



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
BOCCE LAGUNARI**

Contratto prot.n. 18121 si/gce/fbe

Documento **MATRICE: ACQUA**

**MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA
TORBIDITÀ IN CONTINUO**

III RAPPORTO DI VALUTAZIONE

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA GENNAIO AD
APRILE 2009**

Versione **1.0**

Emissione **15 Maggio 2009**

Redazione

Dott.ssa Caterina Dabalà
(CORILA)

Verifica

Dott. Luca Zaggia
(ISMAR-CNR)

Verifica

Prof. Giampaolo Di Silvio

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

1. INTRODUZIONE E METODOLOGIA.....	3
1.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.....	4
1.2 Strumentazione per la misura della torbidità.....	9
1.3 Descrizione dell'attività di gestione della rete di stazioni fisse.....	10
1.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati.....	15
1.4.1 Procedura per la filtrazione dei picchi istantanei.....	16
1.4.2 Correzione per il fouling	16
1.5 Calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM.....	16
2. ANALISI DEI DATI.....	18
2.1 Serie temporali della torbidità/SPM.....	24
2.2 Analisi dei picchi di torbidità.....	42
2.3 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche.....	44
2.4 Struttura dell'archivio dei dati.....	44
3. BIBLIOGRAFIA.....	45

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

F. Costa (ISMAR - CNR, Venezia)

C. Dabalà (CORILA)

G. Di Silvio (IMAGE - UNIPD)

R. Fiorin (LagunaProject)

G. Lorenzetti (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 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 in 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/4, come i precedenti, prevede specifiche attività per la misura della concentrazione e del flusso di particolato 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 particolato sospeso in condizioni naturali, cioè in assenza di dragaggio.

Nel primo caso 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 secondo caso 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 e del moto ondoso in laguna e in mare.

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 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*).

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 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. A causa di queste variabilità una singola correlazione fra torbidità e SPM non può essere applicata a qualsiasi ambito ma 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.

Le modalità di calibrazione per la conversione dei valori di torbidità (in FTU) misurati dalla strumentazione impiegata nel monitoraggio in valori della concentrazione di SPM (in mg/l) sono descritte in maniera più dettagliata in una specifica sezione riportata nel seguito.

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 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 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.

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 quarto anno di monitoraggio; esse coincidono con quelle utilizzate nel corso del precedente Studio B.6.72 B/3. Nella Tabella 1.1 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

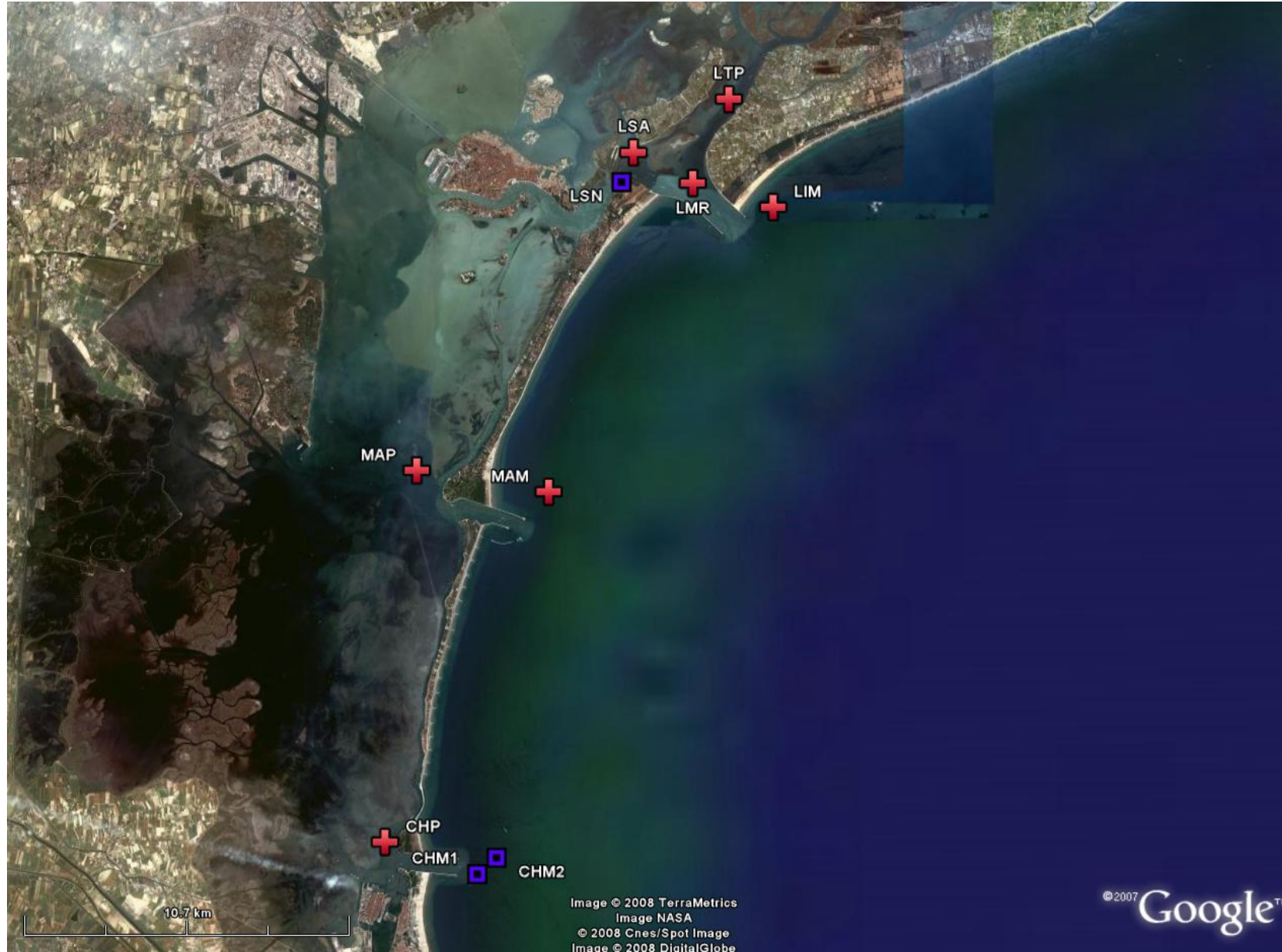


Figura 1.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel 2008-2009.

CORILA

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

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

Sigla Identificativa	Località	Tipo postazione	Ente	Fondale (m)	Coordinate UTM WGS 84	Coordinate Gauss Boaga	Periodo di utilizzo	Data di re-installazione (Studio B.6.72 B/2, B/3 e B/4)
CHM1	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	289952 E 5011996 N	2311697.67 5011917.71	Studio B.6.72 B/1	
CHM2	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	0289792 E 5012068 N	2312244.76 5013024.91	Studio B.6.72 B/1	
CHP	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
LIM	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
LMR	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
LMR-2	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
LSA	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
LSN	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
LTP	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

Sigla Identificativa	Località	Tipo postazione	Ente	Fondale (m)	Coordinate UTM WGS 84	Coordinate Gauss Boaga	Periodo di utilizzo	Data di re- installazione (Studio B.6.72 B/2, B/3 e B/4)
MAM	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
MAP	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 BOCHE 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 1.2). 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 1.3).

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 1.4-5).



Figura 1.2. Stazione LSA.



Figura 1.3. Stazione LMR.



Figura 1.4. Stazione MAM.

