



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

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

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

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

Contratto n. 102000953

Documento **MATRICE: ACQUA**

**MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA  
TORBIDITÀ IN CONTINUO**

**III RAPPORTO DI VALUTAZIONE**

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA GENNAIO AD  
APRILE 2011**

Versione **2.0**

Emissione **23 Giugno 2011**

Verifica

Dott. Luca Zaggia  
(ISMAR-CNR)

Verifica

Prof. Giampaolo Di Silvio

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

<b>1. INTRODUZIONE E METODOLOGIA.....</b>	<b>3</b>
1.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.....	3
1.2 Strumentazione per la misura della torbidità.....	10
1.3 Descrizione dell'attività di gestione della rete di stazioni fisse.....	10
1.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati.....	11
1.4.1 Procedura per la filtrazione dei picchi istantanei.....	12
1.4.2 Correzione per il fouling.....	12
1.5 Calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM.....	14
<b>2. ANALISI DEI DATI.....</b>	<b>16</b>
2.1 Serie temporali della torbidità/SPM.....	19
2.2 Analisi dei picchi di torbidità.....	26
2.3 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche.....	27
2.4 Struttura dell'archivio dei dati.....	28
<b>3. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>29</b>

Alla realizzazione del presente rapporto hanno contribuito:

C. Dabalà (CORILA)

C. Dall' Angelo (CORILA)

G. Di Silvio (IMAGE - UNIPD)

R. Fiorin (LagunaProject)

G. Lorenzetti (ISMAR - CNR, Venezia)

G. Manfè (ISMAR - CNR, Venezia)

F Riccato (LagunaProject)

L. Zaggia (ISMAR - CNR, Venezia)

## 1. INTRODUZIONE E METODOLOGIA

I programmi di monitoraggio ambientale dei cantieri ove sono previste operazioni di scavo e dragaggio di fondali prevedono ormai abitualmente la determinazione del particolato solido in sospensione (Suspended Particulate Matter - SPM) e della torbidità nella colonna d'acqua. Questa variabile è particolarmente importante quando ci si trova in prossimità di habitat sensibili, quali sono quelli prossimi alle tre bocche di porto della laguna di Venezia.

Il Disciplinare Tecnico dello Studio B.6.72 B/6, come i precedenti, prevede specifiche attività per la misura della concentrazione e del flusso di particolato solido sospeso generato dalle attività di cantiere all'interno e all'esterno del canale di bocca. Tali attività intendono monitorare la torbidità generata dalle operazioni di scavo nei seguenti casi:

- A) torbidità prodotta direttamente dai sistemi di scavo (draghe);
- B) variabilità spaziale e temporale del particolato 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.

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 particolato sospeso al variare del campo di corrente nei diversi cicli di marea, del moto ondoso in laguna e in mare.

Le misure della torbidità in continuo si sono dimostrate necessarie al fine di stabilire il livello "naturale" sopra il quale avviene la perturbazione 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 e la presenza o assenza di episodi significativi possono dare luogo ad incertezze sul 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. Come messo in evidenza nei precedenti rapporti, infine, il monitoraggio continuo della torbidità può dare utili indicazioni (soprattutto quando messo in relazione con la contemporanea fase di marea e con le vigenti condizioni meteo marine) sulla dinamica dei sedimenti in sospensione e sul loro bilancio a lungo termine.

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

La misura della torbidità in continuo alle bocche di porto ha il doppio obiettivo di valutare la diffusione del pennacchio 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 in continuo è iniziata a Maggio 2005 in otto stazioni di misura opportunamente posizionate nei canali delle tre bocche o nelle immediate vicinanze (sia

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

all'interno della laguna che in mare) ed è proseguita quasi ininterrottamente insieme all'acquisizione dei parametri chimico-fisici dell'acqua e alle variabili meteo marine.

In continuità con l'anno passato, e data l'evidenza (Rapporto Finale, Studio B.6.72 B/5) della mancanza di attività in grado di influenzare significativamente la torbidità della colonna d'acqua entro la bocca di Lido, a differenza delle altre due bocche di porto, la rete di monitoraggio è ora costituita da stazioni fisse nelle sole bocche di Malamocco e Chioggia, dove tuttavia si ritiene indispensabile mantenere il monitoraggio sulle stazioni fisse in quanto il recesso di barriera in queste bocche non è ancora stato scavato.

La Figura 1.1 mostra la localizzazione di tutte le stazioni di misura della torbidità nelle aree dei cantieri alle bocche di porto; in rosso le stazioni utilizzate il sesto anno di monitoraggio; esse coincidono con quelle utilizzate nel corso del precedente Studio B.6.72 B/5. Nella Tabella 1.1 sono riassunte le caratteristiche di tutte stazioni, anche quelle non più in esercizio, e per ciascuna di queste sono riportate le coordinate geografiche, espresse nel sistema UTM WGS 84 e Gauss Boaga, e la profondità, in metri, del battente d'acqua rispetto al livello medio del mare. La posizione del sensore è in tutti i casi alla quota di 1.5 metri dal fondo eccetto per la postazione LMR-2, in cui il sensore era a circa 7.5 metri dal fondo.

CORILA

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

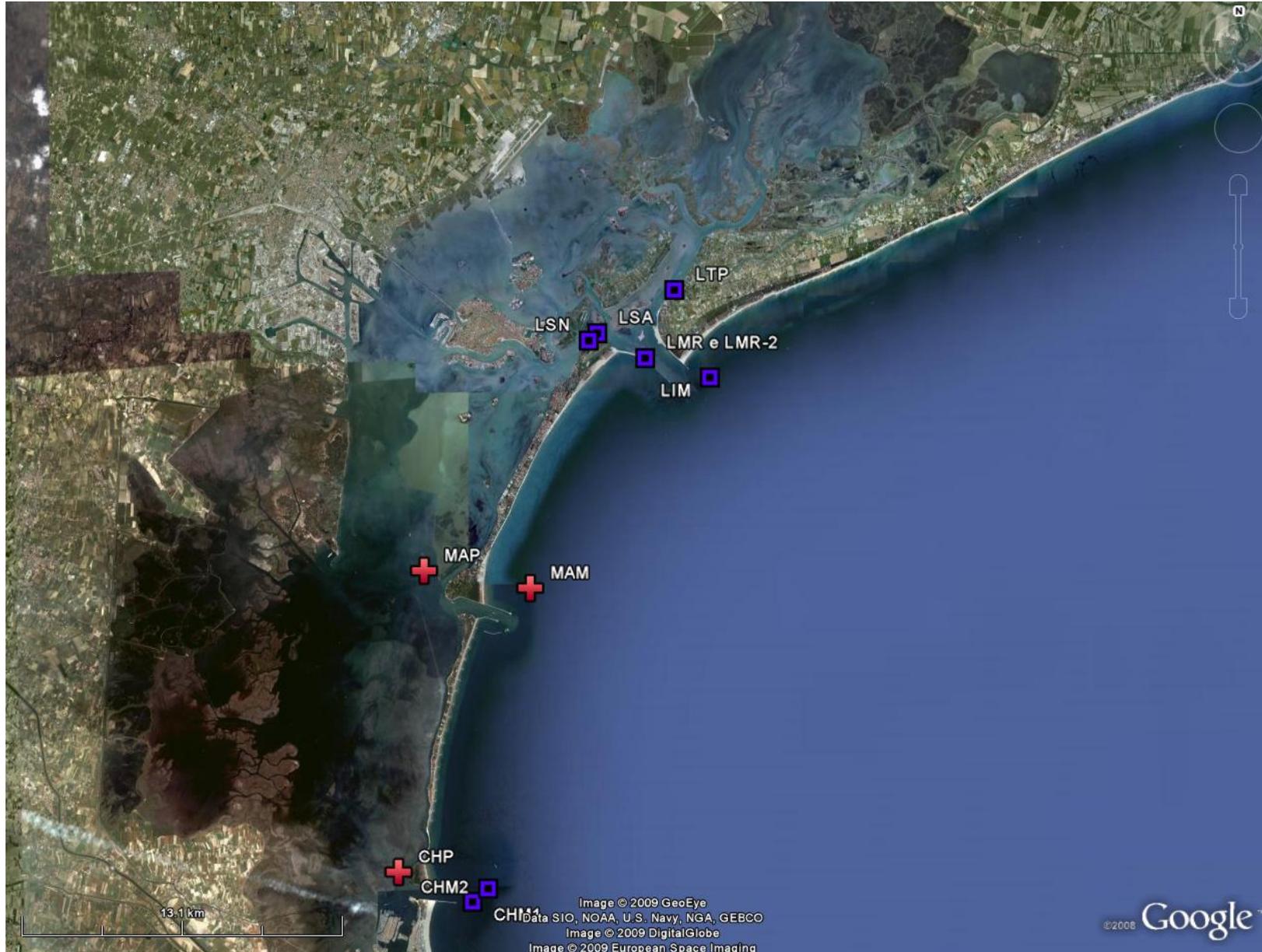


Figura 1.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel periodo 2010-2011.

## CORILA

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

Tabella 1.1 Caratteristiche delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.

