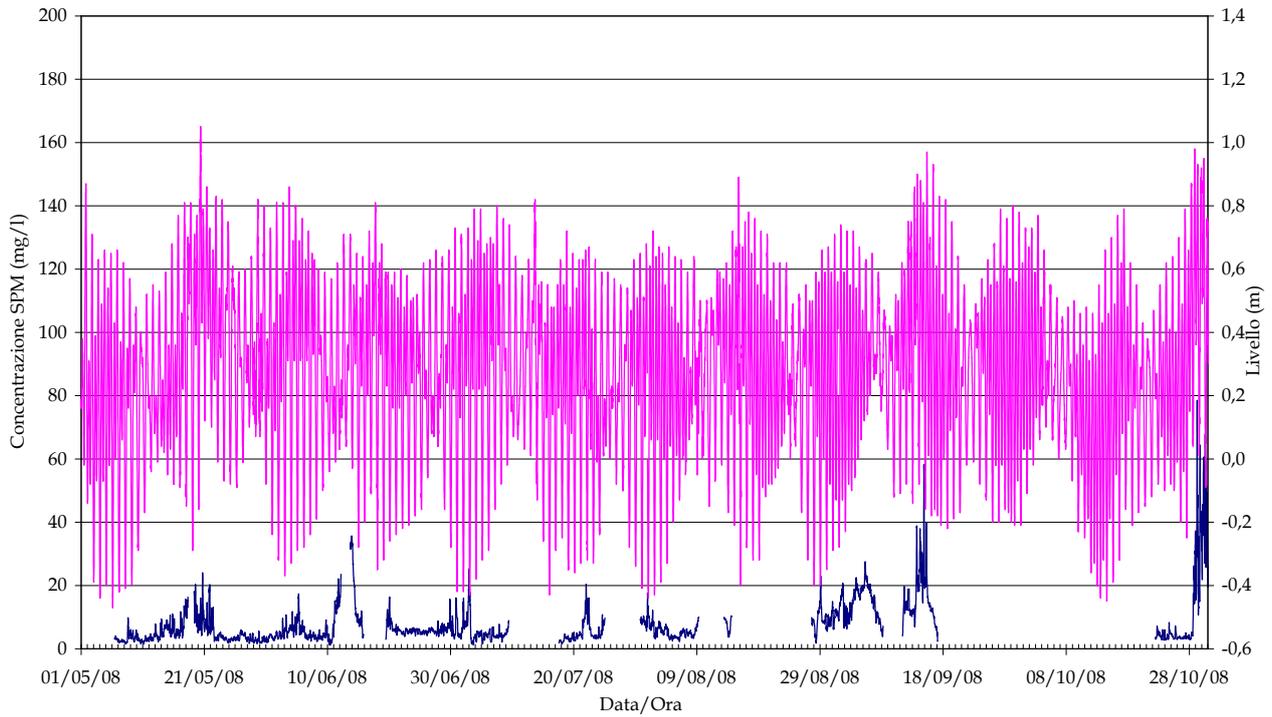


Figura 5.18 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LTP nel periodo Novembre 2009-Aprile 2009.

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

Stazione MAM



Stazione MAM

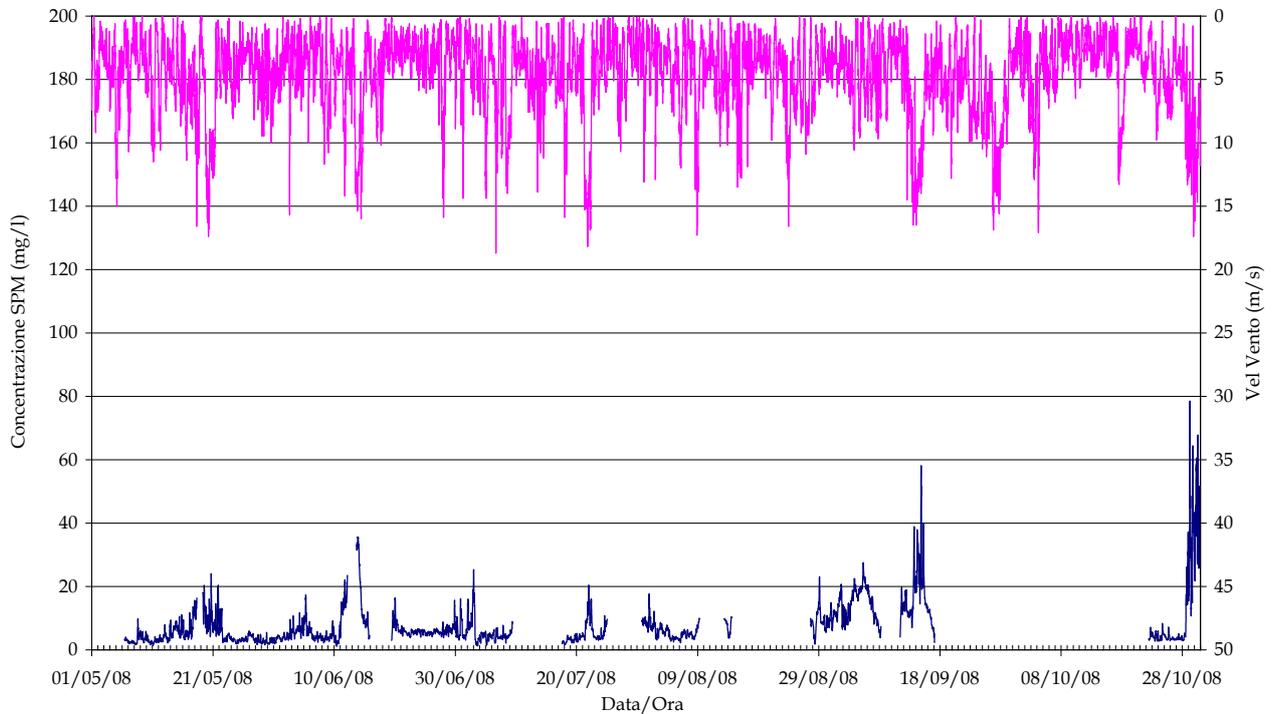


Figura 5.19 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Maggio-Ottobre 2009.