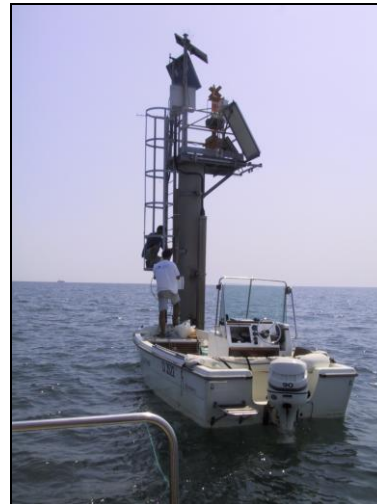


Figura 1.5. Stazione LIM.

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. Il sensore scelto è controllato da un microprocessore, che imposta automaticamente l'intervallo di misura e la risoluzione più appropriati alle caratteristiche delle acque in cui opera. Questa opzione è stata, tuttavia, disattivata a causa della presenza di un problema nel *firmware*, responsabile del malfunzionamento dello strumento e della registrazione di valori inattendibili. Dopo un breve periodo di test della strumentazione, in cui è stato riscontrato questo problema, si è, quindi, deciso di impostare per quasi tutti gli strumenti un intervallo di misura compreso fra 0 e 125 FTU. Questa scelta è stata peraltro giustificata dalla necessità di mantenere una sufficiente precisione nella descrizione dell'andamento della variabile nelle condizioni più frequentemente incontrate nelle bocche di porto, dove le concentrazioni tipicamente misurate sono dell'ordine di 10 mg/l o inferiori. Sulla base dell'esperienza ormai decennale nella calibrazione di questo tipo di sensori, in laguna e nei canali del centro storico, i valori attesi per le letture della variabile in FTU ricadrebbero infatti per la gran parte entro l'intervallo selezionato.

Inoltre, grazie alle esperienze maturate nel corso delle prime campagne di monitoraggio, si è ipotizzato che, data la distanza delle postazioni dalle zone di scavo, la dispersione dei materiali movimentati nell'area di cantiere avrebbe difficilmente dato luogo a sensibili variazioni del valore della concentrazione in corrispondenza delle stazioni scelte. Era, quindi, necessario disporre di una buona sensibilità in modo da poter registrare le minime variazioni attese in corrispondenza delle stazioni di misura. La scelta operata ha comportato la perdita dei valori estremi in corrispondenza degli eventi meteomarinari intensi, come quelli che si sono verificati nel periodo Novembre 2005 - Gennaio 2006, per i quali, tuttavia, erano disponibili i dati di *backscattering* acustico acquisiti dall'ADCP fisso al fondo della bocca di Porto di Lido (come riferimento per la concentrazione entro le bocche di porto), e della stazione CHM (come riferimento per la concentrazione a mare), il cui sensore è stato programmato per registrare la torbidità nell'intervallo di misura 0-500 FTU.

Nella Tabella 1.2 e 1.4 sono riassunte le caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati in 7 delle stazioni fisse.

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.

Nella stazione LMR è stata, invece, installata una sonda correntometrica InterOcean S4 [InterOcean Systems Inc., June 1995], che consente di misurare la velocità e la direzione della corrente, la temperatura, la conducibilità dell'acqua e la torbidità grazie alla presenza di un sensore OBS. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella Tabella 1.3.

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

Tabella 1.3. Caratteristiche dei sensori montati sul correntometro S4.

Sensore	Intervallo di misura	Accuratezza	Risoluzione
Velocità	0 - 350 cm/s	2%	0.03 - 0.35 cm/s
Direzione	0 - 360 °	± 2 °	0.5 °
Profondità	0 - 70 m	± 0.15 % f.s.	4 mm
Temperatura	-5 +45 °C	± 0.2 °C	0.05 °C
Conducibilità	0-70 mS/cm	± 0.2 mS/cm	0.1 mS/cm
Torbidità	0 - 100 FTU		

Tabella 1.4. Caratteristiche dei sensori montati sulla sonda HYDROLAB DS5 CTD-T.

Sensore	Intervallo di misura	Accuratezza	Sensibilità
Pressione	0 - 25 m	±0.05 m	0.01 m
Temperatura	-3 - +50 °C	±0.01 °C	0.01 °C
Conducibilità	0 - 100 mS/cm	±0.001 mS/cm	0.0001 mS/cm
Torbidimetro Autopulente	0 - 3000 FTU	±1% fino 100 FTU	0.1 FTU
		±3% 100-400 FTU	0.1 FTU
		±5% 400-3000 FTU	1.0 FTU

1.3 Descrizione dell'attività di gestione della rete di stazioni fisse

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.

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. 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.

Anche nel quadrimestre gennaio-aprile 2008, seppure con meno urgenza dei mesi precedenti, sono state quindi più volte sostituite parti meccaniche, guarnizioni, connettori e 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.

A ciò si aggiunge che il giorno 2 gennaio 2009 la sonda LSA è stata trovata sganciata dal supporto e adagiata sul fondo in seguito alla caduta (Fig. 1.6); 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 (Fig. 1.7) 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

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

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 1.6. Operazioni di recupero della sonda LSA (2 gennaio 2009).



Figura 1.7. Immagine della postazione LMR-2, così come rinvenuta il 31 maggio 2008.

Il grafico 1.8 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 nell'ultimo quadrimestre, grazie anche alle operazioni di manutenzione straordinaria dei mesi precedenti, le percentuali di dati validi sono estremamente positive (Fig. 1.9), l'efficienza della rete è ulteriormente diminuita dall'inizio del monitoraggio (Fig. 1.8).

Ad oggi l'efficienza della rete è assicurata al prezzo di continue e costose manutenzioni. Si ricorda che in letteratura una rete è considerata efficiente se la percentuale dei dati validi è superiore a 80%.