<b>Sigla Identificativa</b>	<b>Località</b>	<b>Tipo postazione</b>	<b>Ente</b>	<b>Fondale (m)</b>	<b>Coordinate UTM WGS 84</b>	<b>Coordinate Gauss Boaga</b>	<b>Periodo di utilizzo</b>
<b>CHM1</b>	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	289952 E 5011996 N	2311697.67 5011917.71	Studio B.6.72 B/1
<b>CHM2</b>	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	0289792 E 5012068 N	2312244.76 5013024.91	Studio B.6.72 B/1
<b>CHP</b>	CHIOGGIA Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.1	286559 E 5012376 N	2306695.73 5012490.85	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5 Studio B.6.72 B/6
<b>LIM</b>	LIDO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	9.0	300744 E 5033387 N	2321595.15 5033110.08	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LMR</b>	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LMR-2</b>	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LSA</b>	LIDO Canale S. Nicolò	Meda Bianco- Nera	Capitaneria Porto - Marifari	5	295870 E 5034915 N	2315918.06 5034973.54	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
<b>LSN</b>	LIDO Canale S. Nicolò	Postazione mareografica	MAV	7.0	295624 E 5034542 N	2315566.36 5034465.53	Studio B.6.72 B/1
<b>LTP</b>	LIDO Canale Treporti	Postazione mareografica	MAV	2.0	299083 E 5036390 N	2318835.86 5036184.94	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4

## CORILA

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

<b>Sigla Identificativa</b>	<b>Località</b>	<b>Tipo postazione</b>	<b>Ente</b>	<b>Fondale (m)</b>	<b>Coordinate UTM WGS 84</b>	<b>Coordinate Gauss Boaga</b>	<b>Periodo di utilizzo</b>
<b>MAM</b>	MALAMOCCO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	11.0	292432 E 5024099 N	2312635.53 5024136.00	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5 Studio B.6.72 B/6
<b>MAP</b>	MALAMOCCO Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.7	288410 E 5024129 N	2308923.15 5024591.90	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5 Studio B.6.72 B/6

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

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

Le prime due stazioni sono state allestite utilizzando le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 1.3 e Figura 1.4).

Per la stazione MAM è stata utilizzata una struttura già esistente impiegata anch'essa come mareografo, ma con caratteristiche tecniche completamente diverse da quelle delle postazioni mareografiche in laguna (Figura 1.2). Per questa stazione, infatti, poiché è caratterizzata da un elevato fondale (11 metri circa) è stato progettato un sistema di posizionamento ed ancoraggio al fondo della strumentazione di misura [Simionato, 2006] per consentire un agile recupero della sonda per le operazioni di scarico dati, manutenzione, pulizia e riposizionamento alla quota di misura. Nella Figura 1.5 è mostrato uno schema tipico di posizionamento e ancoraggio.

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



Figura 1.2. Stazione MAM.

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



Figura 1.3. Stazione MAP



Figura 1.4. Stazione CHP.

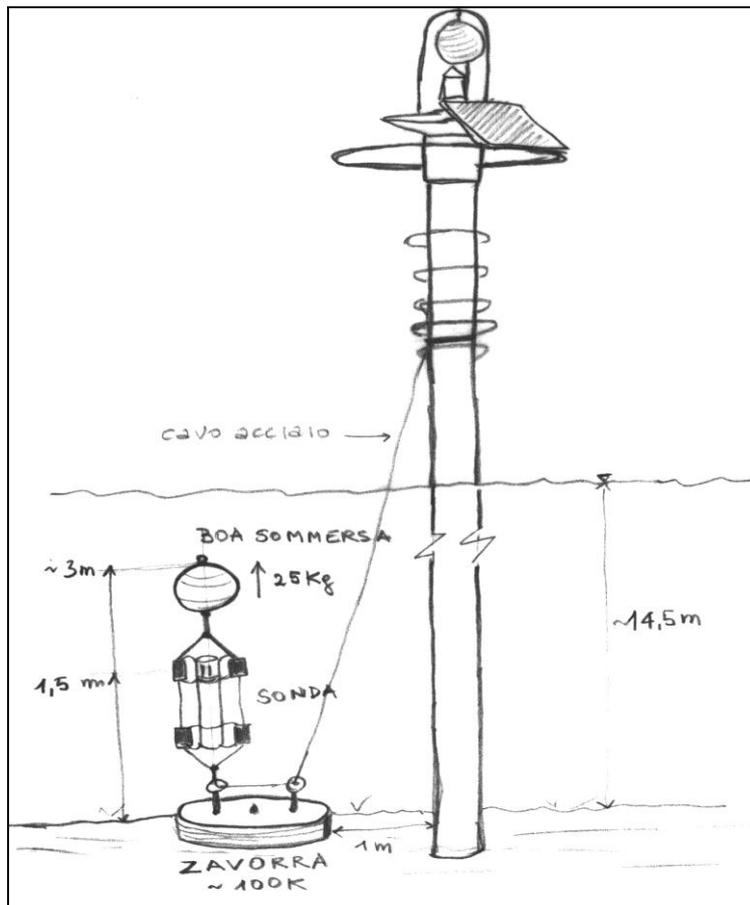


Figura 1.5. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare.

## 1.2 Strumentazione per la misura della torbidità

Per il rilievo della torbidità in continuo è stata utilizzata, per ogni stazione, una sonda multiparametrica autoregistrante Idronaut Mod. OceanSeven 304 CTD-T [Idronaut Srl., February 2005], equipaggiata con un sensore OBS (Optical Backscatter Sensor) del tipo Seapoint Turbidity Meter [Idronaut Srl., March 2005], che misura il *backscattering* ottico, generando una tensione di uscita proporzionale alla quantità di particolato solido sospeso lungo la colonna d'acqua.

A seconda del grado di sensibilità di cui si vuole disporre e delle condizioni più frequentemente incontrate nei periodi precedenti, si imposta per lo strumento un appropriato intervallo di misura, come indicato nella Tabella 1.2 dove sono riassunte le caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati nelle stazioni fisse.

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

Tabella 1.2. Caratteristiche dei sensori montati sulla sonda OceanSeven 304 CTD-T.

Sensore	Intervallo di misura	Accuratezza	Sensibilità
Pressione	0 - 1000 dbar	0.05% f.s.	0.015%
Temperatura	-3 - +35 °C	0.005 °C	0.0006 °C
Conducibilità	0 - 64 mS/cm	0.005 mS/cm	0.001 mS/cm
Torbidimetro SEAPOINT	0 - 750 FTU	<2%	200 - 2 mV / FTU
	25 FTU	<2%	200 mV / FTU
	125 FTU	<2%	40 mV / FTU
	500 FTU	<2%	10 mV / FTU
	750 FTU	<2%	2 mV / FTU (•)

(•) oltre 750 FTU la risposta non è più lineare.

## 1.3 Gestione della rete di stazioni fisse, attività in campo e di laboratorio

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 5 anni. Ad oggi l'efficienza della rete è assicurata al prezzo di continue e costose manutenzioni che hanno richiesto la sostituzione di parti meccaniche, guarnizioni, connettori, ecc.

Le attività di campo prevedono operazioni di manutenzione svolte come consuetudine con cadenza circa settimanale durante le quali la sonda viene recuperata a bordo di un'imbarcazione per la pulizia dei sensori (con particolare riguardo ai sensori di conducibilità e torbidità). Contestualmente si prelevano campioni d'acqua per mezzo di una "bottiglia a sifone" da 1000 cc, alla quota di posizionamento del sensore OBS di ciascuna sonda.

Il prelievo dei campioni d'acqua è indispensabile perché i valori di torbidità misurati dai sensori OBS vengono registrati come dati grezzi espressi in FTU e le risposte strumentali degli OBS sono differenti tra di loro. È necessario pertanto convertire il dato grezzo in valori di concentrazione del particolato solido sospeso (in mg/l) utilizzando le relazioni di regressione fra le concentrazioni, determinate nei campioni d'acqua, ed il valore della torbidità (in FTU), registrata da ciascuno strumento. Nel capitolo 2 sono riportati, per ogni stazione di misura, i diagrammi sperimentali e le specifiche rette utilizzate per la conversione.

Tutte le operazioni in campo sono registrate dagli operatori, su apposite schede (Figura 1.6), in occasione di ciascuna operazione di scarico dei dati.



dopo un'accurata pulizia dei sensori e del corpo della sonda. Si ricorda che gli interventi di manutenzione e pulizia delle sonde sono stati pianificati circa settimanalmente.



Figura 1.7. Stato della sonda ubicata nella stazione MAM prima e dopo le operazioni di pulizia (12 Ottobre 2010).

Nonostante queste precauzioni, in molti casi, specialmente nei periodi più caldi e per le stazioni in cui lo strumento opera a bassa profondità, la contaminazione da parte del *fouling* riprende dopo 1-2 giorni dall'intervento di pulizia, rendendo praticamente inutilizzabile l'intera serie di valori compresa fra due interventi di manutenzione.

Dato il così prolungato stazionamento delle sonde in acqua, anche le operazioni di pulizia sono via via più difficoltose per la presenza di organismi incrostanti di composizione calcarea difficili da rimuovere dagli spazi ristretti fra i sensori e talora anche dalla superficie dei sensori. Nel caso del sensore OBS questo può causare una deriva permanente rispetto ai valori di concentrazione dei campioni prelevati per la calibrazione del sensore di torbidità. Una loro rimozione meccanica in campo sarebbe critica per la possibilità di danneggiamento della finestra ottica del torbidimetro; quindi il ripristino delle condizioni ottimali deve essere fatto in laboratorio.

#### 1.4.1 Procedura per la filtrazione dei picchi istantanei

La procedura per la filtrazione dei picchi istantanei della torbidità, legati all'accumulo di depositi sullo strumento, è stata effettuata mediante un controllo sul dato istantaneo, che viene automaticamente eliminato quando il suo valore si discosta di una quantità superiore al doppio della media dei valori nel suo intorno. Quando il controllo non risulta efficace, come nel caso di perturbazioni prolungate, si rende necessario un intervento manuale per l'eliminazione dei picchi residui.

Per rendere più stabile l'andamento della variabile, comunque soggetta a fluttuazioni naturali di breve periodo, si è ritenuto opportuno applicare un ulteriore filtro alla serie temporale risultante, cioè una media oraria, centrata sul dato istantaneo, applicata all'intera serie.