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

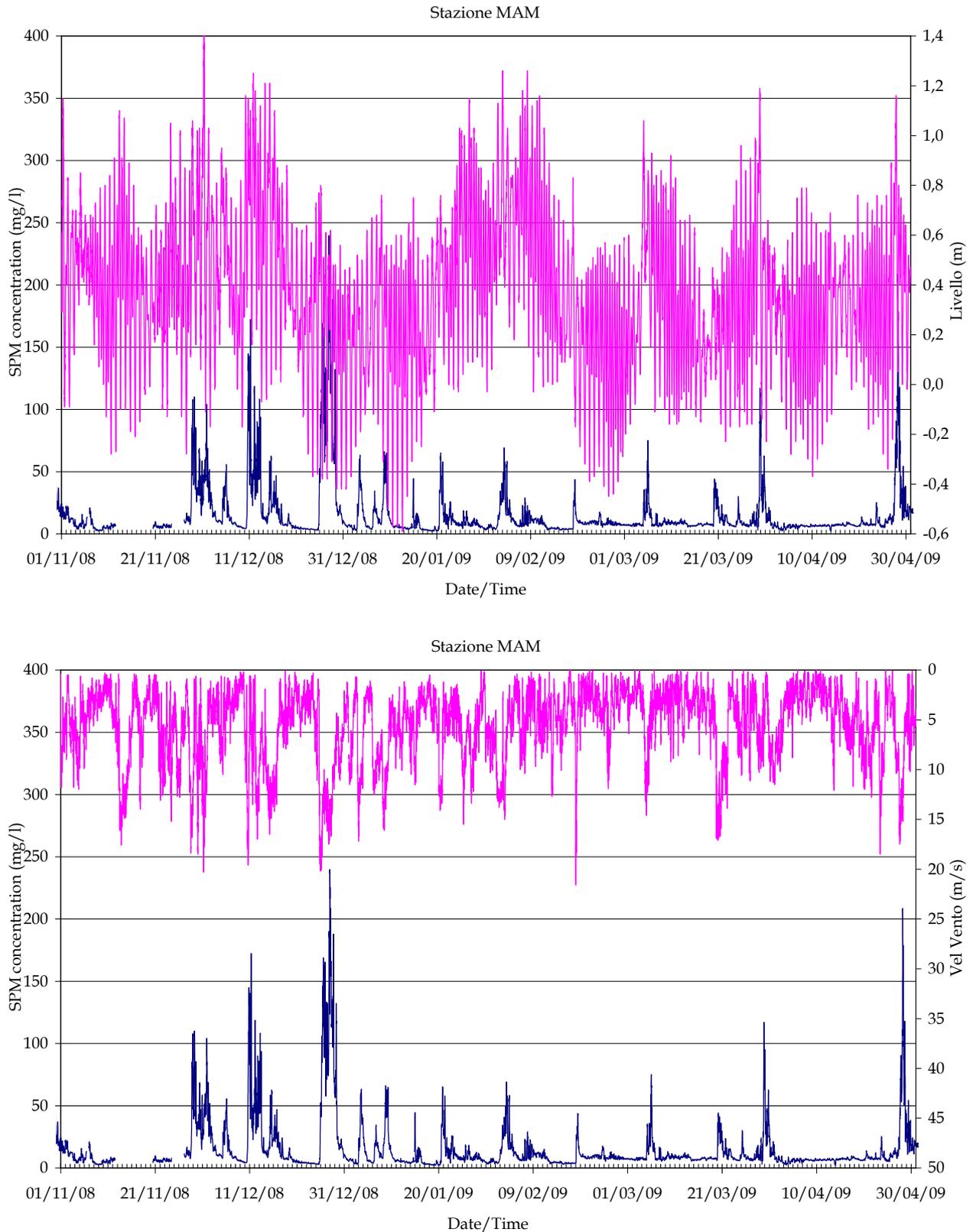
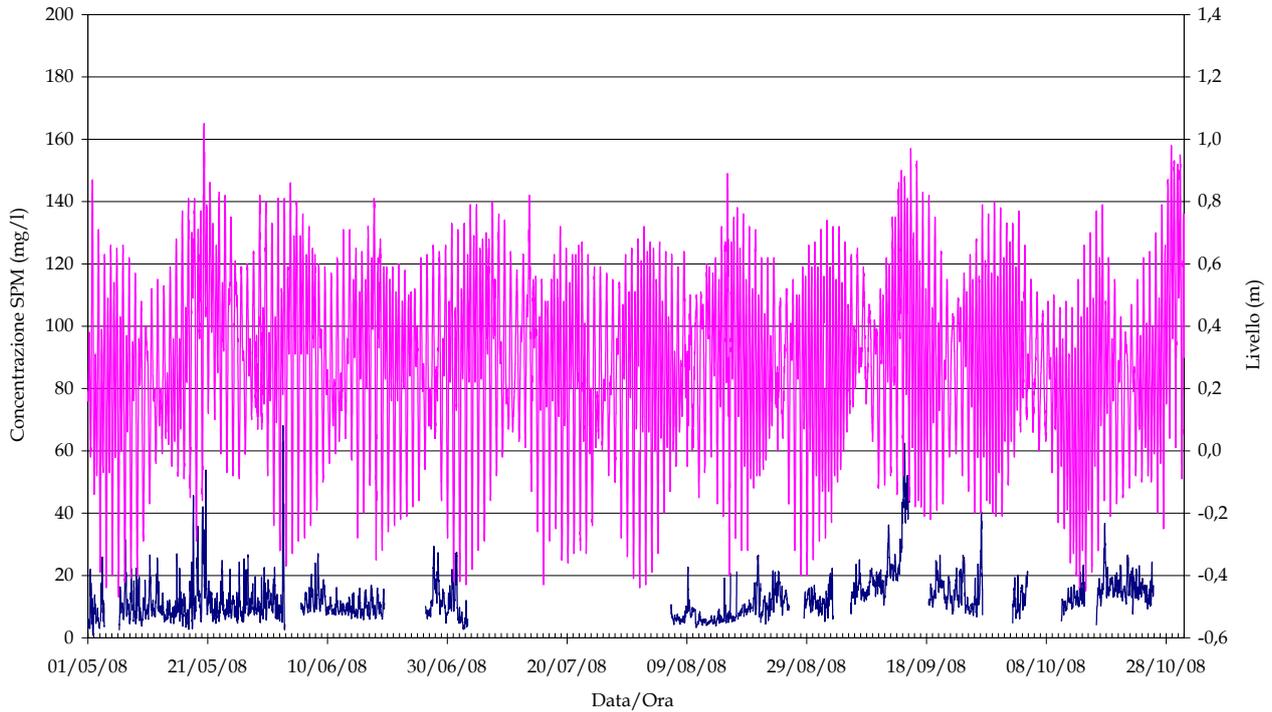


Figura 5.19 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Novembre 2008-Aprile 2009.

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

Stazione MAP



Stazione MAP

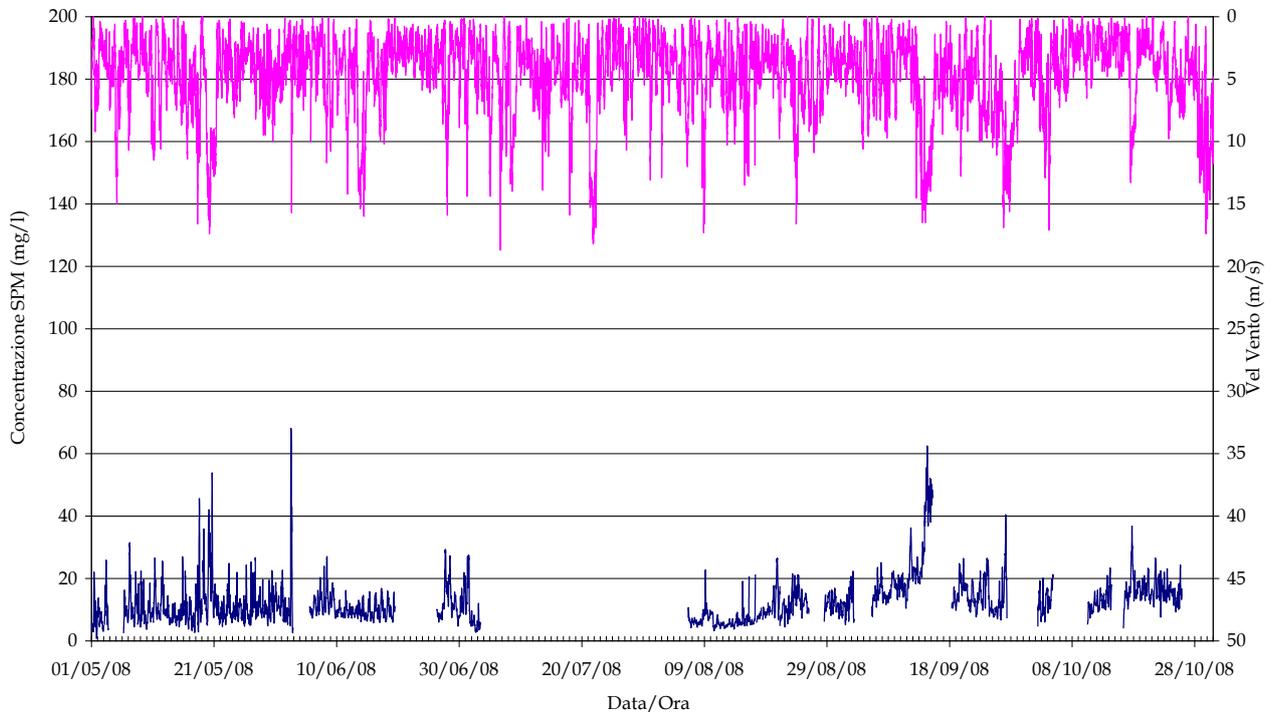


Figura 5.20 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Maggio-Ottobre 2009.