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

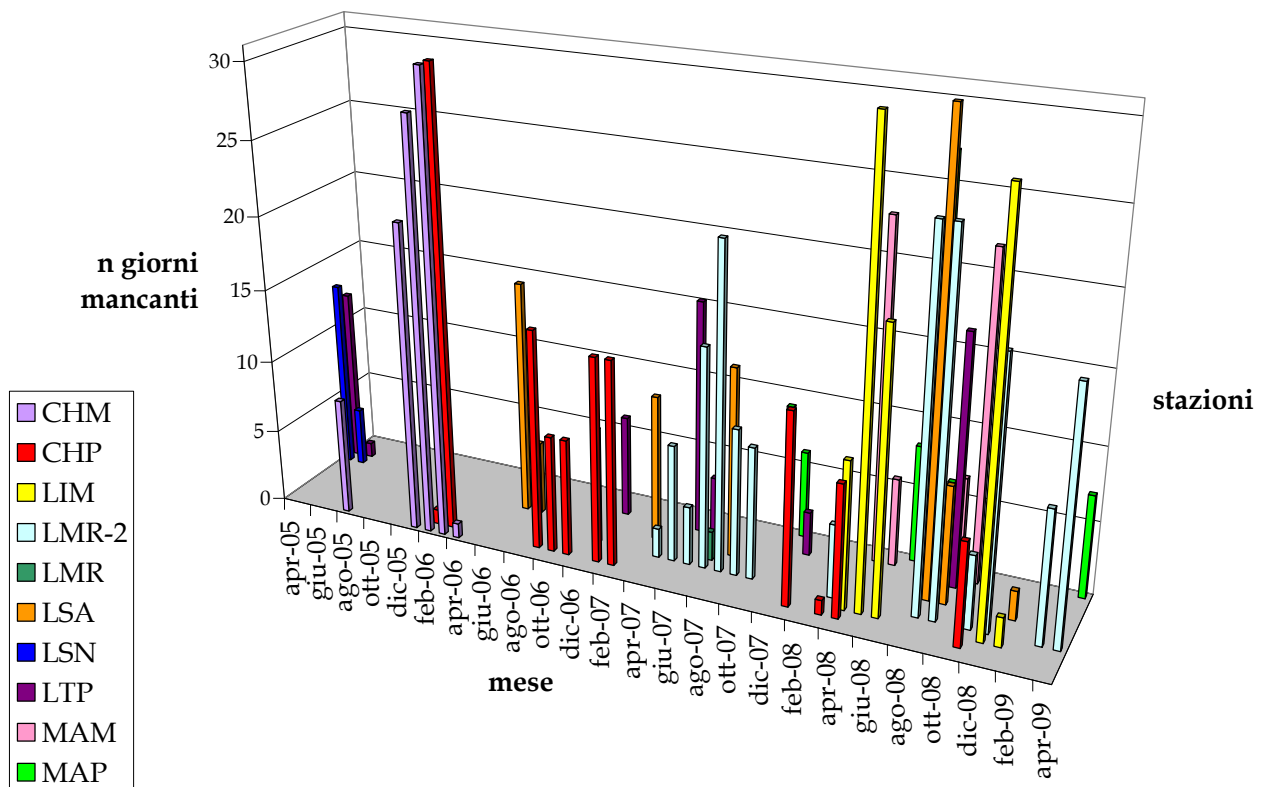
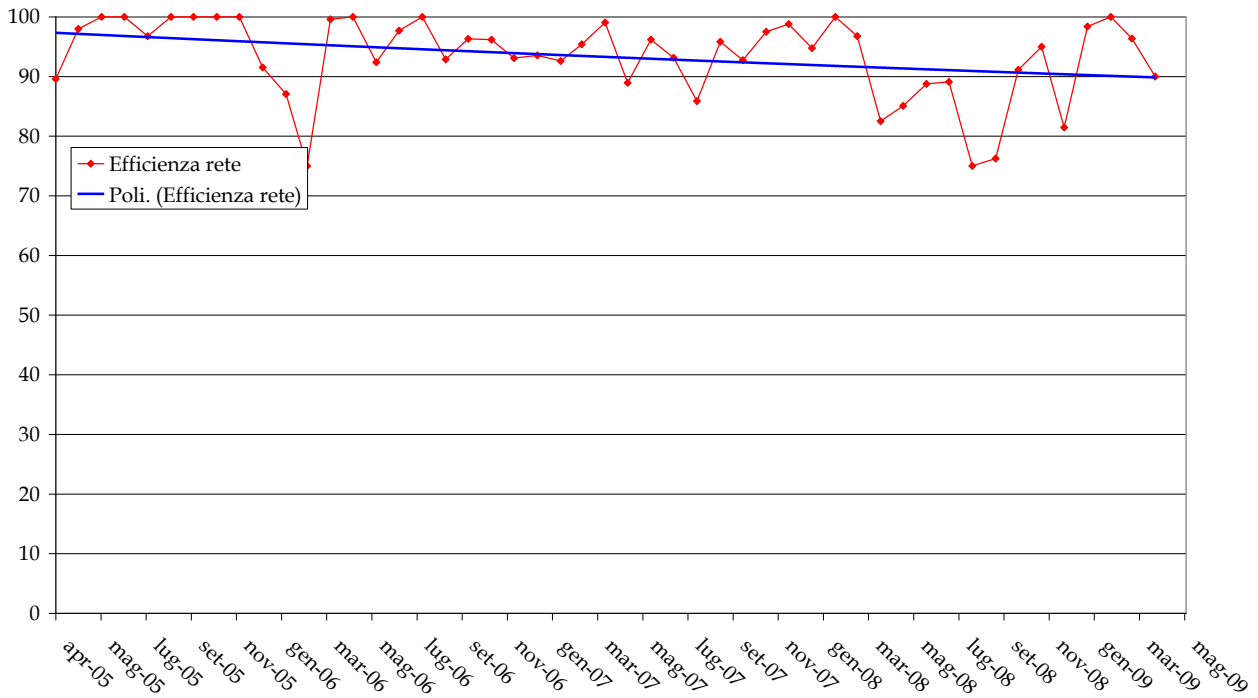


Figura 1.8. Rappresentazione dell'andamento dell'efficienza della rete dei torbidimetri, attiva da aprile 2005, espressa come percentuale di dati acquisiti (grafico in alto) e come numero di giorni persi (istogramma in basso).

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

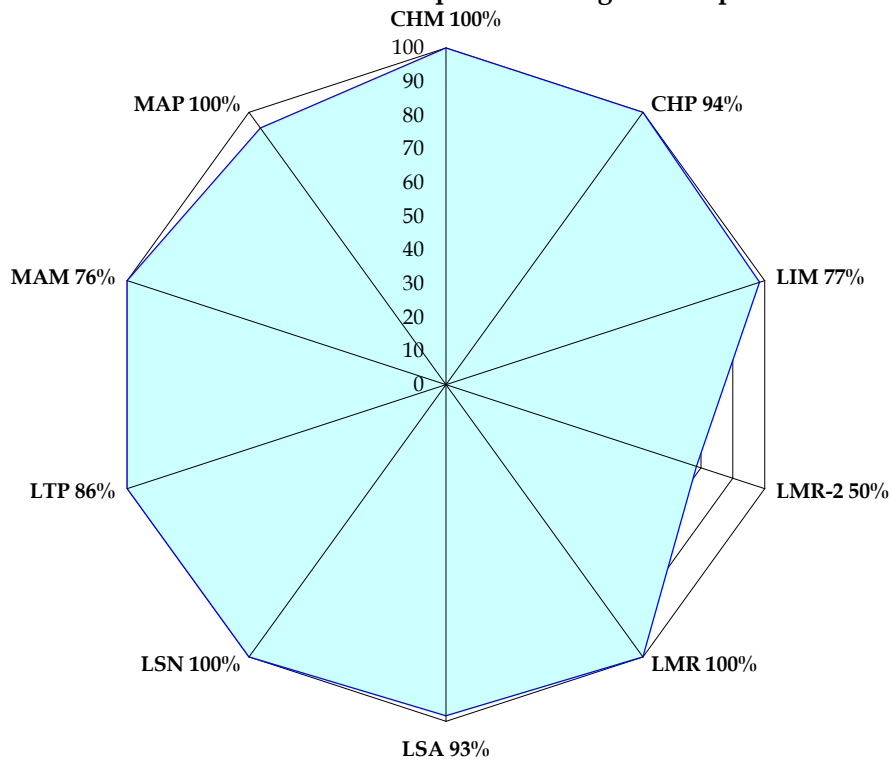


Figura 1.9. Efficienza della rete dei torbidimetri nel quadrimestre gennaio-aprile 2009.

Per quanto riguarda le operazioni di pulizia, svolte con la consueta cadenza settimanale, è stata effettuata una serie accurata di operazioni in campo che prevedono il recupero della sonda a bordo di un'imbarcazione, la pulizia dei sensori (con particolare riguardo ai sensori di conducibilità e torbidità, Fig. 1.10) ed il prelievo di campioni d'acqua alla quota di posizionamento del sensore OBS.



Figura 1.10. Operazioni di pulizia di una sonda multiparametrica: sonda prima della pulizia (a sin.) e dopo (a dx.) (6 marzo 2009).