#### 1.4.2 Correzione per il fouling

La presenza di fouling sul sensore ottico per la misura della torbidità dà luogo ad effetti diversi sulla qualità delle informazioni registrate dalla strumentazione. La situazione più frequente è quella di una deriva progressiva dei valori che aumentano seguendo un andamento

approssimabile ad una relazione lineare o, più spesso, con una relazione esponenziale o una polinomiale di secondo grado.

Nel caso più semplice (probabilmente piccole incrostazioni che crescono lentamente sulla finestra ottica del sensore) questa deriva non comporta un aumento significativo delle oscillazioni istantanee ed è, quindi, sufficiente correggere la serie temporale seguendo una semplice procedura che, pur tenendo conto dei valori di controllo costituiti dalla concentrazione nei campioni d'acqua prelevati durante gli interventi di pulizia, presenta comunque un certo grado di soggettività.

Si individua una polinomiale (generalmente di grado 1 o 2) interpolando i valori della linea di base della funzione originaria nel tratto interessato dal fenomeno, prendendo come punto di partenza il valore più basso prima dell'inizio della deriva (si presuppone quindi che sia un valore corretto e non affetto da fouling). Ai valori originari si sottrae quindi la polinomiale, scelta in modo da ottenere come risultato l'allineamento dei punti della linea di base con il punto di partenza e controllando che il valore finale non sia troppo dissimile dal valore del campione d'acqua prelevato.

Purtroppo in alcuni casi rimane una deriva residua nel tratto terminale dove, se possibile, si può applicare una seconda volta la procedura correttiva.

In alcuni casi invece la deriva si accompagna ad un aumento significativo dell'ampiezza delle oscillazioni di breve periodo. La causa di questa perturbazione è probabilmente la presenza di organismi di dimensioni più grandi, che si spostano sul sensore di rilevazione causando repentini sbalzi nella quantità di luce intercettata dallo stesso. In questi casi non vi è alcuna possibilità di intervento e le corrispondenti acquisizioni vengono eliminate completamente dalla serie originaria.

Un esempio di deriva dovuta al fouling è rappresentato nella figura seguente.

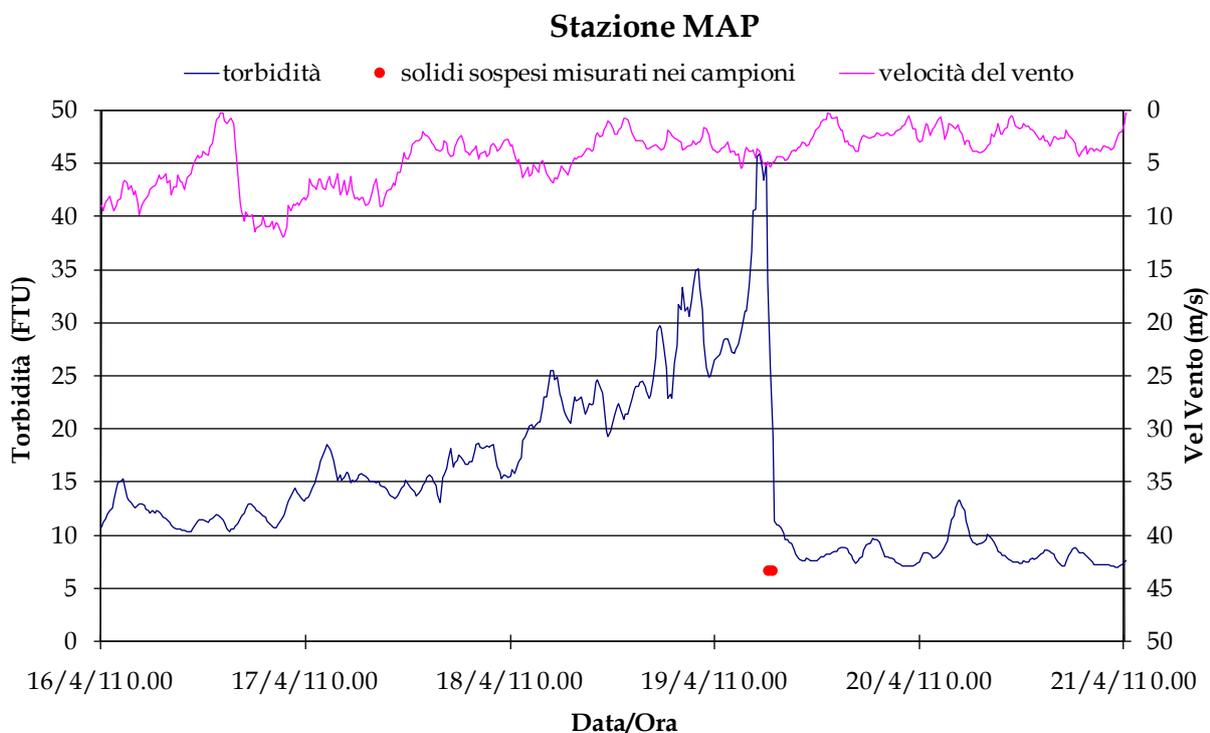


Figura 1.8. Esempio di deriva progressiva dei valori di torbidità dovuta al fouling, periodo 16-19 aprile 2011, stazione MAP. Con un pallino rosso è messo in evidenza il valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua prelevato durante l'intervento di manutenzione.

In questo caso è stata effettuata una correzione sottraendo una polinomiale di secondo grado che ha permesso di correggere il tratto iniziale mentre poi è stato necessario eliminare alcuni dati del 19 Aprile poiché si discostavano troppo sia dal valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua (pallino rosso) sia dalla torbidità misurata dopo l'intervento di manutenzione. Il risultato è visibile nella figura 1.9.

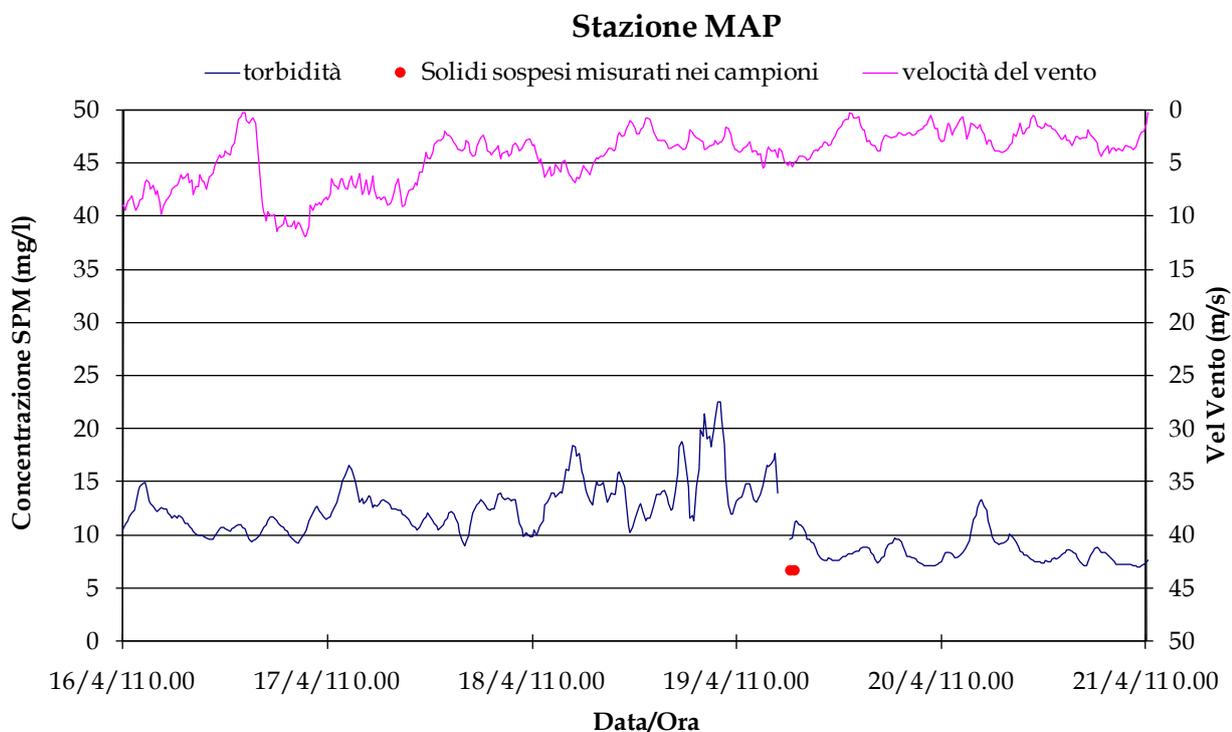


Figura 1.9. Risultato finale dopo l'applicazione della procedura correttiva e l'eliminazione dei dati nel tratto terminale del periodo 16-19 Aprile 2011. Con un pallino rosso, è messo in evidenza il valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua prelevato durante l'intervento di manutenzione.

### 1.5 Calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM

L'SPM, che include sia la frazione organica che inorganica, è, di fatto, una misura del peso secco del materiale sospeso per unità di volume d'acqua e viene espresso in milligrammi di solidi per litro d'acqua (mg/l).

La misura della torbidità, invece, sfrutta la proprietà ottica dell'acqua di attenuare o disperdere un fascio di luce che attraversa un determinato volume (fenomeno di *scattering*). In questo caso la concentrazione del particolato solido sospeso, espressa in NTU (Nephelometric Turbidity Units) o FTU (Formazine Turbidity Units), viene determinata misurando l'attenuazione di un raggio di luce proiettato nell'acqua in direzione di una fotocellula (*lightscattering*) o la luce dispersa rispetto un angolo formato dal raggio incidente (*backscattering*).