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

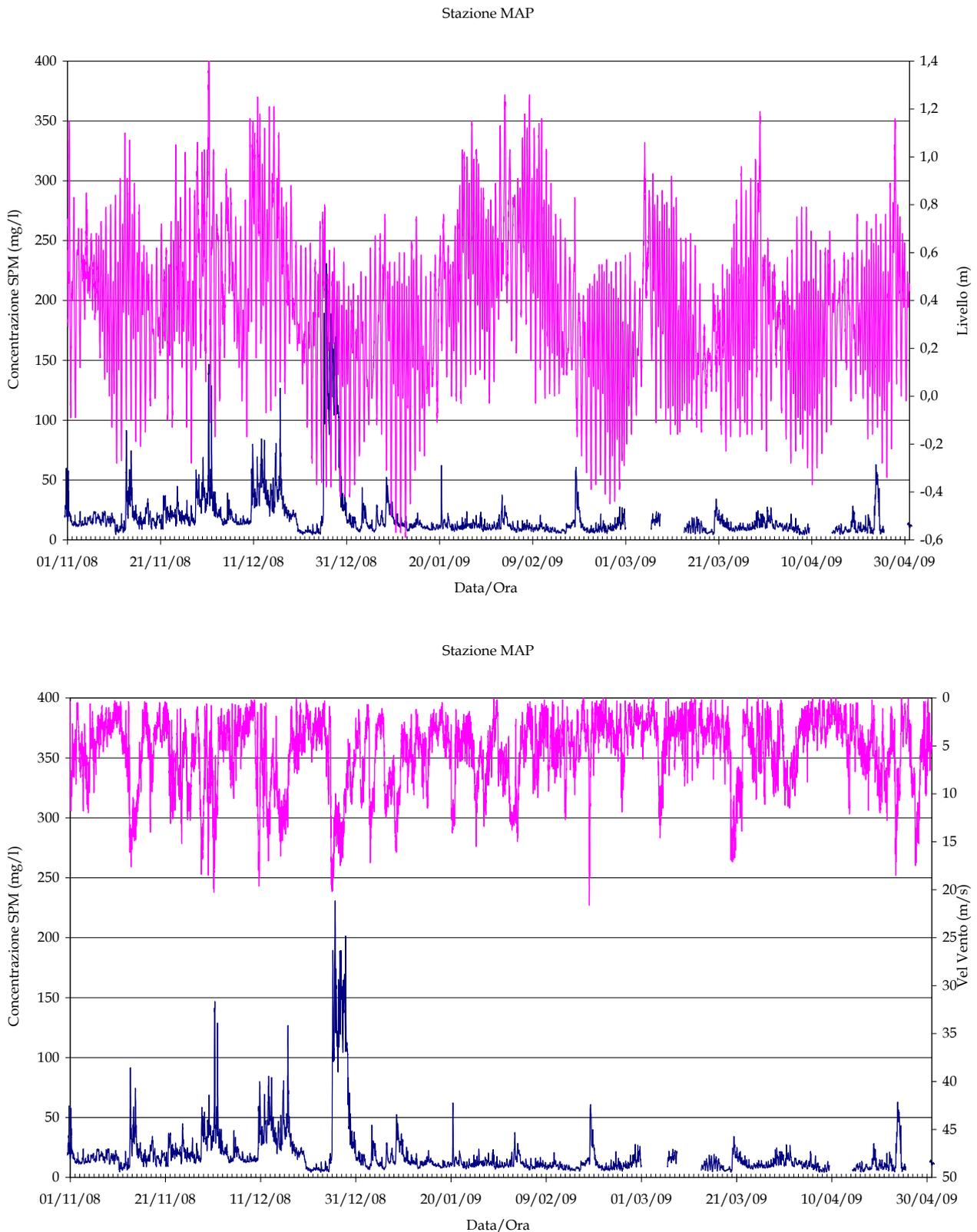


Figura 5.20 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Novembre 2009-Aprile 2009.

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

Tabella 5.4. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nelle stazioni di misura della torbidità nel periodo Maggio 2008-Aprile 2009.  $N_{tot}$  è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione. Le concentrazioni sono in mg/l.

	CHP	LIM	LMR-2	LMR	LSA	LTP	MAM	MAP
<b>Ntot</b>	33121	16048	25963	33337	27064	27436	26190	25921
<b>Media</b>	10,7	15,5	9,4	9,5	19,8	21,1	12,3	16,2
<b>Dev. St.</b>	17,0	21,3	12,4	10,6	18,1	24,5	18,0	17,4
<b>Max</b>	309,0	290,5	233,1	155,0	374,6	502,6	239,5	230,7
<b>Min</b>	0,3	0,9	1,3	1,6	3,1	1,1	1,1	0,7
25° percentile	4,2	5,8	4,4	4,4	9,6	11,3	4,8	8,8
50° percentile	6,1	9,9	6,6	6,5	14,3	15,2	7,1	12,1
75° percentile	10,1	16,7	10,0	10,2	24,6	22,0	11,4	17,3
95° percentile	32,4	44,8	24,9	26,2	47,9	51,4	40,1	38,2

Per quanto riguarda il numero totale di dati disponibili, è necessario ricordare che le alte temperature primaverili ed estive hanno portato alla crescita di *fouling* sui sensori, con conseguente mascheramento e perdita di parte delle informazioni registrate. Inoltre l'anno qui indagato è stato caratterizzato da frequenti periodi di manutenzione delle sonde che hanno diminuito la percentuale di informazioni utili rispetto al passato. Infine, la stazione LMR-2 ha presentato, nei mesi di Marzo ed Aprile 2009, problemi di registrazione dei dati anche legati alla perdita dello strumento. Su quasi tutte le stazioni, quindi, l'analisi statistica è stata effettuata su un numero totale di dati inferiore a quello degli anni scorsi.

Il periodo analizzato non è stato influenzato da eventi meteomarinari di particolare intensità, eccetto alcuni fenomeni del mese di Maggio che si possono comunque considerare eventi di moderata intensità; nel periodo in questione la velocità media oraria del vento, misurata alla piattaforma oceanica "Acqua Alta" del CNR-ISMAR di Venezia, non ha mai raggiunto i 20 m/s.

I mesi autunnali ed invernali sono stati caratterizzati da una successione di eventi meteo marini che, a partire da Settembre, hanno provocato aumenti della torbidità, di diversa intensità, in tutte e tre le bocche. La velocità media oraria del vento, misurata alla piattaforma oceanica "Acqua Alta" del CNR-ISMAR di Venezia, ha raggiunto i 20 m/s durante tre eventi eccezionali:

- il primo, nei giorni 30 Ottobre - 1 Dicembre, è ricordato anche per l'eccezionale acqua alta che, nel centro storico di Venezia, ha raggiunto i 156 cm.; questo è stato uno dei pochissimi casi di vento forte da scirocco registrato nel periodo di acquisizione della rete di misura;
- il secondo evento, bora, è stato caratterizzato da vento forte nel periodo tra il 25 ed il 28 Dicembre;
- nel terzo caso la velocità media oraria del vento ha superato i 20 m/s i giorni 17 - 18 Febbraio, caratterizzati da forti venti di bora.

Per quanto riguarda i valori medi della torbidità, la stazione LIM, anche se a differenza degli anni scorsi non presenta i valori in assoluto più elevati (a causa della mancata registrazione dei dati del mese di Dicembre) rientra tra quelle con le concentrazioni medie più sostenute (valori compresi tra 15 e 21 mg/l) assieme alle stazioni ubicate in laguna alle bocche di Lido e Malamocco (LSA, LTP e MAP). È inoltre evidente, specialmente durante il quadrimestre estivo [I Rapporto Valutazione, Studio B.6.72 B/4], la somiglianza dei valori della stazione CHP, all'interno della bocca di Chioggia, delle stazioni LMR e LMR-2 nel canale di bocca di Lido e della stazione a mare MAM i cui valori risultano 10.7 mg/l, 9.4 mg/l, 9.5 mg/l e 12.3 mg/l rispettivamente.