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

Giacché 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 convertire il dato rilevato in valori di concentrazione del particolato solido sospeso (in mg/l). Tale conversione avviene utilizzando le concentrazioni determinate nei campioni d'acqua appositamente prelevati in occasione degli interventi di manutenzione.

Il prelievo dei campioni d'acqua viene effettuato per mezzo di una "bottiglia a sifone" da 1000 cc, alla quota di posizionamento del sensore OBS di ciascuna sonda ed in corrispondenza dell'intervallo di misura dello strumento, pari a 5 minuti.

Le determinazioni dei solidi sospesi vengono eseguite in laboratorio utilizzando la metodica IRSA (Quaderno 100/2050/94). Tale metodica impiega per la filtrazione membrane in policarbonato (Millipore HTP04700) con porosità di $0.4 \mu\text{m}$ e diametro di 47 mm. Le membrane, attraverso le quali viene filtrato un determinato volume d'acqua (p.e. 200 ml), vengono pesate prima dell'uso, riposte in scatole Petri immediatamente dopo la filtrazione e conservate a $+4^\circ\text{C}$. Successivamente, le membrane vengono essiccate a $+105^\circ\text{C}$ per 12 ore, quindi raffreddate in essiccatore a vuoto ed infine ripesate. La concentrazione di SPM si ottiene come differenza dal peso iniziale della membrana rapportato al volume d'acqua filtrato. Tutte le operazioni di pesatura sono effettuate mediante l'utilizzo di una bilancia analitica.

Nel capitolo 2 sono riportate, per ognuna postazione di misura, le specifiche rette di conversione.

Per le stazioni a mare, caratterizzate tutte da un elevato fondale (10 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, fissata a 1,5 m dal fondo. Nella Figura 1.11 è mostrato uno schema tipico di posizionamento e ancoraggio.

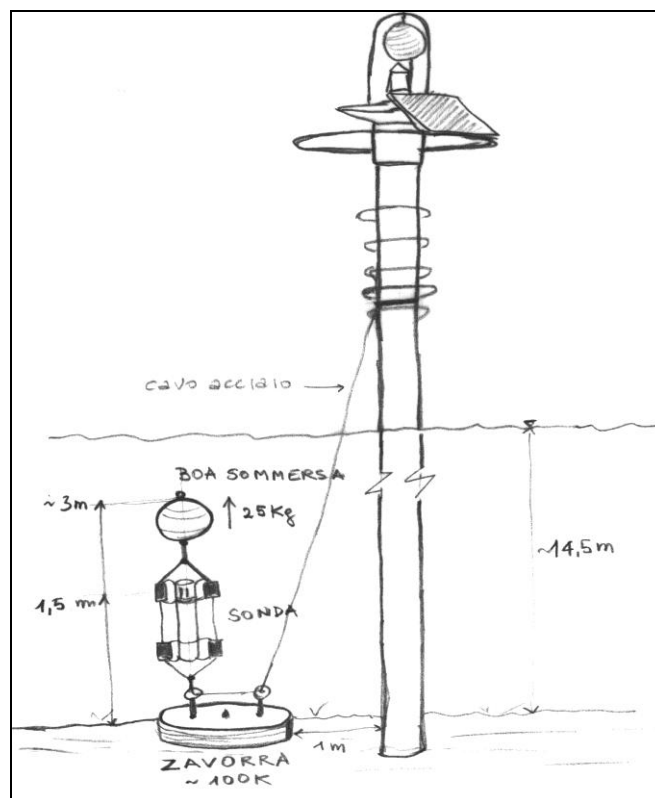


Figura 1.11. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare.

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

Tutte le operazioni in campo sono state registrate dagli operatori, su apposite schede, in occasione di ciascuna operazione di scarico dei dati (Figura 1.12).

RETE PER LA RILEVAZIONE DELLA TORBIDITA' IN CONTINUO						
POSTAZIONE DI MISURA: LMR BOCCA DI LIDO						
FOTO	Postazione	Nome (ID)	Coordinate UTM WGS4	Fondale (m.)		
	MEDA ROSSA	LMR	0297740 E 5033614 N	9		
	Sensore	N. di Serie	Data di installazione	Sensore dal fondo (m)		
	S4	5642458	18 aprile 2005	2		
SCARICAMENTO DATI / CAMPIONAMENTO / MANUTENZIONE						
DATA gg/mm/aa	ORA solare hh:mm	Batteria VDC	CAST di memoria CTD-T	Nome FILE scaricato (es: LMR_ggmmaa)	Manutenzione Sensori	Campione acqua (es: LMR_gg/mm + hh:mm)
					COND []	1)
					TORB []	2)
NOTE					OPERATORE.....	

Figura 1.12. Esempio di scheda di campo riferita alla postazione di misura LMR.

1.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati

La qualità dei dati registrati dagli strumenti per la misura della torbidità in continuo è fortemente condizionata dalle caratteristiche ambientali del corpo idrico nel quale gli stessi strumenti sono posti ad operare. Trattandosi di una misura ottica, qualsiasi ostacolo che si trovi nella regione spaziale investigata dal sensore è, infatti, in grado di produrre perturbazioni significative che sono causa di errori. Questi errori, che molto spesso si traducono nell'impossibilità pratica di utilizzare le informazioni registrate, possono essere indotti dall'accumulo temporaneo di materiale macroscopico (residui di piante acquatiche e macroalghe o breve stazionamento di organismi marini) sui sensori o sull'armatura di protezione degli stessi, oppure dalla crescita progressiva di *fouling* (alghe e organismi incrostanti, Figura 1.13). Normalmente il primo problema si risolve spontaneamente all'inversione della marea, quando la direzione della corrente cambia e il materiale si distacca dall'apparecchiatura. Nel secondo caso, invece, il problema si risolve soltanto dopo un'accurata pulizia dei sensori e del corpo della sonda. Si ricorda, che a partire dal secondo anno di monitoraggio, gli interventi di manutenzione e pulizia delle sonde sono stati intensificati rispetto all'anno precedente e sono stati pianificati settimanalmente.

Nonostante queste precauzioni, in molti casi, specialmente nei periodi più caldi e per le stazioni in cui lo strumento operava 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.

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 singolo dato, 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 sottraendone la polinomiale (generalmente di grado 1 o 2), che meglio descrive l'andamento dei valori della linea di base delle funzione originaria nel tratto interessato dal fenomeno. La procedura comporta effettivamente un certo grado di soggettività, tuttavia l'operazione viene svolta tenendo conto dei valori di controllo costituiti dalla concentrazione nei campioni d'acqua prelevati durante gli interventi di pulizia, corrispondenti alla fine dei tratti caratterizzati dalla deriva. La condizione a cui è soggetta la scelta della funzione correttiva è che quest'ultima restituisca un valore finale prossimo a quello del campione d'acqua prelevato nella stazione di misura.

In altri 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.

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

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 in corrispondenza ai settimanali interventi di manutenzione, effettuati sulla strumentazione impiegata nelle diverse stazioni. 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

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

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 è riportata la percentuale dei dati validati dopo la procedura di filtrazione delle serie temporali su tutto il periodo del monitoraggio gennaio-aprile 2009. 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 2009.