I sensori OBS (Optical Backscatter Sensor) del tipo Seapoint Turbidity Meter [Idronaut Srl., March 2005], utilizzati nelle stazioni fisse di misura in continuo del presente progetto misurano il *backscattering*.

Anche se non c'è una relazione generale tra torbidità e SPM, la misura di torbidità ha ormai sostituito quella di SPM nelle determinazioni puntuali, in tutti i casi in cui sia necessario disporre di valori in tempo reale, o nei monitoraggi, poiché la frequenza di campionamento richiederebbe il prelievo e l'analisi di un numero eccessivo di campioni d'acqua [ANPA, 1999]. La misura della

torbidità è, infatti, molto più agevole rispetto alla misura di SPM, che richiede la disponibilità di un laboratorio e tempi di esecuzione non compatibili con la necessità, spesso richiesta, di rilevare variazioni a breve scala temporale (dell'ordine dell'ora o inferiori), come nel caso del monitoraggio di attività di cantiere in corpi idrici soggetti all'escursione di marea.

Trattandosi di un argomento che esula dalle finalità di questo Rapporto, non viene qui approfondito il tema della correlazione fra torbidità ed SPM. Si ricorda, comunque, che i due parametri, pur essendo in relazione con gli stessi fenomeni, sono funzione di variabili differenti. La misura del SPM dipende, infatti, dal peso totale delle particelle in sospensione con diametro maggiore di  $0.4 \mu\text{m}$  ed è, quindi, funzione diretta del numero, della dimensione e del peso specifico delle particelle. La torbidità, invece, è una funzione diretta del numero, della superficie e dell'indice di rifrazione delle particelle in sospensione ma, nel contempo, è una funzione inversa delle dimensioni delle stesse.

È evidente, quindi, che la calibrazione di uno strumento ottico per la misura della torbidità sulla base dei valori di SPM presenta una serie di problemi legati, oltre che a fattori strumentali dovuti alla diversa risposta dei sensori, alla variabilità intrinseca delle diverse componenti della frazione sospesa nell'ambiente naturale. Per quanto riguarda l'ambiente lagunare esistono, quindi, variazioni stagionali, che sono principalmente legate alla quantità e qualità della frazione organica, variazioni della dimensione e della quantità della componente inorganica, che riflettono la diversa provenienza dei materiali durante eventi particolari (piene dei corsi d'acqua, fenomeni di risospensione indotta da correnti, moto ondoso sui litorali e bassi fondali). A causa di queste variabilità una singola correlazione fra torbidità e SPM non può essere applicata a qualsiasi ambito. È preferibile considerare relazioni sito-specifiche, che descrivano il comportamento delle due variabili in una singola stazione, come nel caso delle stazioni fisse di misura in continuo del presente progetto. Inoltre, è indispensabile tenere conto sia delle variazioni nelle caratteristiche granulometriche dei materiali sia delle variazioni stagionali della componente organica, anche se il suo effetto condiziona in maniera evidente solo i valori più bassi delle variabili e diminuisce all'aumentare della componente inorganica al verificarsi di fenomeni di trasporto legati alla corrente, alle piene fluviali ed agli eventi meteomarinari.

La calibrazione dei sensori per la misura della torbidità ai fini della stima delle concentrazioni istantanee di SPM è stata effettuata sulla base delle concentrazioni del particolato in sospensione misurate nei campioni d'acqua prelevati durante gli interventi di manutenzione, effettuati in corrispondenza della posizione delle sonde. Tuttavia, solo successivamente alla rimozione delle diverse perturbazioni presenti nelle serie temporali della torbidità è stato possibile ottenere delle rette di regressione sufficientemente affidabili per una stima della concentrazione di SPM, sulla base dei valori della torbidità istantanei acquisiti dagli strumenti. Conseguentemente, poiché una percentuale di dati della torbidità è stata rimossa dall'applicazione della procedura di correzione, solo un sottoinsieme delle coppie di valori di torbidità e concentrazione di SPM disponibili è stato utilizzato per la calibrazione. Tuttavia, per tutte le stazioni, la quantità di dati disponibili si può ritenere sufficiente per una stima piuttosto attendibile delle concentrazioni. Inoltre, in quasi tutti i casi, l'intervallo di valori utilizzati per la calibrazione è sufficiente a descrivere le concentrazioni più tipicamente riscontrate nei diversi settori del sistema considerato.

## 2. ANALISI DEI DATI

Di seguito, nella Tabella 2.1, è riportata la percentuale dei dati validati dopo la procedura di filtrazione delle serie temporali su tutto il periodo del monitoraggio Gennaio-Aprile 2011. Nel conteggio totale sono inclusi anche i periodi in cui i dati mancavano per malfunzionamento degli strumenti.

Tabella 2.1. Percentuale dei dati validati nel periodo Gennaio-Aprile 2011.

<b>Stazione</b>	<b>Dati validati sul totale del monitoraggio</b>
CHP	91.6%
MAM	/
MAP	92.8%

Il giorno 11 Dicembre 2010 è stato verificato l'abbattimento del palo a cui era ancorata la sonda della stazione MAM. Il giorno 20 Dicembre il personale Thetis ha provveduto al recupero della strumentazione che è stata riportata in sede per manutenzione. Si è successivamente verificato che la sonda era stata danneggiata in quanto la stessa non comunicava con il software per il recupero dei dati registrati ed è pertanto stata inviata alla casa costruttrice per le necessarie riparazioni. Al più presto si provvederà alla definizione di una nuova stazione di misura ed al riposizionamento della sonda.

La percentuale di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri è, per entrambe le stazioni attive nel quadrimestre in questione, superiore al 90%. Le alte percentuali di dati validi riscontrate sono dovute agli interventi di pulizia delle sonde ed anche ad un ridotto sviluppo di fouling per la bassa temperatura dell'acqua nei mesi invernali e primaverili.

Per facilitare la comprensione del grado di copertura delle registrazioni, nella Figura 2.1 viene visualizzata l'estensione temporale delle acquisizioni effettuate dai singoli strumenti.

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

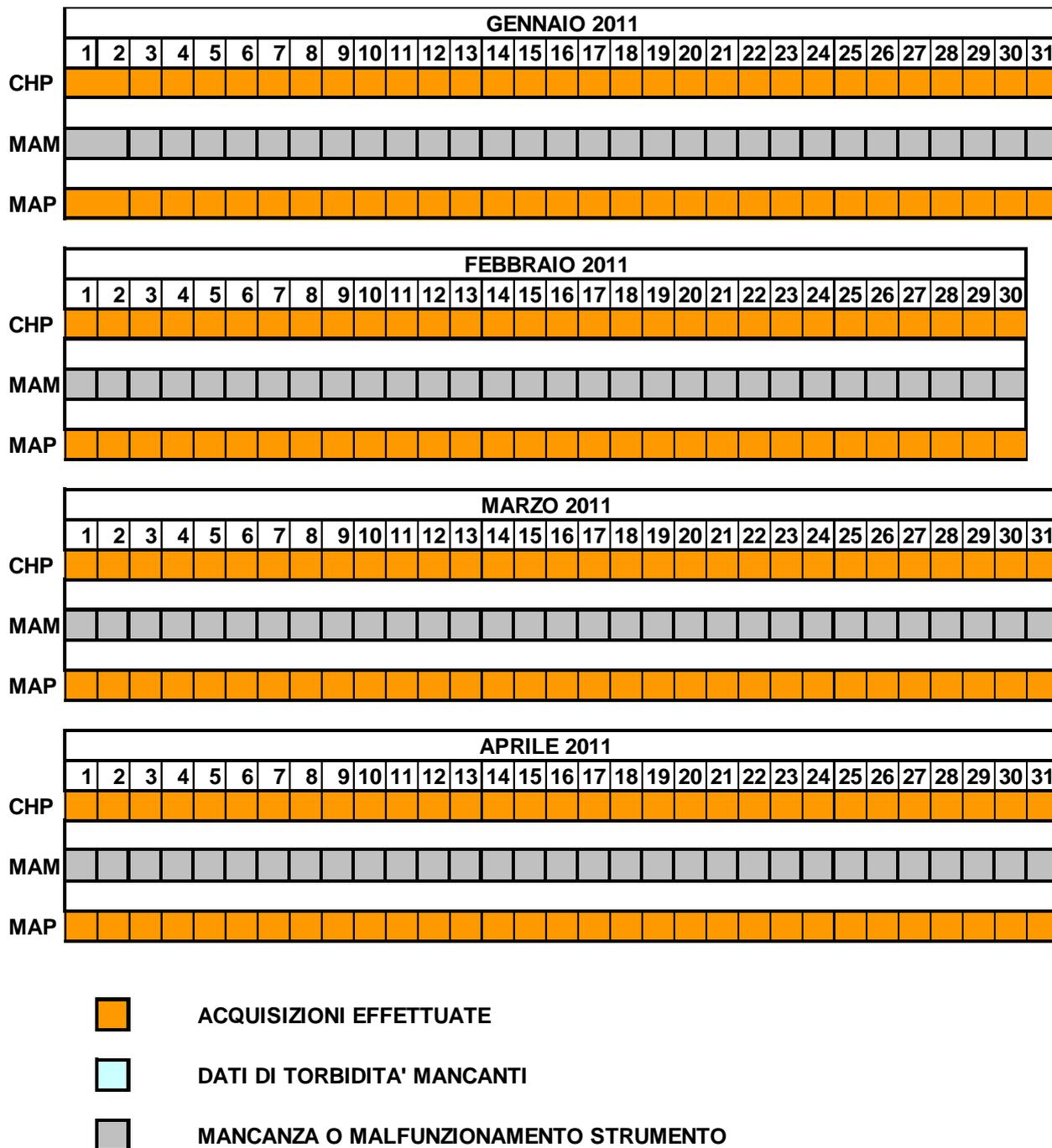


Figura 2.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle tre stazioni oggetto del monitoraggio. Si ricorda che il palo su cui era posizionata la postazione MAM p stato abbattuto in dicembre 2010.