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

Dalla Tabella 5.4 risulta che i valori di torbidità massimi hanno una spiccata variabilità, compresa tra 155.0 e 502.6 mg/l; bisogna inoltre sottolineare che le stazioni LTP, LMR e CHP hanno più volte raggiunto il valore di "fondoscala" (il valore massimo previsto dalla sonda) nel corso degli eventi meteomarini eccezionali. Il valore massimo, in tutte le stazioni eccetto LIM e LTP, è stato registrato nel corso dell'evento del 25 ed il 28 Dicembre, durante il quale la velocità media oraria del vento, misurata alla piattaforma oceanografica "Acqua Alta" del CNR-ISMAR di Venezia, si è mantenuta superiore ai 15 m/s per 14 ore consecutive, con un picco di 20.2 m/s. Questi valori massimi sono superiori a quelli registrati negli anni passati (valori in appendice).

Per quanto riguarda i valori del 25° percentile, che rappresentano con una buona approssimazione le condizioni di assenza di perturbazioni nelle stazioni considerate, è confermato il raggruppamento evidenziato già gli anni scorsi: le stazioni LSA, LTP e MAP, collocate nelle aree all'interno delle bocche di porto, presentano valori (compresi tra 11.3 e 8.8 mg/l) nettamente più elevati delle altre stazioni. La buona corrispondenza fra i valori della stazione a mare LIM (5.8 mg/l) e quelle collocate entro i canali di bocca, ed in particolare con il valore di LMR-2 e LMR (entrambe 4.4 mg/l) conferma come la qualità dell'acqua entro le bocche di porto sia prevalentemente influenzata dalle caratteristiche dell'acqua di mare nelle condizioni normali.

Queste stesse considerazioni valgono anche per il 50° percentile che rappresenterebbe le condizioni più frequentemente incontrate e per le quali le concentrazioni nella stazione a mare LIM si discostano solo di poche unità da quelle nelle bocche di porto: le concentrazioni relative ai siti in laguna LTP, LSA e MAP, infatti, si aggirano attorno ai 9 - 11 mg/l, mentre la stazione a mare LIM ha valore 5.8 mg/l. Negli altri siti i valori registrati risultano nell'intervallo 4.2 - 4.8 mg/l.

Il 75% percentile si può considerare, invece, come indicatore dei valori di torbidità relativamente elevati: carico organico particolarmente elevato, come nei periodi tardo-primaverile-estivo, o eventi meteo marini di moderata intensità. È interessante notare come i valori nettamente Maggiori si riscontrino nella stazione ubicata nel canale di Sant'Andrea LSA (24.6 mg/l), in LTP, ubicata ai margini del canale di Treporti (22.0 mg/l), e, con valori anche di 5 mg/l inferiori, in nel sito lagunare della bocca di Malamocco MAP (17.3 mg/l) e nella stazione a mare LIM (16.7 mg/l).

Infine, la distribuzione del 95% percentile è rappresentativa dei valori estremi legati al verificarsi di eventi meteomarini 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. È confermata la suddivisione delle stazioni in due gruppi omogenei: le stazioni lagunari LTP e LSA e le stazioni a mare LIM e MAM, che presentano valori sempre superiori a 40 mg/l (rispettivamente: 51.4 mg/l, 47.9 mg/l, 44.8 mg/l e 40.1 mg/l); si ricorda che per la stazione LIM l'analisi statistica è alterata in quanto non sono stati registrati dati di torbidità in Dicembre. Le stazioni posizionate entro la bocca di porto di Lido, LMR e LMR-2 presentano i valori più bassi e praticamente coincidenti (circa 25 mg/l). Le altre due stazioni presentano concentrazioni intermedie (32-38 mg/l).

Per quanto riguarda i due strumenti LMR, posto sul fondo, e LMR-2 posto in superficie nella stessa stazione della bocca di porto di Lido, si evidenzia come i valori di concentrazione relativi allo strumento LMR-2 siano praticamente identici a quelli di LMR (valore medio 9.4 e 9.5 mg/l rispettivamente). Tale situazione non è rimasta identica nel corso dell'anno: durante il periodo primaverile-estivo prevale il carico organico in prossimità della superficie (I e III Rapporto di Valutazione), mentre nel periodo autunno-invernale LMR risente Maggiormente degli incrementi della concentrazione al fondo in occasione degli eventi meteo marini intensi (II Rapporto di Valutazione). Questo comportamento è stato riscontrato anche negli anni precedenti.

I parametri statistici significativi dei valori di concentrazione di particolato solido in sospensione misurati nell'ambito dei diversi studi effettuati da CNR - ISMAR, OGS, CORILA e APAT tra il

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

2001 ed il 2004 (vedi Tabella 5.5, Rapporto Variabilità, Studio B.6.72 B/1) all'interno delle bocche di porto sono confrontabili con i valori ottenuti dalle registrazioni delle stazioni CHP, LMR e LMR-2, ubicate nel canale di bocca o in aree molto prossime allo stesso, e con i dati della stazione a mare MAM. Si ricorda che i valori delle altre sonde non vengono qui presi in considerazione in quanto le stazioni non si trovano in bocca di porto, ma in una posizione più arretrata rispetto al correntometro ADCP al fondo del canale di bocca.

Da questa analisi si è preferito escludere la stazione LIM per il problema della mancata registrazione dei valori di Dicembre, come già più volte menzionato.

Tabella 5.5. Parametri statistici significativi dell'insieme dei dati di concentrazione del particolato solido in sospensione (mg/l) misurati nell'ambito di diversi studi effettuati a partire dal 2002 alle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.

<b>Determinazioni sperimentali 2001-2004</b>	
<b>Ntot</b>	959
<b>Media</b>	12,0
<b>Dev. Std.</b>	13,2
<b>Max.</b>	139,6
<b>Min.</b>	1,2
<b>25° percentile</b>	5,2
<b>50° percentile</b>	8,0
<b>75° percentile</b>	12,6
<b>95° percentile</b>	34,8

Va comunque ricordato che i rilievi eseguiti nelle stazioni fisse nel corso di un anno mettono in evidenza un'elevata variabilità spaziale, peraltro 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) esercitano un'influenza diversa a seconda della posizione del torbidimetro.

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**

Di seguito viene proposta, per ogni stazione, l'analisi dei picchi di torbidità in relazione alla velocità del vento per il periodo Maggio 2008 - Aprile 2009.

Sono stati presi in considerazione i livelli di torbidità superiori al valore soglia di 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).

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

Tabella 5.6. Analisi picchi di torbidità durante il periodo Maggio 2008 - Aprile 2009. Si considera che i torbidimetri funzionano acquisendo 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	LIM	LMR-2	LMR	LSA	LTP	MAM	MAP
Numero dati in condizioni eccezionali con C>30 mg/l	1870	1436	997	1326	6185	3668	2113	1986
Numero di dati CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento	1837	1284	988	1326	3831	2312	1231	1671
Numero di dati la cui causa non è legata alla risospensione da vento	33	152	9	0	2354	1356	882	315

Alle tre bocche di porto la Maggior parte dei superamenti del valore 30 mg/l sono dovuti ad eventi di risospensione indotti da fenomeni naturali causati dal vento locale, soprattutto bora e scirocco. Mentre nella Maggior parte delle stazioni ciò accade nella quasi totalità dei casi (circa 80-100% dei casi), le stazioni più interne alla laguna LSA e LTP, nonché la stazione a mare MAM, presentano solo il 60% di dati certamente dovuti a risospensione da vento.

I superamenti del limite di 30 mg/l sono legati anche ad altre cause, valide solamente per alcune stazioni e per particolari tipologie e durate di eventi:

- l'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 lontano), è evidente soprattutto presso le stazioni a mare;
- 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 (navi da crociera nella bocca di Lido, porta-container nella bocca di Malamocco) che sono caratterizzate da un pescaggio elevato (superiore ai 9 m.);
- l'attività di dragaggio dei canali alle bocche di porto porta alla risospensione di materiale nella colonna d'acqua che può occasionalmente essere rilevato dalla strumentazione impiegata. Per una trattazione più esaustiva dell'argomento, si veda il capitolo successivo.