Stazione	Dati validati sul totale del monitoraggio
CHP	89.4
LIM	94.7
LMR-2	80.2
LMR	98.6
LSA	72.6
LTP	96.9
MAM	99.8
MAP	82.8

A differenza dei precedenti quadrimestri, grazie alle operazioni di manutenzione straordinaria degli ultimi mesi del 2008, la percentuale di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri è ritornata a valori sempre superiori a 80%, con la sola eccezione della stazione LSA. La maggior copertura si riscontra per la stazione MAM (99.8%). Le alte percentuali generalmente riscontrate sono dovute ai settimanali interventi di pulizia delle sonde (ad eccezione delle stazioni a mare ove, per motivi operativi, la pulizia è quindicinale) che permettono di ridurre gli episodi di formazione di *fouling* sui sensori, ed in particolare sul sensore ottico per la misura della torbidità, tipici della stagione primaverile.

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

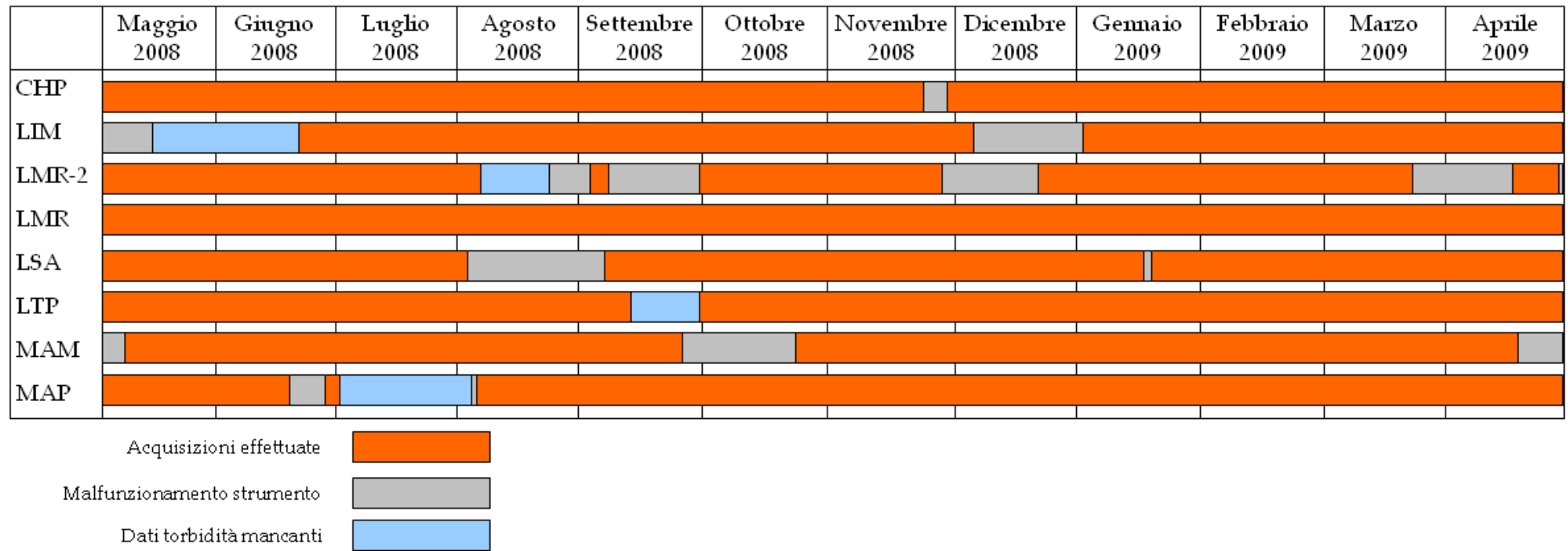


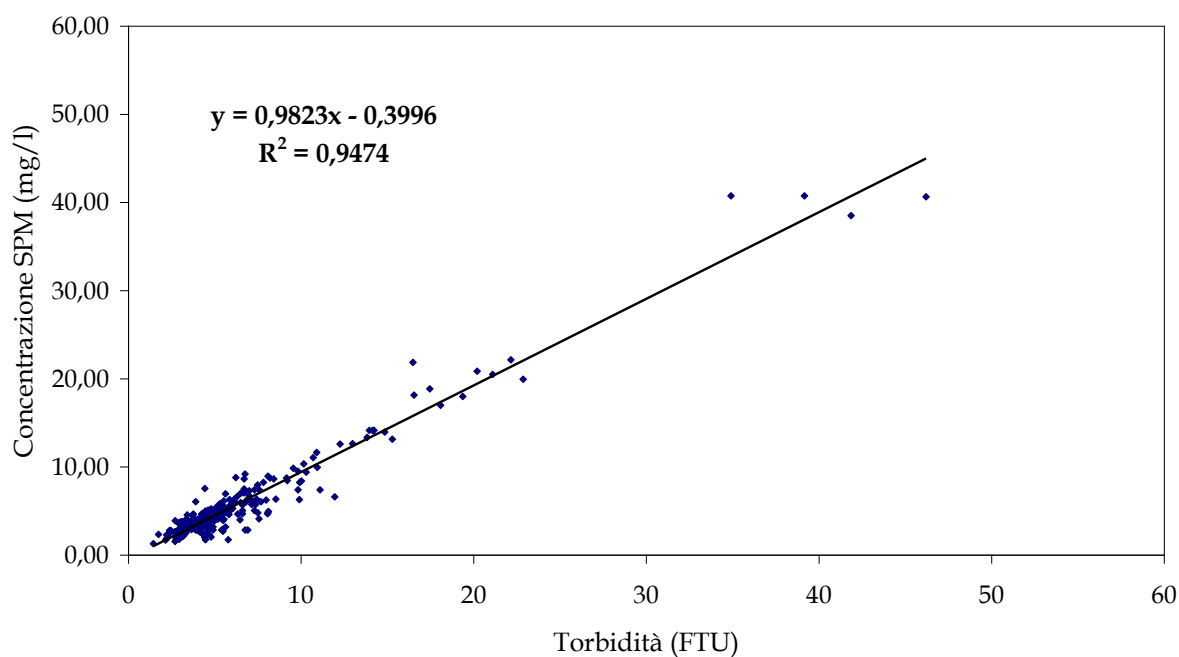
Figura 2.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle otto stazioni oggetto del monitoraggio.

Le relazioni utilizzate per la calibrazione dei dati registrati in ciascuna delle stazioni sono riportate nella Tabella 2.2 e visualizzate nelle Figure 2.2a-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 2.2. Coefficienti retta di calibrazione.