Le relazioni utilizzate per la calibrazione dei dati registrati in ciascuna delle stazioni sono riportate nella Tabella 2.2 e visualizzate nelle Figura 2.2 a-b. Ciascuna di queste relazioni è stata utilizzata per derivare la serie temporale della concentrazione di SPM a partire dalla serie della torbidità opportunamente corretta relativa alla corrispondente stazione.

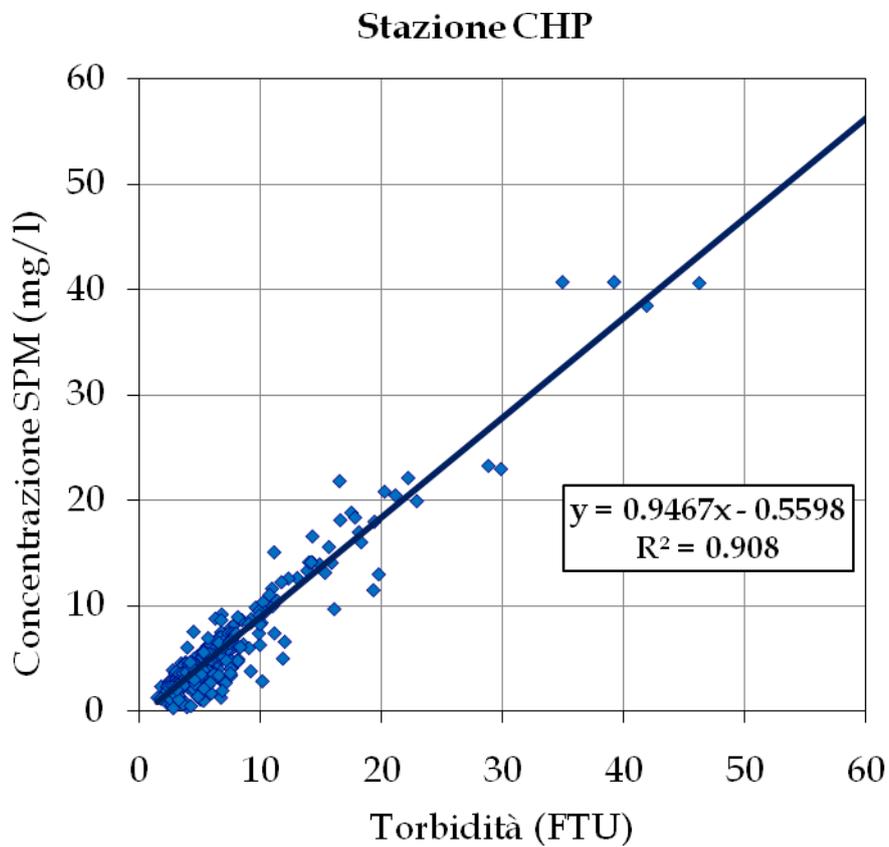
Si osserva come la pendenza della retta di regressione per la stazione CHP sia piuttosto vicina all'unità mentre, per quanto riguarda la sonda posta nella stazione MAP, si nota un coefficiente R<sup>2</sup> più basso rispetto alla retta del primo quadrimestre (R<sup>2</sup>=0.91); è stata infatti riscontrata la scarsa

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

correlazione tra valori misurati e campioni prelevati, probabilmente dovuta alla presenza di incrostazioni dure davanti alle finestre ottiche del sensore, la cui rimozione meccanica durante le normali operazioni di manutenzione in campo può non essere sufficiente; il problema dovrebbe essere eliminato con l'intervento di manutenzione previsto.

Tabella 2.2 Coefficienti ed equazioni delle rette di regressione utilizzate per la calibrazione dei sensori OBS.

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



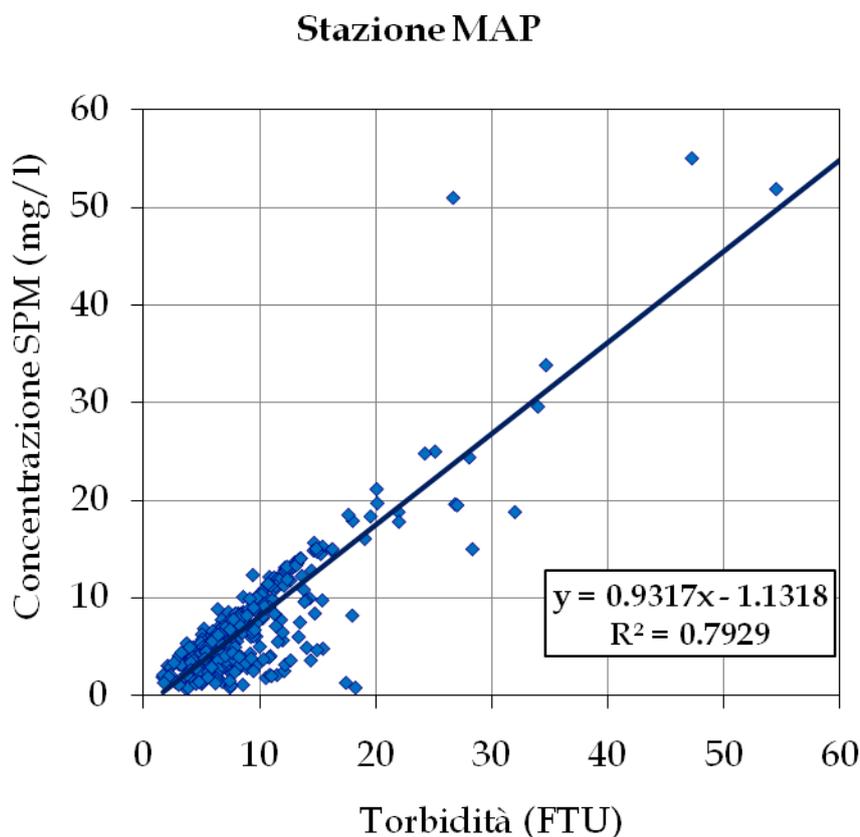


Figura 2.2. Diagrammi di regressione fra la torbidità registrata dalle sonde nelle diverse stazioni considerate ed i corrispondenti valori di concentrazione di SPM nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione. Le rette di regressione sono state calcolate includendo tutti i valori disponibili, fino a Aprile 2011.

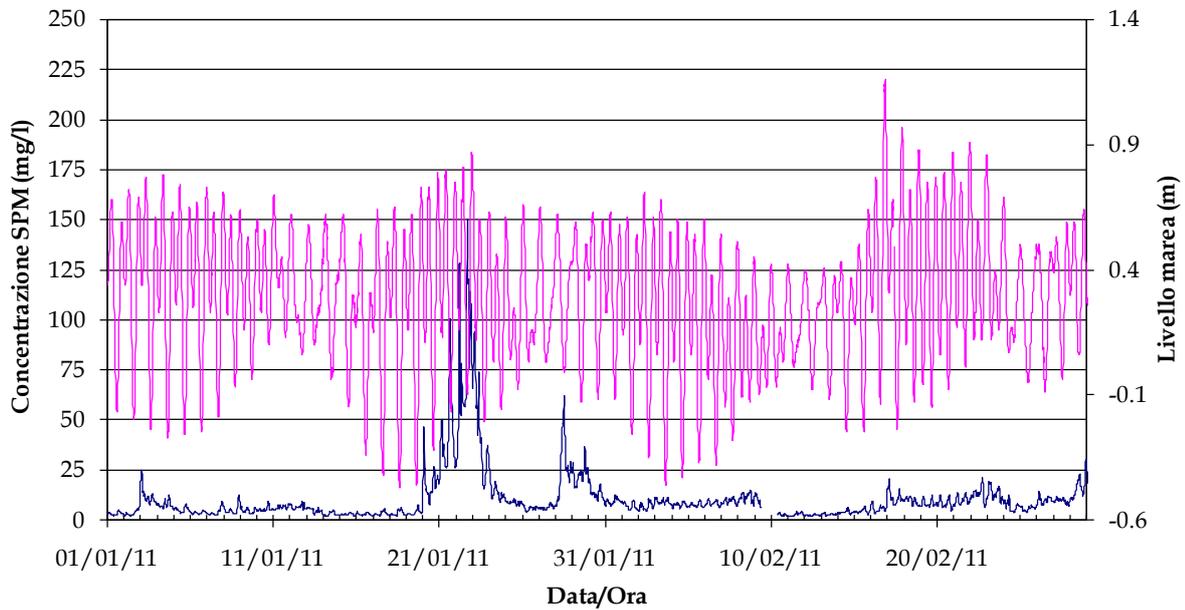
## 2.1 Serie temporali della torbidità/SPM

Le serie temporali del periodo Gennaio-Aprile 2011 sono incluse nei files del database allegato al presente Rapporto.

Di seguito vengono presentate due tipologie di elaborati grafici: nella prima (Figure 2.3-2.6 (a)) vengono rappresentate la concentrazione di SPM (linea blu) e la curva di marea (linea rosa) del mareografo più vicino alla stazione in questione (Diga Nord di Malamocco, Diga Sud di Chioggia, - Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia), mentre nella seconda (Figure 2.3-2.6 (b)) l'SPM è rappresentato insieme all'andamento orario della velocità del vento (linea rosa), misurato alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR.