Gli eventi meteomarinari che hanno influenzato Maggiormente le concentrazioni della torbidità, in modo peraltro non uniforme in tutta la rete, sono riportati di seguito. I valori tra parentesi rappresentano il valore massimo di torbidità rilevata nel periodo:

- 18 - 21 Maggio: condizioni meteorologiche con venti di bora superiori ai 15 m/s per 8 ore consecutive. Effetti sulle stazioni CHP (35.1 mg/l), LMR (34.5 mg/l), MAP (31.5 mg/l);
- 21 - 22 Luglio: condizioni meteorologiche con venti di bora attorno ai 15 m/s per 24 ore consecutive. Effetti sulla stazione LIM (43.7 mg/l);
- 2, 11 e 13 Giugno, 15 Agosto: eventi estremamente limitati nel tempo e con modeste velocità del vento (massime attorno a 15 m/s).
- 13 - 15 Settembre: vento prevalentemente di bora con velocità superiori ai 15 m/s per 14 ore consecutive. Effetti sulle stazioni CHP (80.1 mg/l), LIM (91.5 mg/l), LSA (72.8 mg/l), LTP (59.4 mg/l), MAM (58.2 mg/l), MAP (62.4 mg/l);
- 26 - 27 Settembre: evento di bora di moderata entità (picco di 16.9 m/s), che ha avuto effetti sulle stazioni CHP (50.9 mg/l), LMR (32.0 mg/l), LSA (37.5 mg/l), MAP (40.4 mg/l);

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

- 17 - 18 Ottobre: breve evento di bora con effetti solo sulla stazione LMR-2 (35.9 mg/l), LSA (36.6 mg/l), LTP (41.7 mg/l), MAP (36.7 mg/l);
- 28 - 31 Ottobre: serie di eventi di vento variabile, prevalentemente dai quadranti meridionali, di limitata durata ed intensità (velocità massima pari a 17.4 m/s) che hanno avuto effetti sulle stazioni LMR (88.0 mg/l), LMR-2 (121.0 mg/l), LSA (73.7 mg/l), LTP (172.3 mg/l), MAM (78.5 mg/l), MAP (59.7 mg/l);
- 13 - 15 Novembre: condizioni meteorologiche con venti di bora superiori ai 15 m/s per 11 ore consecutive. Effetti sulle stazioni CHP (110.3 mg/l), LMR (43.6 mg/l), LMR-2 (61.6 mg/l), LSA (78.8 mg/l), LTP (162.8 mg/l), MAP (91.3 mg/l);
- 24 - 26 Novembre: serie di eventi di modesta entità che hanno portato a evidente risospensione solo nelle stazioni LTP (69.9 mg/l) e MAP (44.7 mg/l), ove per altro è già presente molto materiale in sospensione;
- 28 Novembre - 1 Dicembre: serie di eventi di scirocco di bassa intensità, di cui il picco di velocità è stato pari a 20.3 m/s. Effetti sulle stazioni CHP (132.0 mg/l), LMR (89.8 mg/l), LSA (94.7 mg/l), LTP (223.4 mg/l), MAM (110.0 mg/l), MAP (146.7 mg/l);
- 10 - 16 Dicembre: lunga serie di brevi eventi di bora di bassa intensità, con velocità massima 19.5 m/s. Effetti su tutte le bocche di porto: CHP (192.2 mg/l), LMR (92.5 mg/l), LSA (147.4 mg/l), LTP (407.5 mg/l), MAM (172.2 mg/l), MAP (141.3 mg/l);
- 25 - 28 Dicembre: condizioni meteorologiche con venti di bora superiori ai 15 m/s per 3 giorni consecutivi. Sono stati registrati i valori di torbidità più alti di tutto il quadrimestre nelle stazioni CHP (299.6 mg/l), LTP (424.3 mg/l), MAM (243.3 mg/l), MAP (227.4 mg/l).
- 2 - 3 Gennaio: condizioni meteorologiche con vento di bora di moderata entità (picco di 17.2 m/s). Effetti sulle stazioni CHP (105.6 mg/l), LIM (235.5 mg/l), LMR-2 (64.5 mg/l), LMR (53.9 mg/l), LSA (39.7 mg/l), LTP (76.3 mg/l), MAM (63.3 mg/l), MAP (43.5 mg/l);
- 6 - 9 Gennaio: condizioni meteorologiche con vento di bora con velocità superiori ai 15 m/s per 5 ore consecutive (8 Gennaio); ha avuto effetti sulle stazioni CHP (126.9 mg/l), LIM (290.5 mg/l), LMR-2 (64.6 mg/l), LMR (76.8 mg/l), LSA (71.5 mg/l), LTP (180.9 mg/l), MAM (66.0 mg/l), MAP (52.2 mg/l);
- 14 - 15 Gennaio: modesto evento di bora con effetti sulla stazione CHP (35.7 mg/l), LIM (41.6 mg/l), LSA (47.2 mg/l), LTP (51.2 mg/l), MAM (44.4 mg/l);
- 20 Gennaio: evento di scirocco di moderata velocità, con effetti sulle stazioni LIM (64.9 mg/l), LMR-2 (33.3 mg/l), LSA (64.4 mg/l), MAM (65.1 mg/l), MAP (62.0 mg/l);
- 1 - 3 Febbraio: serie di eventi di bora di limitata intensità (velocità massima pari a 15.0 m/s) che hanno avuto effetti sulle stazioni CHP (67.9 mg/l), LIM (111.4 mg/l), LMR-2 (43.8 mg/l), LMR (43.4 mg/l), LSA (118.1 mg/l), LTP (99.9 mg/l), MAM (69.1 mg/l), MAP (37.4 mg/l);
- 18 Febbraio: breve evento di sole 6 ore di vento teso di bora (velocità massima 21.6 m/s), con prolungati effetti sulle stazioni CHP (135.8 mg/l), LIM (86.1 mg/l), LSA (54.6 mg/l), LTP (38.8 mg/l), MAM (43.5 mg/l), MAP (60.7 mg/l);
- 4 - 5 Marzo: condizioni meteorologiche con alternanza di vento di bora e scirocco di moderata entità. Effetti sulle stazioni LIM (34.7 mg/l), LMR (35.7 mg/l), LSA (61.5 mg/l), LTP (46.6 mg/l), MAM (75.9 mg/l);
- 19 - 20 Marzo: prolungato evento di scirocco, con vento generalmente superiore ai 15 m/s per 24 ore (velocità massima 17.1 m/s). Effetti sulle stazioni CHP (33.4 mg/l), LIM (42.9 mg/l), LMR-2 (65.9 mg/l), LSA (77.1 mg/l), LTP (50.4 mg/l), MAM (44.1 mg/l), MAP (34.1 mg/l);

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

- 23 Aprile: serie di brevi eventi di vento teso di bora (velocità massima 18.5 m/s), con effetti prolungati di risospensione nelle stazioni LSA (83.8 mg/l), LTP (35.0 mg/l), MAP (62.8 mg/l);
- 27 - 28 Aprile: condizioni meteorologiche con vento prevalentemente di scirocco con una velocità superiore ai 15 m/s, anche se non continuativamente, per circa 18 ore (picco di 17.5 m/s). Sono stati registrati alti valori di torbidità nelle stazioni CHP (56.3 mg/l), LIM (105.2 mg/l), LMR-2 (107.9 mg/l), LMR (96.4 mg/l), LSA (86.5 mg/l), LTP (124.9 mg/l), MAM (208.3 mg/l).

### 5.5 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche

L'obiettivo del monitoraggio è stato 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. Il pennacchio (*plume*) di materiale risospeso dai mezzi di scavo operanti nelle aree di cantiere nel periodo di misura non presenta solitamente un'estensione tale da interessare significativamente le stazioni fisse per la registrazione della torbidità. Il *plume* generato dalle draghe è stato monitorato dalla strumentazione montata su imbarcazione e segnalato nei rapporti di campagna.

Nel periodo che va da Maggio 2008 a Marzo 2009 nella bocca di Lido erano assenti attività in grado di influenzare significativamente la torbidità della colonna d'acqua. In particolare, in estate nel canale San Nicolò alcune draghe a grappo hanno effettuato un modesto dragaggio all'interno del recesso di barriera; nel canale di Treporti fino a fine anno alcune draghe a grappo hanno effettuato un modesto dragaggio nelle aree adiacenti alle spalle est e ovest, e nel recesso di barriera. In tutto il periodo del monitoraggio non sono state effettuate attività di dragaggio mediante draga idrorefluente a sfioro.