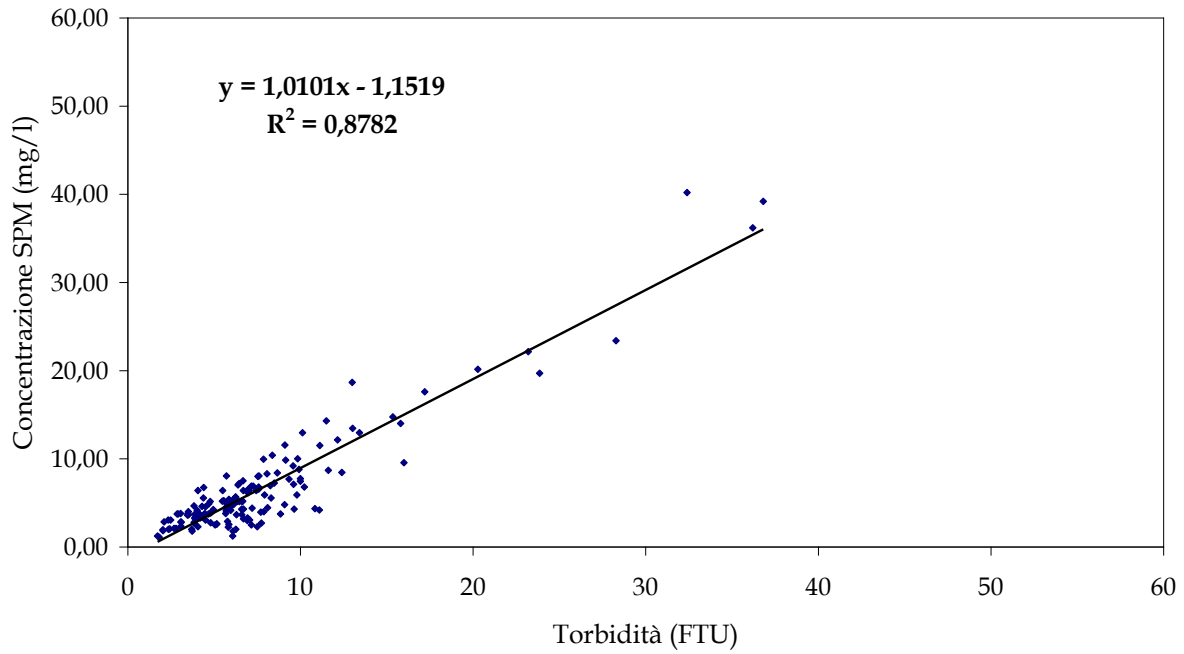
Stazione	Coefficiente retta di calibrazione
CHP	$y = 0,9823x - 0,3996$ $R^2 = 0,9474$
LIM	$y = 1,0101x - 1,1519$ $R^2 = 0,8782$
LMR-2	$y = 0,9353x + 0,0113$ $R^2 = 0,9489$
LMR	$y = 0,9804x + 0,5121$ $R^2 = 0,9414$
LSA	$y = 0,9559x - 0,1098$ $R^2 = 0,9464$
LTP	$y = 1,0568x - 1,1029$ $R^2 = 0,9612$
MAM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

Stazione CHP



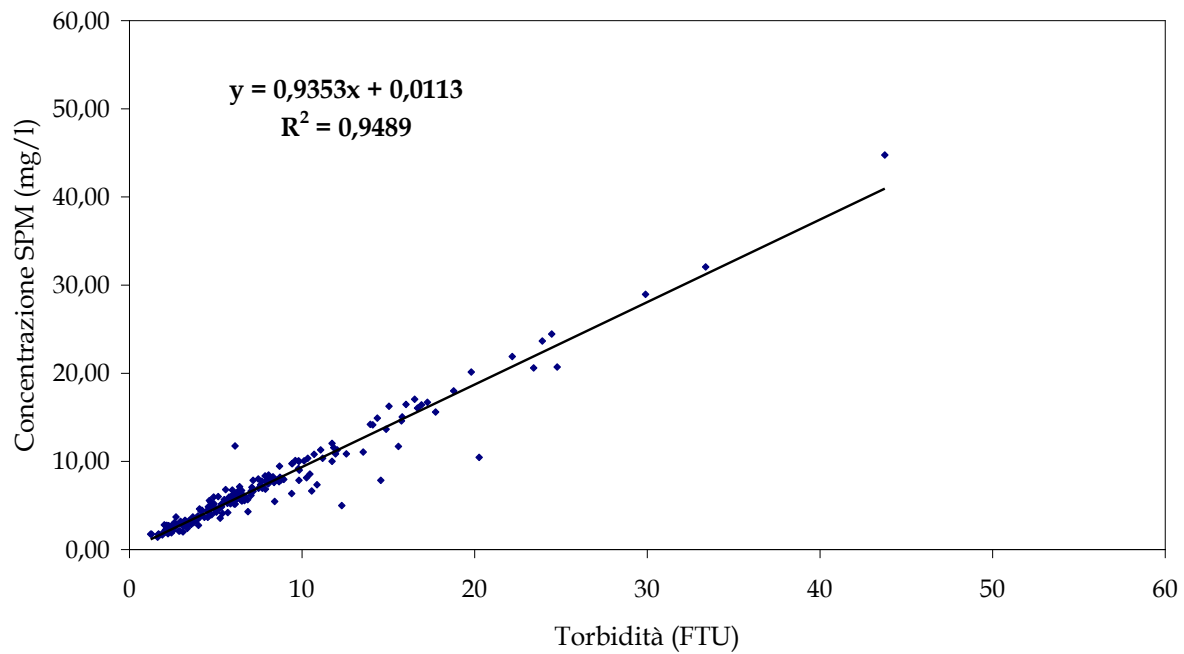
(a)

Stazione LIM



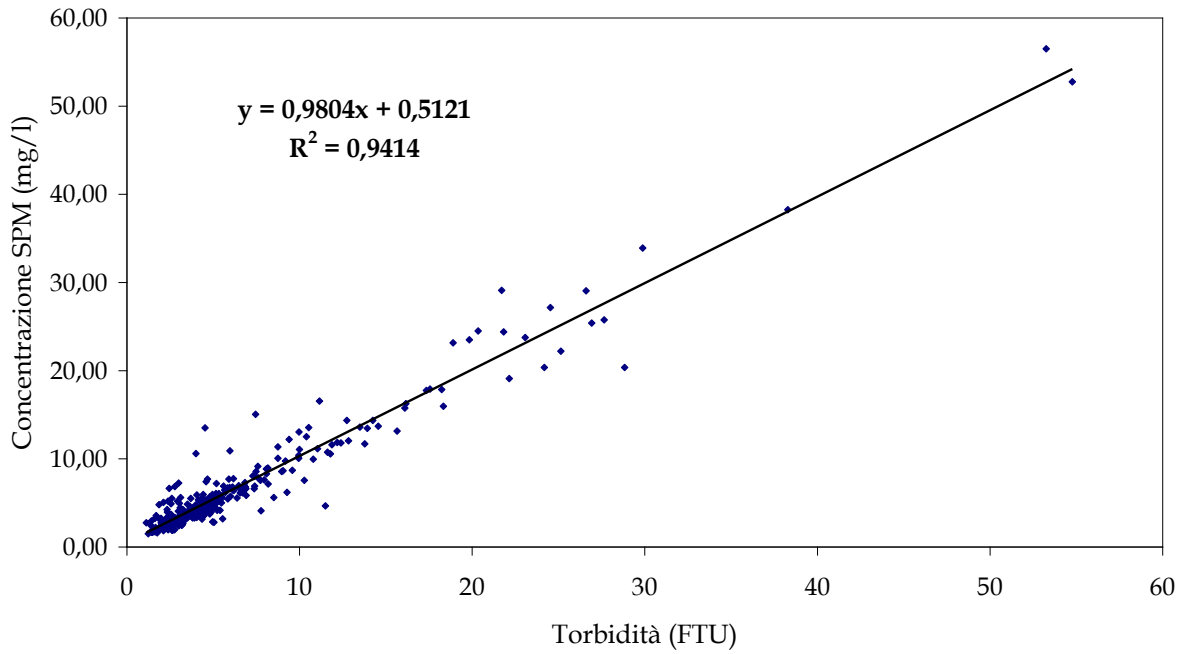
(b)