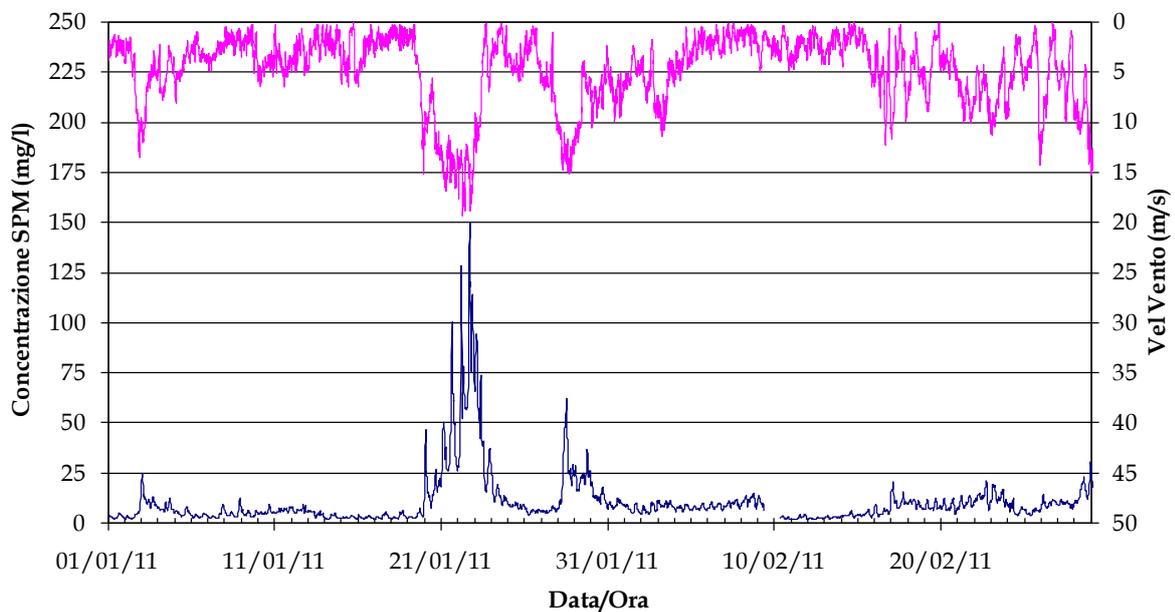
CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Stazione CHP



(a)

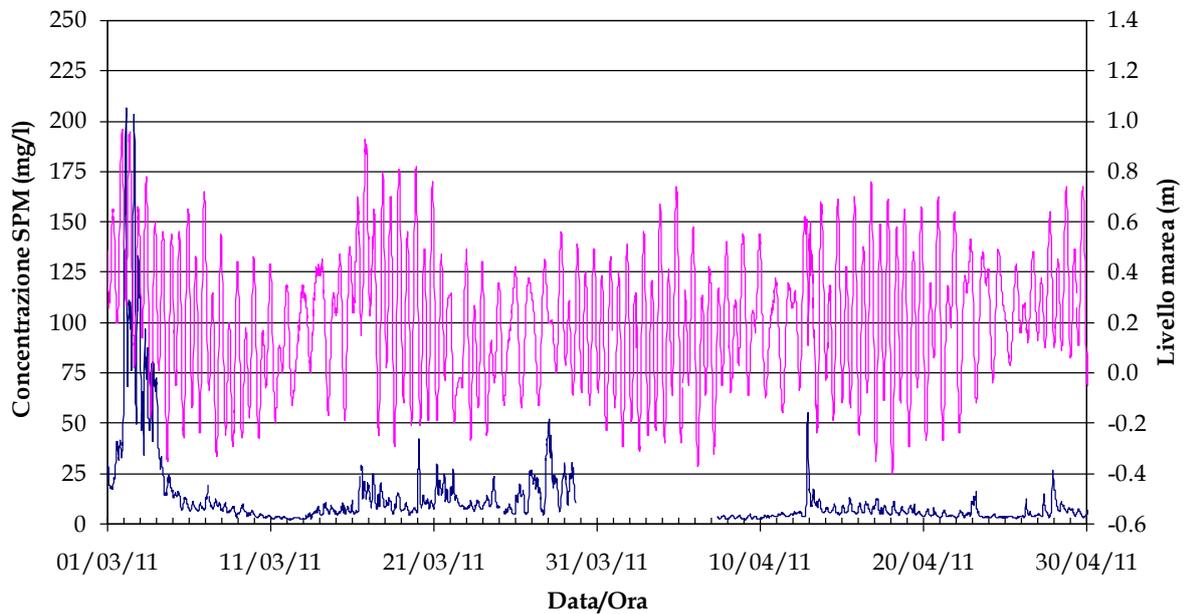
Stazione CHP



(b)

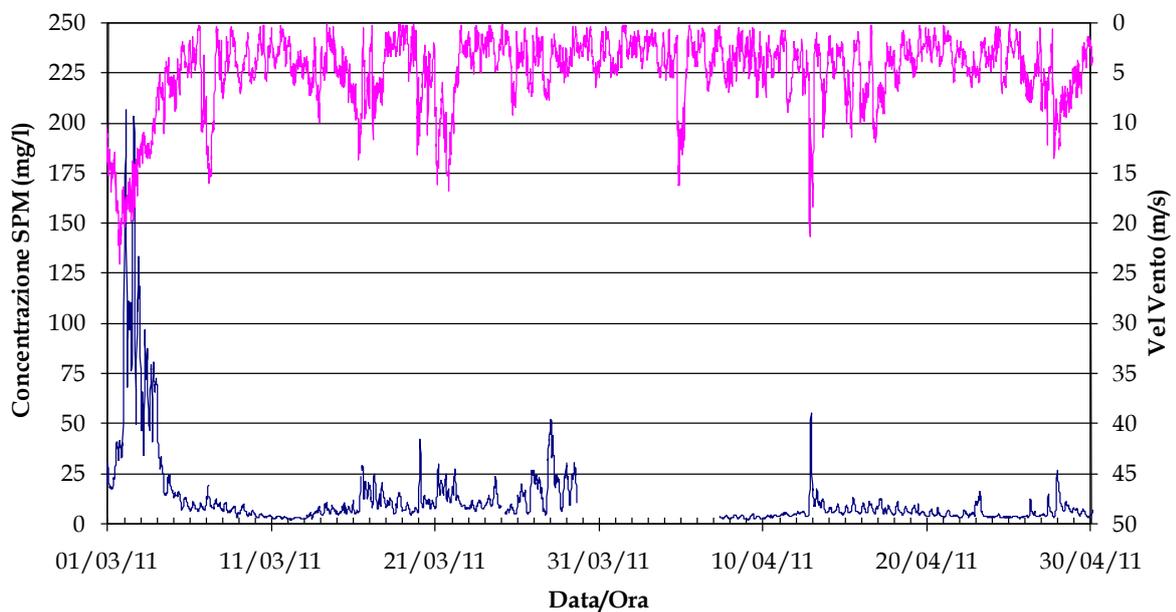
Figura 2.3. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHP nel periodo Gennaio-Febbraio 2011.

**Stazione CHP**



(a)

**Stazione CHP**



(b)

Figura 2.4. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHP nel periodo Marzo-Aprile 2011.