Presso la bocca di Malamocco le attività in corso erano quelle nel bacino di evoluzione prospiciente all'area di prefabbricazione dei cassoni (Syncrolift), all'interno dei palancolati dei recessi di barriera e nelle aree adiacenti, lato laguna.

Presso la bocca di Chioggia, nel periodo indagato, non erano presenti importanti operazioni di scavo; in estate solo una draga con benna a grappo era operante presso la spalla sud, che in autunno si è spostata sulla spalla nord. Nello stesso periodo era in atto il dragaggio della tura, che però era confinato.

Si tratta quindi in generale, per tutte e tre le bocche di porto, di lavori di modesta entità in aree marginali rispetto alla direzione del flusso principale del canale.

Per il periodo corrispondente all'intervallo Maggio 2008 a Marzo 2009 sono stati resi disponibili dalla Direzione Lavori i volumi scavati per le seguenti opere:

- bocca di Lido: OP/388-2: dal 01/04/2008 al 23/05/2008,  
OP/389-1: dal 01/04/2008 al 03/07/2008,  
OP/424-1A: dal 19/04/2008 al 30/09/2008.
- bocca di Malamocco: OP/413-1: dal 02/04/2008 al 30/09/2008,  
OP/415-4A: dal 08/07/2008 al 26/09/2008,  
OP/413-1: dal 09/01/2009 al 31/03/2009,  
OP/415-4A: dal 20/02/2009 al 13/03/2009.
- bocca di Chioggia: OP/443-1: dal 22/04/2008 al 28/07/2008,  
OP/357-2B: dal 28/07/2008 al 29/09/2008,

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

OP/372-2: dal 8/09/2008 al 29/09/2008,

OP/379-2: dal 29/09/2008 al 30/09/2008,

OP/352-2B: dal 09/01/2009 al 19/02/2009.

## 5.6 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).

## 5.7 Appendice: parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite negli anni di monitoraggio

Tabella 5.7. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nelle stazioni di misura della torbidità nel periodo Aprile 2005-Aprile 2006 (Rapporto Finale Studio B.6.72 B/1). Le concentrazioni sono in mg/l. La serie su cui è stato effettuato il calcolo per la stazione CHM non comprende l'evento meteomarinò del mese di Novembre 2005.

	CHM	CHP	LIM	LMR	LSN	LTP	MAM	MAP
<b>Ntot</b>	15241	22510	27679	35429	18598	24722	29119	24968
<b>Media</b>	17.4	10.9	15.0	8.5	17.0	17.9	14.6	9.0
<b>Dev. St.</b>	35.2	11.6	22.2	15.5	11.4	14.9	24.4	6.7
<b>Max</b>	422.3	194.2	113.1	159.3	134.8	186.1	140.4	91.1
<b>Min</b>	0.4	0.5	0.7	2.1	3.3	2.3	0.1	2.0
25° percentile	3.1	5.2	3.4	3.7	10.3	10.2	3.3	5.5
50° percentile	6.8	7.1	7.0	5.1	14.4	14.2	5.8	7.0
75° percentile	15.2	11.1	14.4	7.5	20.2	20.1	12.6	9.8
95° percentile	70.9	33.2	66.3	22.5	35.2	41.5	61.1	21.3

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

Tabella 5.8. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nelle stazioni di misura della torbidità nel periodo Maggio 2006-Aprile 2007 (Rapporto Finale Studio B.6.72 B/2). Le concentrazioni sono in mg/l.

	CHP	LIM	LMR	LMR-2	LSA	LTP	MAP
<b>Ntot</b>	28539	27484	30153	27887	31057	28813	34036
<b>Media</b>	6.54	21.74	6.79	17.42	13.48	8.91	7.14
<b>Dev. St.</b>	9.90	53.01	6.43	11.51	8.59	7.31	5.56
<b>Max</b>	221.71	451.2	142.20	221.32	193.06	137.29	107.32
<b>Min</b>	0.96	0.24	1.56	4.87	1.63	1.62	1.13
25° percentile	3.39	3.69	3.93	10.33	8.60	4.84	4.27
50° percentile	4.64	5.66	5.22	14.54	11.74	6.91	5.76
75° percentile	6.44	10.23	7.32	21.22	15.86	10.35	8.10
95° percentile	14.52	123.30	15.00	35.23	26.99	21.13	15.67

Tabella 5.9. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nelle stazioni di misura della torbidità nel periodo Maggio 2007-Aprile 2008 (Rapporto Finale Studio B.6.72 B/3). Le concentrazioni sono in mg/l.

	CHP	LIM	LMR	LMR-2	LSA	LTP	MAM	MAP
<b>Ntot</b>	32524	32034	32505	27788	33034	31748	24400	33311
<b>Media</b>	6.9	14.0	7.5	8.1	9.6	13.8	6.9	11.9
<b>Dev. St.</b>	8.9	26.4	9.7	10.1	6.6	13.2	10.4	12.1
<b>Max</b>	169.8	395.8	153.1	157.5	101.7	301.7	133.5	158.9
<b>Min</b>	0.3	0.6	1.0	0.6	2.1	2.4	0.6	0.3
25° percentile	3.5	4.2	3.4	3.6	6.0	8.0	2.3	6.2
50° percentile	4.7	6.6	4.7	5.6	8.0	11.1	3.6	9.3
75° percentile	6.8	12.6	7.3	8.9	11.0	15.5	7.1	13.2
95° percentile	16.5	47.7	25.4	20.9	19.3	28.1	22.8	28.7

## 6 ANALISI DELLE DIFFERENZE DI CONCENTRAZIONE MEDIA IN FASE DI RIFLUSSO E DI FLUSSO E DEI CORRISPONDENTI GRADIENTI SPAZIALI DI CONCENTRAZIONE INTERMAREALE

I rilievi in continuo delle stazioni torbidimetriche, effettuati ormai nel corso di oltre tre anni, permettono una prima valutazione, almeno come segno, del flusso netto di sedimenti attraverso le tre bocche: Lido (stazioni LMR e LMR-2); Malamocco (stazione MAP); Chioggia (stazione CHP); nonché attraverso i principali canali di accesso alla laguna settentrionale (stazione LTP) e alla laguna centrale (stazioni LSN e LSA).

Tale valutazione può essere fatta calcolando i valori medi della concentrazione, rispettivamente in fase di riflusso ( $C_e$ ) e di flusso ( $C_f$ ), per periodi di tempo abbastanza lunghi caratterizzati da specifiche condizioni meteorologiche.

Nella seguente Tabella 6.1 sono riportati i valori medi della differenza ( $C_e - C_f$ ) e della semisomma (concentrazione intermareale)  $\bar{C} = \left(\frac{C_e + C_f}{2}\right)$ , calcolati nel corso dei tre anni considerati per le seguenti condizioni meteorologiche:

Assenza di vento ( $v < 5$  m/s)

Vento di bora ( $45^\circ < \alpha < 90^\circ$  e  $v > 10$  m/s)

Altri venti

Tutte le condizioni meteorologiche

Considerando la sostanziale simmetria fra la portata di marea in condizioni di riflusso e di flusso per le stazioni poste sui canali a marea, il segno delle differenze ( $C_e - C_f$ ) dà un'idea del flusso netto di sedimenti: in uscita (positivo) o ingresso (negativo). Per le stazioni a mare (LIM, MAM e CHM), caratterizzate da una corrente litoranea unidirezionale alla quale si sovrappongono i più deboli effetti dell'oscillazione di marea che pure si propaga da nord a sud, il segno negativo o positivo di  $C_e - C_f$  dovrebbe invece rispettivamente indicare la presenza di un gradiente negativo o positivo di concentrazione ancora diretto verso sud.

Come appare nella Tabella 6.1 i valori della differenze ( $C_e - C_f$ ) presentano, per ciascuna delle diverse condizioni meteorologiche considerate, una consistente concordanza di segno in tutti e tre gli anni di misura.