Stazione LMR-2



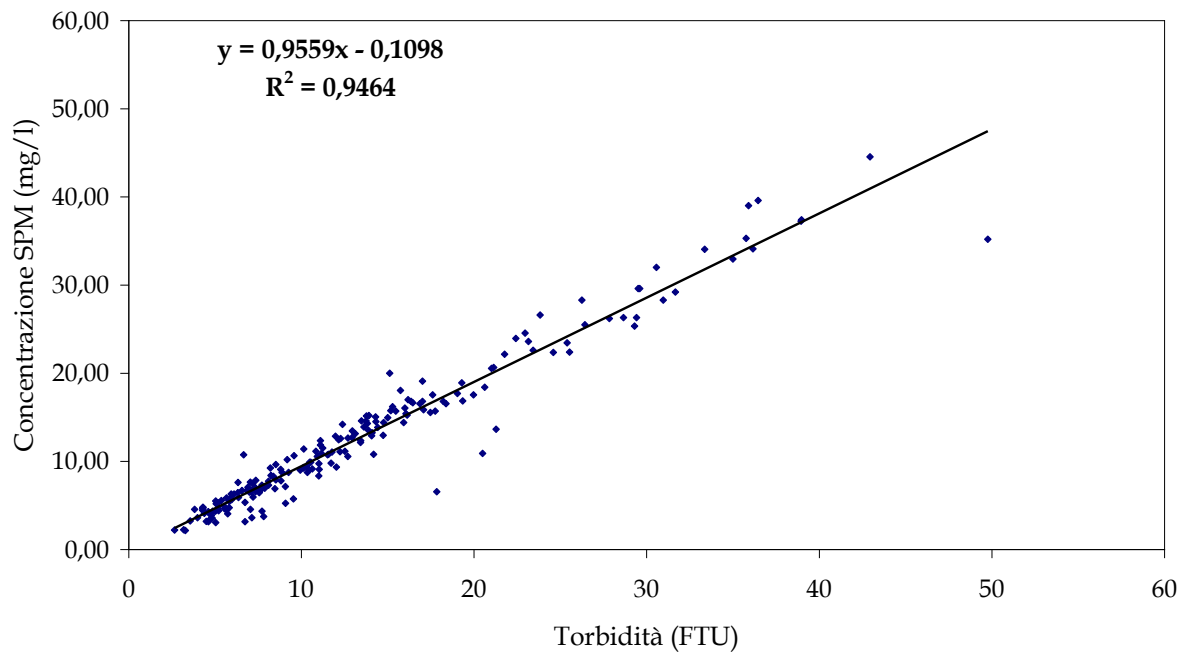
(c)

Stazione LMR



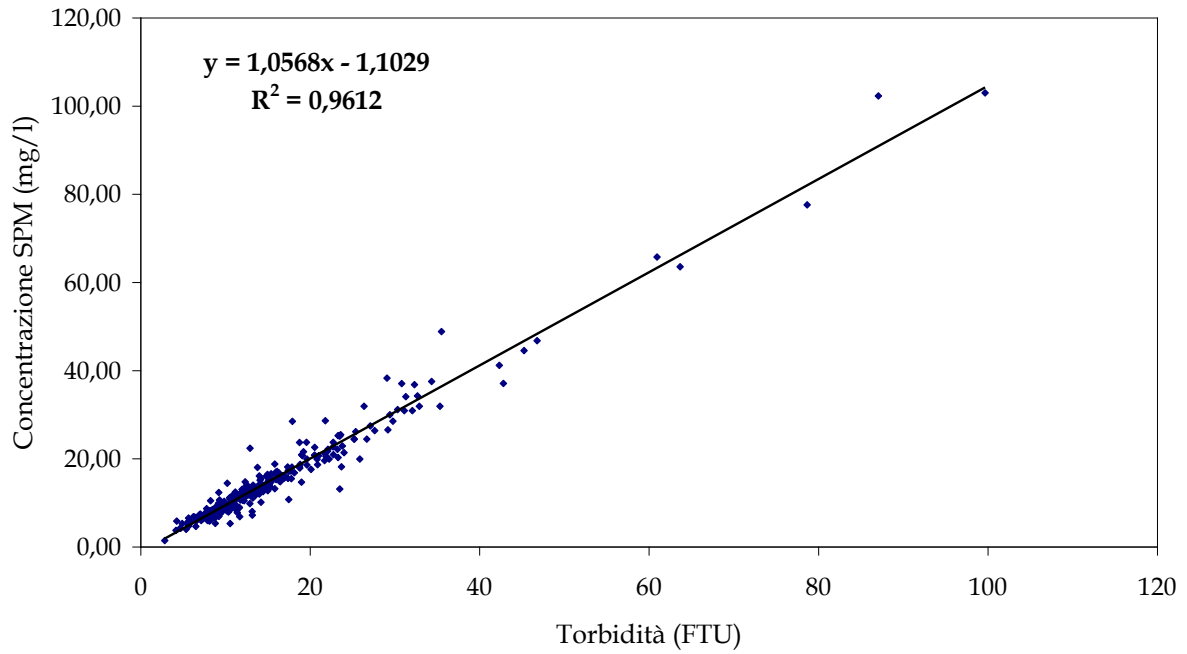
(d)

Stazione LSA



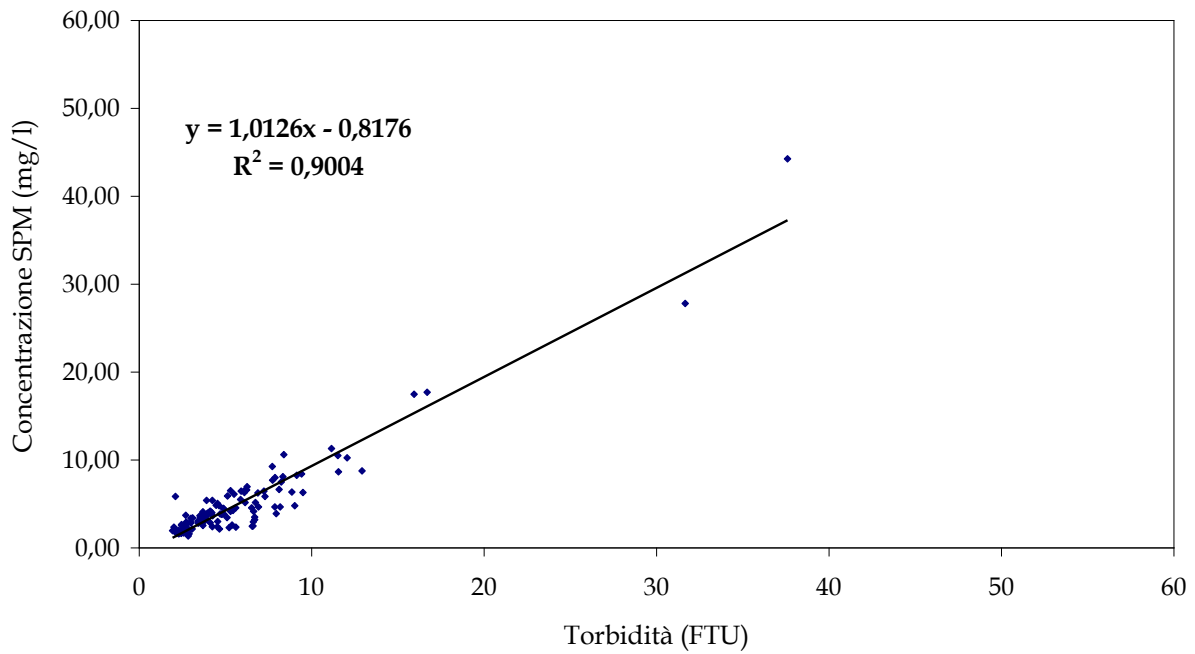
(e)