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

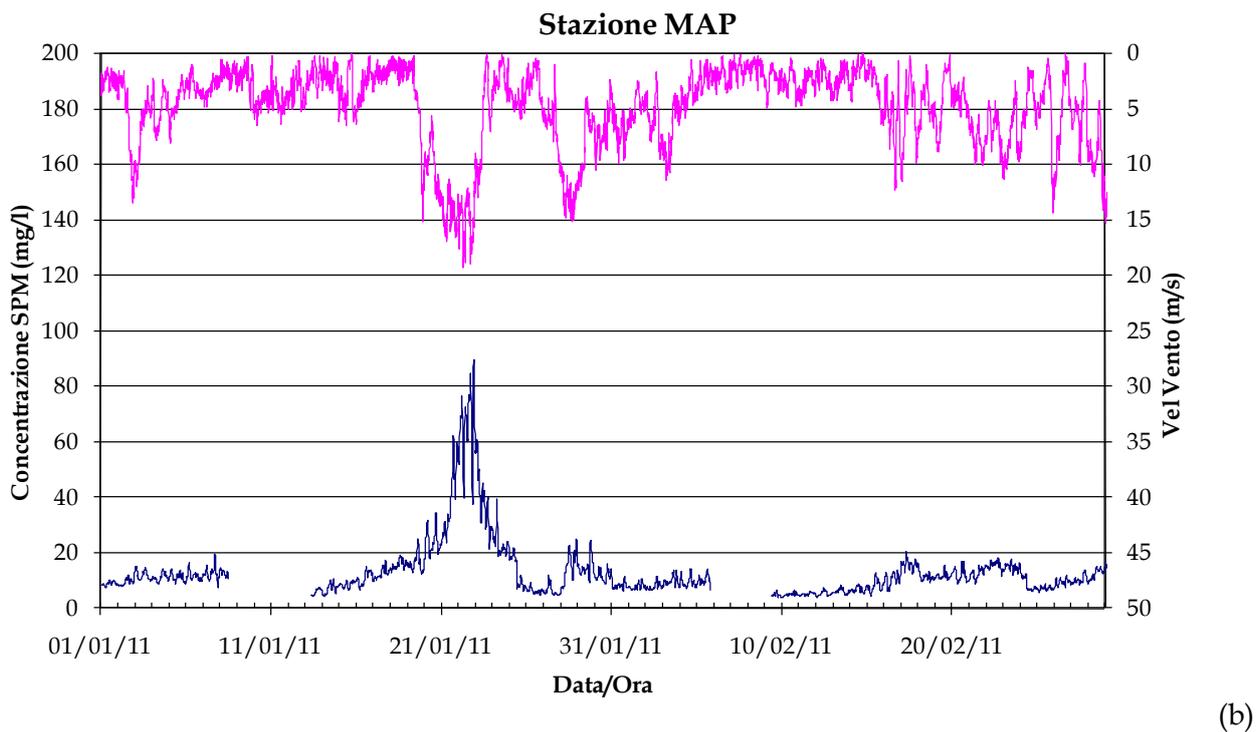
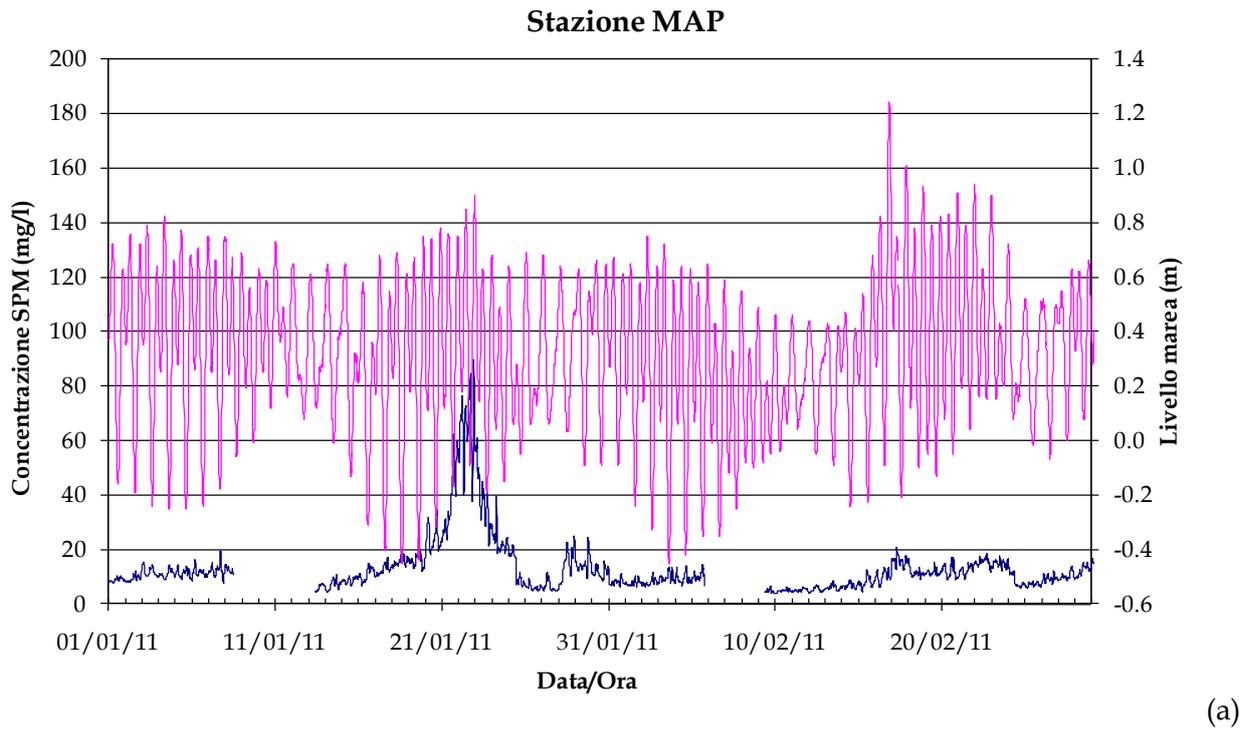
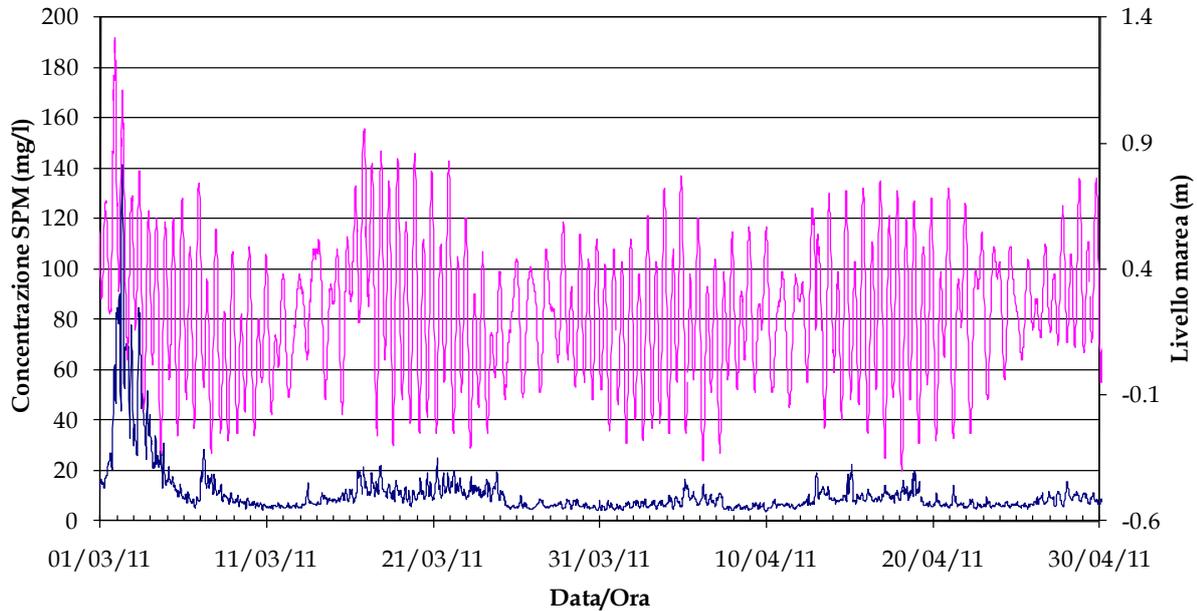


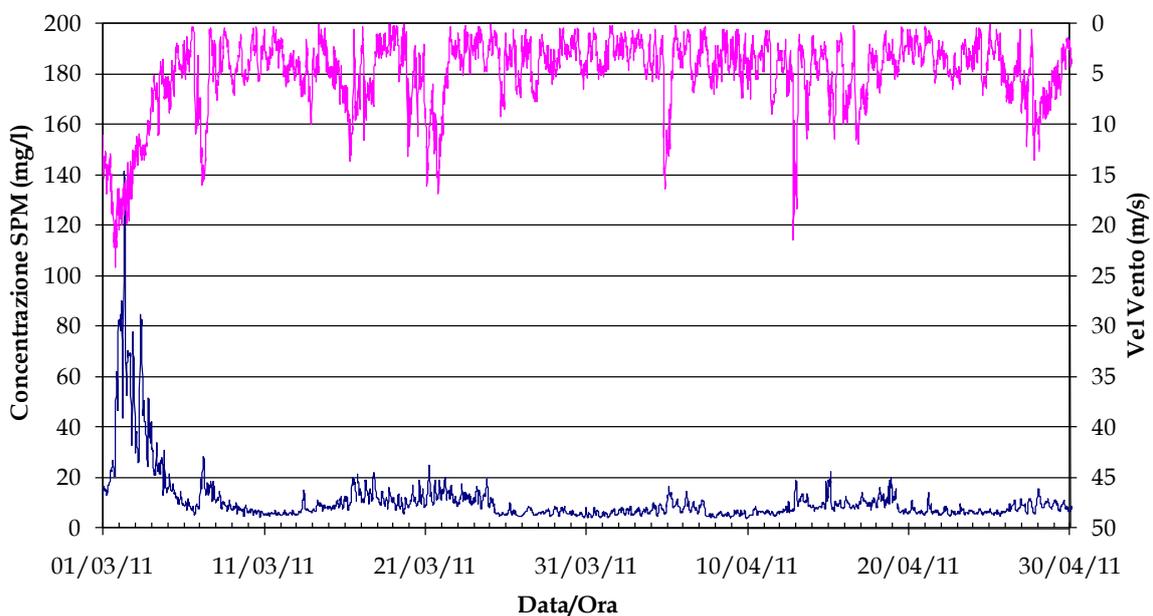
Figura 2.5. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAP nel periodo Gennaio-Febbraio 2011.

**Stazione MAP**



(a)

**Stazione MAP**



(b)

Figura 2.6. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAP nel periodo Marzo-Aprile 2011.

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

Nella Tabella 2.3 si riportano, per il quadrimestre considerato, gli eventi meteo durante i quali la velocità del vento, misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR, ha superato i 15 m/s.

Tabella 2.3 Eventi meteo significativi registrati nel periodo Gennaio-Aprile 2011

<b>Giorno</b>	<b>Orario</b>	<b>Velocità del vento</b>	<b>Direzione media e tipo di vento</b>
19 - 20 Gennaio	Dalle 20.30 alle 00.30	10-15.1 m/s	30 gradi-bora
20 - 23 Gennaio	Dalle 15.15 alle 8.30	10÷19.3 m/s	44 gradi-bora
27 - 29 Gennaio	Dalle 15.15 alle 8.30	10÷15.1 m/s	40 gradi - bora
28 Febbraio -3 Marzo	Dalle 19.15 alle 21.30	10÷24.1 m/s	40 gradi-bora
7 Marzo	Dalle 00.30 alle 10.30	10÷16 m/s	60 gradi -bora
19-21 Marzo	Tutto il giorno	10÷16 m/s	60 gradi -bora
4 Aprile	Dalle 18.45 alle 4.30	10÷16.3 m/s	40 gradi-bora
12-13Aprile	Dalle 19.15 alle 2.00	11÷ 21.4 m/s	30 gradi-bora 90 gradi-levante

Per un'analisi della correlazione tra la torbidità e questi eventi, ed eventualmente altri di minore intensità ma con effetti comunque apprezzabili, si veda il paragrafo 2.2.

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

I risultati dell'elaborazione statistica effettuata sui dati di concentrazione relativi alle stazioni sono riportati nella Tabella 2.4.