Le pochissime eccezioni riguardano sempre valori estremamente bassi della differenza stessa e comunque inferiori all'errore di misura.

Per le sezioni poste nei canali a marea, si possono pertanto confermare le osservazioni già fatte nell'ultimo rapporto annuale, e cioè:

- In assenza di vento (durata 56 - 70%): si manifestano valori del flusso netto estremamente bassi ed oscillanti come segno nelle due bocche di Malamocco e Chioggia. Nelle tre stazioni collocate nella bocca di Lido al contrario, i valori del flusso netto appaiono tutti sensibilmente più elevati e consistentemente rivolti verso l'esterno.
- Con vento di bora (durata 4 - 10%): il flusso netto si inverte verso l'interno per tutte le stazioni nella bocca di Lido, mentre si rinforza (con verso decisamente verso l'esterno) nelle due stazioni di Malamocco e Chioggia.

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

- Con altri venti (durata 25 - 37%): i flussi netti presentano una configurazione intermedia fra quelli dei due casi limite precedenti.
- Considerando l'intero anno, i flussi netti si presentano tutti consistentemente in uscita, con la sola eccezione della stazione di Treporti (LTP) nel 2006 - 2007, ma con valori sempre piuttosto limitati.

Per quanto riguarda le stazioni torbidimetriche in mare, le differenze (Ce-Cf) indicano per tutti gli anni la presenza di un gradiente di concentrazione negativo diretto verso sud davanti alla bocca del Lido; di un gradiente negativo ancora diretto verso sud ma di minore entità, davanti alla bocca di Malamocco e di un ancora più debole gradiente negativo, questa volta diretto verso nord, davanti alla bocca di Chioggia. Il segno di questi gradienti (peraltro puntuali) è probabilmente da collegarsi alla presenza delle foci fluviali a nord (Piave) e a sud (Brenta e Adige) della laguna.

Si noti che, a differenza del flusso netto di sedimenti alle bocche e nei canali lagunari, prevalentemente dispersivo (intermareale), il flusso netto lungo costa dei sedimenti è prevalentemente convettivo (controllato dalle correnti litoranee); la parte di flusso netto intermareale, che può essere comunque espresso in termini di differenza (Ce - Cf) è infatti molto piccola rispetto a quella legata alle correnti litoranee.

I risultati sopra illustrati sono fisicamente ragionevoli e confermano quanto anticipato nell'ultimo rapporto annuale. Da sottolineare il ruolo esercitato dal vento (e specialmente quello di bora) nella direzione dei flussi netti e nella concentrazione intermareale. In particolare si osserva che l'azione di risollevarimento sui sedimenti del vento di bora (o meglio delle onde associate alla bora) appare relativamente più importante in mare lungo il litorale del Cavallino (stazione LIM) di quanto non appaia all'interno della laguna Nord in prossimità dello stesso litorale (stazioni LTP, LSN, LSA, LMR e LMR-2). Per la loro diversa esposizione, al contrario, nella laguna centrale, e soprattutto meridionale, l'azione di risollevarimento da parte del vento appare dominante all'interno della laguna di quanto non accada in mare. Conseguentemente i flussi netti di sedimenti con vento di bora presentano direzione entrante nella laguna settentrionale, mentre nella laguna centrale e meridionale hanno direzione opposta.

Si fa notare d'altra parte che, sebbene importanti in termini assoluti, i flussi netti che si stabiliscono in condizioni di bora hanno durate limitate (meno del 10%), per cui diventano relativamente importanti i flussi netti con altri venti (durata il 30%) e quelli in assenza di vento (durata 60%). Nell'insieme si assiste ad una certa compensazione fra flussi netti in presenza ed assenza di vento, per cui viene confermata, a scala annua, la tendenza alla complessiva perdita verso mare in tutte e tre le bocche. Per quanto riguarda i due canali confluenti nella bocca di Lido, parrebbe invece confermata la differenza di comportamento fra la laguna centrale (stazioni LSN e LSA), che indicherebbe tutti gli anni un flusso netto annuale verso l'esterno e la laguna settentrionale (stazione LTP) che parrebbe invece interessata da un flusso netto sia entrante (nel 2005-2006 e nel 2007-2008), sia uscente (nel 2006-2007).

A conclusione delle precedenti osservazioni va comunque rimarcato che per una valutazione quantitativa dei flussi netti non è sufficiente riferirsi al volume medio della concentrazione in fase di riflusso e di flusso ma bisogna tener conto della portata liquida scambiata.

Per ciascuna fase, inoltre, bisogna tener presente la correlazione esistente fra concentrazione e portata (soprattutto in assenza di vento) e la non linearità di questa correlazione.

Un'analisi in questo senso è in corso, utilizzando i dati misurati negli stessi anni dagli ADCP fissi e montati su imbarcazione.

I dati di flusso netto uniti ai dati che forniscono i gradienti spaziali della concentrazione intermareale, sono fondamentali anche per la verifica di un modello morfodinamico bidimensionale intermareale (Di Silvio *et al.*, 2008).

## CORILA

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

Tabella 6.1: Concentrazione intermareale e differenza dei valori medi in flusso e riflusso relativi ai tre anni di misura

Aprile 2005-Maggio 2006

	NO VENTO			BORA (45<direz.<90) Vv>10 m/s			ALTRI VENTI			ANNO INTERO		
	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata
LMR	1.480	6.180	63.53%	-10.570	26.815	7.83%	0.794	8.710	28.64%	0.340	8.520	100%
LMR-2	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
LIM	-1.080	8.330	60.76%	-1.150	58.415	9.53%	-5.468	14.423	29.70%	-2.390	14.915	100%
LTP	0.980	14.850	63.38%	-13.350	35.515	10.07%	-3.942	19.345	26.55%	-1.770	18.125	100%
LSN	1.820	14.800	65.49%	-1.730	33.095	6.49%	0.001	18.878	28.02%	1.080	17.130	100%
LSA	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
MAM	-0.080	8.110	61.05%	3.580	59.120	8.72%	-2.327	14.897	30.23%	-0.440	14.610	100%
MAP	0.250	7.355	64.64%	5.080	19.990	8.59%	0.867	9.615	26.77%	0.830	9.045	100%
CHP	0.050	7.805	64.92%	4.920	33.550	9.19%	0.524	10.817	25.89%	0.620	10.950	100%
CHM	1.240	17.800	64.47%	-0.590	149.605	7.98%	-2.585	34.190	27.56%	0.040	32.830	100%

Giugno 2006-Maggio 2007

	NO VENTO			BORA (45<direz.<90) Vv>10 m/s			ALTRI VENTI			ANNO INTERO		
	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata
LMR	1.250	5.895	69.78%	-2.520	18.620	4.34%	0.104	7.704	25.88%	0.790	6.915	100%
LMR-2	2.470	7.815	70.56%	-7.930	19.245	4.18%	0.392	10.594	25.25%	1.510	8.995	100%
LIM	-0.030	9.265	68.91%	-47.740	109.380	5.09%	-7.729	38.377	26.00%	-4.460	21.930	100%
LTP	1.520	12.510	70.09%	-6.470	21.785	4.27%	-1.049	14.943	25.63%	0.520	13.530	100%
LSN	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
LSA	1.140	16.060	70.06%	-5.180	35.170	4.70%	0.337	18.600	25.24%	0.640	17.600	100%
MAM	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
MAP	0.210	6.125	69.61%	4.100	17.610	4.45%	0.275	8.338	25.94%	0.400	7.205	100%
CHP	-0.470	4.725	70.57%	2.610	27.585	4.33%	1.190	8.136	25.10%	0.080	6.570	100%
CHM	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\