Tabella 2.4. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali di concentrazione acquisite nelle stazioni di misura della torbidità.  $N_{tot}$  è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione. Le concentrazioni sono espresse in mg/l.

	CHP	MAM	MAP
<b>Ntot</b>	10554	/	10689
<b>Media</b>	11.2	/	11.8
<b>Dev. Std.</b>	16.7	/	11.0
<b>Max.</b>	206.9	/	141.7
<b>Min.</b>	1.8	/	3.7
<b>25° percentile</b>	4.1	/	6.6
<b>50° percentile</b>	6.8	/	9.0
<b>75° percentile</b>	10.6	/	12.5
<b>95° percentile</b>	33.8	/	26.8

Valori medi, massimi e minimi di torbidità, deviazione standard

Dalla Tabella 2.4 risulta che le due stazioni presentano circa lo stesso valore medio di concentrazione, attorno a 11-12 mg/l.

Per quanto riguarda i valori massimi di entrambe le stazioni (CHP 206.9 mg/l e MAP 141.7 mg/l) si può notare che si verificano in corrispondenza dell'evento meteo del 2 Marzo.

I periodi in cui non si sono verificati eventi meteo marini sono stati caratterizzati da acque molto limpide; infatti i valori minimi di torbidità sono scesi fino a 1.8 mg/l (CHP) e 3.7mg/l (MAP). Valori così bassi sono anche un indice del perdurare di condizioni di pulizia ottimale della finestra ottica del sensore di torbidità.

Percentili

I valori del 25° percentile rappresentano convenzionalmente le condizioni di assenza di perturbazioni, cioè assenza di moto ondoso e velocità della corrente di marea inferiore a qualche cm/s. È interessante osservare come le stazioni presentano valori simili (4.1 mg/l a CHP e 6.6 mg/l a MAP).

Il 50° percentile coincide con il valore mediano e quindi rappresenta le condizioni più probabili. È evidente anche in questo caso la similitudine tra i valori delle due stazioni (rispettivamente CHP con 6.8 mg/l e MAP con 9.0 mg/l).

I valori del 75° percentile si possono considerare, invece, come indicatori dei valori di torbidità relativamente elevati dovuti ad un'eccessiva presenza di carico organico, come nei mesi estivi, o a eventi meteo marini di moderata intensità. Anche in questo caso i valori delle sue stazioni sono confrontabili (10.6 mg/l per CHP e 12.5 mg/l per MAP).

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

Infine, la distribuzione del 95° percentile è rappresentativa dei valori estremi legati al verificarsi di eventi meteomarinari intensi, che possono provocare un apprezzabile innalzamento della concentrazione del materiale solido sospeso in laguna, nonché un aumento del trasporto di sedimenti lungo costa con aumenti del carico rilevabili anche nei giorni successivi all'evento. A differenza degli altri percentili, in questo caso CHP ha un valore più elevato (33.8 mg/l) di MAP (27.0 mg/l). Ciò potrebbe voler significare che in questo quadrimestre la stazione di Chioggia ha risentito maggiormente degli eventi più intensi legati alla bora (infatti anche il valore massimo è più elevato in questa stazione).

## 2.2 Analisi dei picchi di torbidità

In condizioni generali, i superamenti del limite di 30 mg/l sono legati a numerose e differenti cause, valide solamente per alcune stazioni e per particolari tipologie e durate di eventi:

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

Nella Tabella 2.5 si riporta per ogni stazione il numero totale di superamenti della 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) rilevati nel periodo Gennaio-Aprile 2011 e si individuano quelli dovuti o meno al vento.

Tabella 2.5. Analisi dei picchi di torbidità durante il periodo Gennaio-Aprile 2011. Si considera che i torbidimetri forniscono 1 dato ogni 15 minuti; il singolo dato viene calcolato come media delle 5 acquisizioni, effettuate una al minuto, all'inizio dell'intervallo temporale di 15 minuti.

Stazione	CHP	MAM	MAP
Numero condizioni eccezionali con C>30 mg/l	594	/	469
Numero di eventi CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento	571	/	469
Numero di eventi la cui causa non è legata alla risospensione da vento	23	/	0

Dalla Tabella 2.5 è evidente che nel periodo Gennaio-Aprile 2011 quasi tutti i superamenti sono dovuti al vento fatta eccezione per la stazione CHP dove è presente un picco di concentrazione non in corrispondenza ad un evento meteo.

Di seguito viene proposta, per ogni stazione, l'analisi dei picchi di torbidità in relazione alla sola velocità del vento mettendo in evidenza gli eventi meteomarinari che hanno influenzato

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

maggiormente le concentrazioni in modo peraltro non uniforme in tutta la rete (si veda anche la Tabella 2.3).

- Il periodo 19-23 Gennaio è stato caratterizzato da vento di bora con velocità variabile tra 10 e 19 m/s che hanno causato, in entrambe le stazioni, un evidentemente aumento di concentrazione, con un massimo di 87 mg/l in MAP e 150 mg/l in CHP.
- In entrambe le stazioni si nota un aumento di concentrazione e la presenza di alcuni picchi sia il giorno 28 Gennaio alle ore 12.30 circa con vento di bora che arriva a 14.6 ms (60,12 mg/l in CHP e 22.6 mg/l in MAP) che il giorno 29 Gennaio alle ore 18 circa (36.05 mg/l in CHP e 23.61 mg/l in MAP) sempre con vento di bora ma con velocità inferiore ai 10 m/s. Visto il comportamento analogo e contemporaneo in entrambe le stazioni, si può escludere una causa diversa dal meteo e si può supporre che si tratti di un effetto della risospensione causata dall'evento dei giorni precedenti.
- Dal 16 Febbraio al 28 Febbraio il vento supera spesso la velocità di 10 m/s, causando in entrambe le stazioni un aumento graduale di concentrazione (che però non supera i 30 mg/l).
- Dal 28 Febbraio al 3 Marzo sono presenti numerosi picchi in entrambe le stazioni (valori di torbidità tra i 40 e 140 mg/l a MAP e tra i 70 e 206 mg/l a CHP) dovuti all'evento meteo di lunga durata in cui il vento di bora arriva fino a 24 m/s.
- Nei giorni 19-20 Marzo la velocità del vento supera i 10 m/s causando un leggero aumento della linea di base della concentrazione nella stazione MAP e, anche se sono presenti numerosi picchi, non si raggiunge il superamento della soglia. Per quanto riguarda invece la stazione CHP si evidenzia la presenza di un picco di 42 mg/l il giorno 20 Marzo.
- Il giorno 28 Marzo nella stazione CHP è evidente un aumento di concentrazione ed alcuni picchi, il massimo dei quali arriva a 49.62 mg/l. Non essendo presente un evento meteo questo potrebbe essere dovuto ad una risospensione causata dal passaggio di imbarcazioni oppure ad una residua influenza del fouling anche dopo il trattamento dei dati; si esclude infatti che sia dovuto alle attività di scavo in quanto dalle indicazioni della Direzione Lavori emerge che non sono state effettuate lavorazioni in quel giorno.
- Nei giorni 12-13 Aprile, dalle 19.45 alle 1.00, si ha una velocità del vento di 11÷ 21.4 m/s che causa nella stazione MAP un leggero aumento nella linea di base e la presenza di alcuni picchi di concentrazione di 18-22 mg/l. Nella stazione CHP invece il giorno 12 Aprile, in seguito ad una velocità del vento di bora di 21.4 m/s, si evidenzia un picco di concentrazione di 51.89 mg/l.

Da questa analisi risulta che i picchi di concentrazione rilevati alla stazione CHP sono maggiori rispetto ai valori misurati nella stazione MAP e che quindi la stazione di Chioggia ha risentito maggiormente del vento intenso di bora. Questo comportamento potrebbe essere dovuto a diverse cause: a Malamocco ci potrebbe essere una minore risospensione dovuta sia alla presenza di fanerogame sia alla maggiore profondità del fondale. Si può anche supporre che la vicinanza della foce del fiume Adige abbia un'influenza sulla concentrazione misurata nella stazione di Chioggia; questa ipotesi verrà analizzata sulla base dei risultati dell'intero anno di misure nel Rapporto Finale.

### **2.3 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

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

cantiere nel periodo di misura non presenta 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.

Per quanto riguarda il periodo di tempo analizzato in questo Rapporto, come descritto nel paragrafo 2.2, non è stato riscontrato nessun superamento della soglia di torbidità dovuto alle attività di scavo; il picco rilevato il giorno 28 Marzo nella stazione CHP infatti, si esclude sia dovuto alle attività di scavo in quanto dalle indicazioni della Direzione Lavori emerge che non sono state effettuate lavorazioni in quel giorno.

Per il periodo corrispondente all'intervallo Gennaio-Aprile 2011 sono state rese disponibili dalla Direzione Lavori alcune informazioni relative alle attività di dragaggio, che vengono riportate nella Tabella 2.6, quali periodo dell'attività, effettivi giorni di scavo e i volumi scavati.

Tabella 2.6. Localizzazione attività di dragaggio, denominazione dell'opera, inizio e fine del periodo di lavoro, giornate effettive di scavo e metri cubi, secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

	OP	Periodo	Giorni scavo	m <sup>3</sup>
<b>Bocca di Chioggia</b>	OP/358-1B	dal 31/01/11 al 31/03/11	5	4.000
	OP/443-4	dal 4/2/11 al 31/03/11	11	13.600

#### 2.4 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 1.1.

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).

### 3. BIBLIOGRAFIA

- 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.
- 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.6.72 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
- 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", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2009. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/5 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2010. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.78/I - Attività di monitoraggio alle bocche di porto: controllo delle comunità biologiche lagunari e marine", Discipinare Tecnico 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.

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

- 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.