Giugno 2007-Aprile 2008

	NO VENTO			BORA (45<direz.<90) Vv>10 m/s			ALTRI VENTI			ANNO INTERO		
	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata	Ce-Cf	Cmedia	Durata
LMR	0.780	6.150	57.75%	-5.350	17.905	6.43%	-0.241	8.367	35.82%	0.020	7.700	100%
LMR_2	1.940	6.380	55.91%	-6.560	18.220	7.51%	0.049	8.719	36.57%	0.610	8.125	100%
LIM	-0.840	9.060	56.77%	-1.650	33.005	6.58%	-4.105	15.990	36.65%	-2.090	13.175	100%
LTP	1.200	12.610	58.44%	-7.470	19.755	6.01%	-2.173	15.453	35.54%	-0.520	14.050	100%
LSN	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
LSA	0.830	8.805	56.92%	-2.570	13.665	6.07%	-0.450	10.196	37.00%	0.150	9.615	100%
MAM	-0.180	4.650	58.29%	-2.460	17.020	8.23%	-0.815	7.106	33.48%	-0.580	6.490	100%
MAP	-0.200	8.930	59.48%	5.290	24.245	5.62%	0.864	12.107	34.90%	0.480	10.900	100%
CHP	-0.160	4.910	56.78%	6.810	17.995	7.18%	1.088	7.063	36.04%	0.790	6.625	100%
CHM	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\

## 7 CONCLUSIONI

Al di là delle consuete rilevazioni dedicate al monitoraggio delle attività di dragaggio (che hanno peraltro segnalato valori di torbidità contenuti entro i limiti prefissati), nel corso del biennio 2008-2009 sono state svolte numerose altre campagne dedicate alla migliore comprensione del comportamento dei sedimenti nella zona delle bocche.

In particolare, oltre ai tradizionali dati sulle concentrazioni e sulle velocità di trasporto fornite dalle apparecchiature montate su natanti mobili e dalle stazioni torbidimetriche fisse, sono state raccolte numerose informazioni sulla composizione granulometrica di questo materiale e sul trasporto della sua frazione più grossolona (sabbia).

Dall'insieme dei dati raccolti, ancorché caratterizzati da notevole variabilità spaziale e temporale (soprattutto in relazione alle condizioni meteorologiche e mareali, ma anche alle modalità di rilevamento), appaiono confermati alcuni tipici comportamenti. Per quanto riguarda la granulometria del materiale sospeso, si riscontra una chiara tendenza del materiale in fase calante ad essere più grossolano del materiale in fase crescente, pur con qualche eccezione statisticamente accettabile probabilmente legata a singolari condizioni di moto ondoso o di marea. Analogamente, appare confermata la tendenza durante la fase calante ad una Maggiore concentrazione del materiale, già riscontrata negli anni scorsi. Entrambe queste tendenze sembrano essere coerenti con una situazione erosiva dell'intera laguna, peraltro differenziata nelle sue diverse zone.

Prima di poter generalizzare queste considerazioni, comunque, bisogna tener presente che le campagne di misura su imbarcazione sono quasi esclusivamente condotte con vento e moto ondoso assai limitati. È noto infatti che le caratteristiche del materiale trasportato soprattutto in sospensione dipendono anche dalla sua origine, e quindi dalle diverse condizioni di risospensione che il moto ondoso può creare sia all'esterno, sia all'interno della laguna.

Qualche indicazione sull'influenza delle condizioni meteorologiche sulla concentrazione del materiale trasportato, può trovarsi dalle misure in continuo effettuate sulle poche stazioni torbidimetriche oggi funzionanti, come l'analisi svolta nel Capitolo 6. L'analisi è stata effettuata sia distinguendo le diverse condizioni meteorologiche (assenza di vento, bora, altri venti) sia facendo un'elaborazione complessiva dei dati. I risultati ottenuti sono fisicamente ragionevoli e confermano, a scala annua, la tendenza alla complessiva perdita di sedimenti verso mare in tutte e tre le bocche. Un modesto flusso entrante a scala annua sembra peraltro segnalato attraverso il canale di Treporti, compensato peraltro da un flusso uscente proveniente dalla laguna centrale attraverso i canali di San Nicolò e di Sant'Andrea. Appare inoltre confermata la tendenza ad avere flussi entranti, soprattutto attraverso la bocca di Lido, durante gli eventi di bora

## BIBLIOGRAFIA

- Amos C. L., Villatoro M., Helsby R., Thompson C.E.L., Zaggia L., Umgiesser G., Venturini V., Are D., Sutherland T.F., Mazzoldi A., Rizzetto F.. The measurement of sand transport in two inlets of Venice lagoon, Italy, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009.
- ANPA. "Le principali metodiche di campionamento e analisi del particolato in sospensione in ambienti acquatici. Rassegna bibliografica", Serie Documenti 9/1999, Settembre 1999.
- Casamitjana, X., Serra, T., Soler, M. and Colomer, J. 2002. A study of the evolution of the particle boundary layer in a reservoir, using laser particle sizing, *Water Research*, 36, 4293-4300.
- Di Silvio G., Dall'Angelo C., Bonaldo D.. Long-term model of planimetric and bathymetric evolution of a tidal lagoon. Submitted to *Continental Shelf*, 2008
- Fugate, D.C. and Friedrichs, C.T. 2002. Determining concentration and fall velocity of estuarine particle populations using ADV, OBS and LISST, *Continental Shelf Research*, 22, 1867-1886.
- Gartner, J.W., Cheng, R.T., Wang, P. and Richter, K. 2001. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations, *Marine Geology*, 175, 199-219.
- Hecht, E. 1987. Optics, 2nd edition. Addison Wesley.
- Idronaut Srl. "OceanSeven 304 CTD-T OPERATOR MANUAL", Brugherio (Milan), February 2005
- Idronaut Srl. "Seapoint Turbidity Meter USER MANUAL", Brugherio (Milan), March 2005
- InterOcean Systems Inc. "S4 CURRENT METER USER MANUAL (Rev B)", June 1995
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.78/I - Attività di monitoraggio alle bocche di porto: controllo delle comunità biologiche lagunari e marine", Disciplina Tecnica CVN/Technital, Venezia, Giugno 2003
- Magistrato Alle Acque, 2006. Nuovi Interventi per la salvaguardia di Venezia (Convenzione rep. 7191 del 04/10/1991, a.a. rep. 8100 del 19/12/2005, Legge 29.11.1984 n. 798). Studio B.6.72 B/2, Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari, 2ª fase, p.8.
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto di Pianificazione Operativa, Venezia, Novembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto di Variabilità Attesa, Venezia, Novembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Dicembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/2 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2007. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/3 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2008. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA

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

Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/4 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", I Rapporto di Valutazione, Venezia, Settembre 2008. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA

Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/4 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", II Rapporto di Valutazione, Venezia, Gennaio 2009. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA

Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/4 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", III Rapporto di Valutazione, Venezia, Maggio 2009. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA

McCandliss, R.R., Jones, S.E., Hearn, M., Latter, R. and Jago, C.F. 2002. Dynamics of suspended particles in coastal waters (southern North Sea) during a spring bloom, *Journal of Sea Research*, 47, 285-302.

Middleton, G. V. 1976. Hydraulic interpretation of sand size distribution, *Journal of Geology*, 84, 405-426.

Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2000. In situ particle size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume, *Marine Geology*, 170, 443-459.

Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2001. The use of a LISST-100 laser particle sizer for in-situ estimates of floc size, density and settling velocity, *Geo-Marine Letters*, 20, 187-195.

Sequoia Scientific Inc., 2004. LISST-100X Particle Size Analyzer, User's Manual, Version 4.60, p. 76.

Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios, *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 151-158.

Simionato F. "Sistema di posizionamento della strumentazione utilizzato nelle stazioni a mare della rete di stazioni fisse per il rilievo della torbidità in continuo", Nota Tecnica T.N. n. 204, CNR-ISMAR Venezia, Aprile 2006

Traykovski, P., Latter, R.J. and Irish, J.D. 1999. A laboratory evaluation of the laser in situ scattering and transmissometry instrument using natural sediments, *Marine Geology*, 159, 355-367.

Visher, G. S. 1969. Grain size distributions and depositional processes, *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 1074-1106.

Voulgaris, G. and Meyers, S. 2004. Temporal variability of hydrodynamics, sediment concentration and sediment settling velocity in a tidal creek, *Continental Shelf Research*, 24, 1659-1683.

Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments, *Journal of Geology*, 30, 377-392.