Stazione LTP



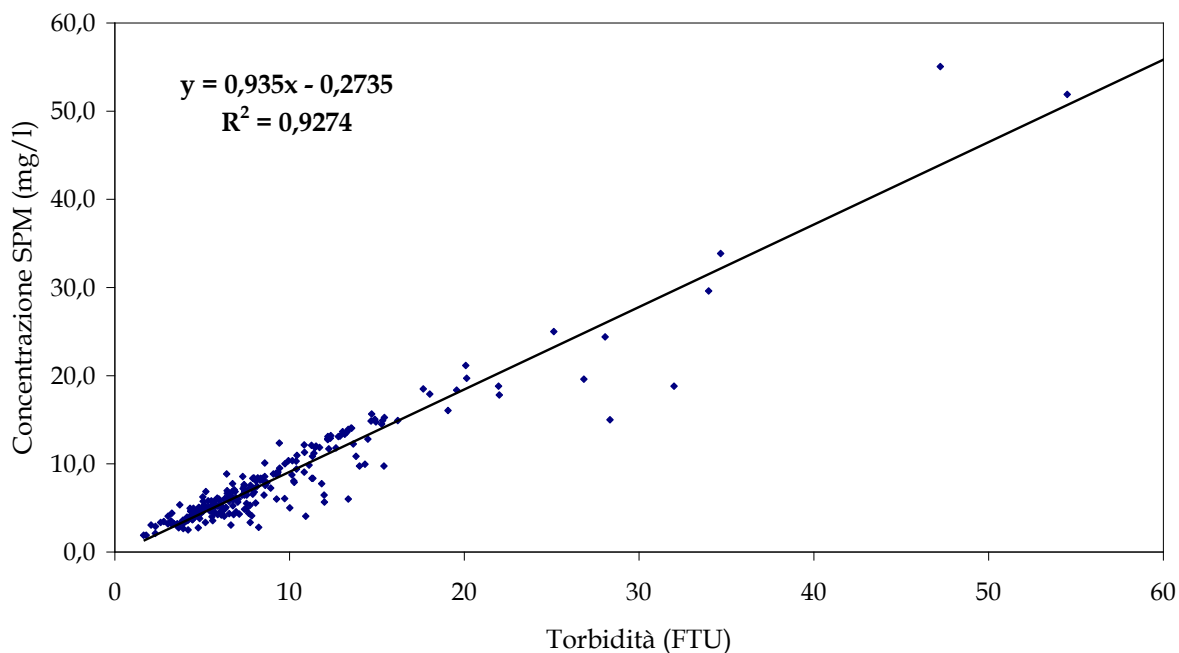
(f)

Stazione MAM



(g)

Stazione MAP



(h)

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 sono state elaborate includendo tutti i valori disponibili, da maggio 2005 fino ad aprile 2009.

2.1 Serie temporali della torbidità/SPM

Le serie temporale del periodo gennaio-aprile 2009 ed i relativi grafici bimestrali della concentrazione del particolato in sospensione, in funzione del livello di marea e del vento, sono inclusi nei files del database allegato al presente Rapporto. Per quanto riguarda gli elaborati grafici vengono presentate due versioni: nella prima 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 l'SPM è rappresentato insieme all'andamento orario della velocità del vento, misurato alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR.

L'intera serie temporale del periodo di osservazione per ciascuna delle stazioni, su scala bimensile, è rappresentata nelle Figure 2.3-2.10 (in alto), insieme all'andamento del livello di marea. L'evoluzione della concentrazione in funzione dell'intensità del vento è, invece, rappresentata nelle Figure 2.3-2.10 (in basso). I risultati dell'elaborazione statistica delle informazioni disponibili per le otto stazioni sono riportati nella Tabella 2.3.

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

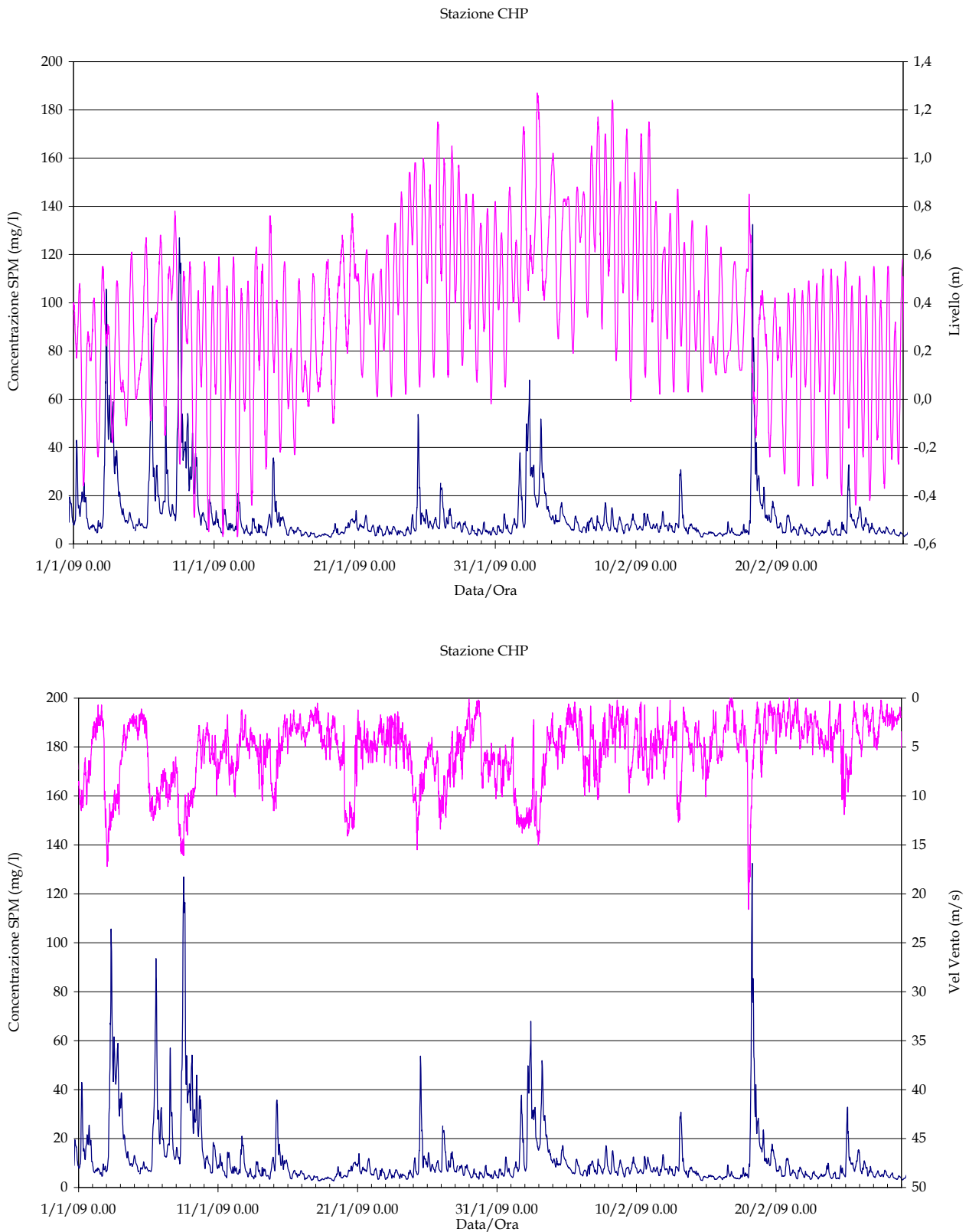


Figura 2.3 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

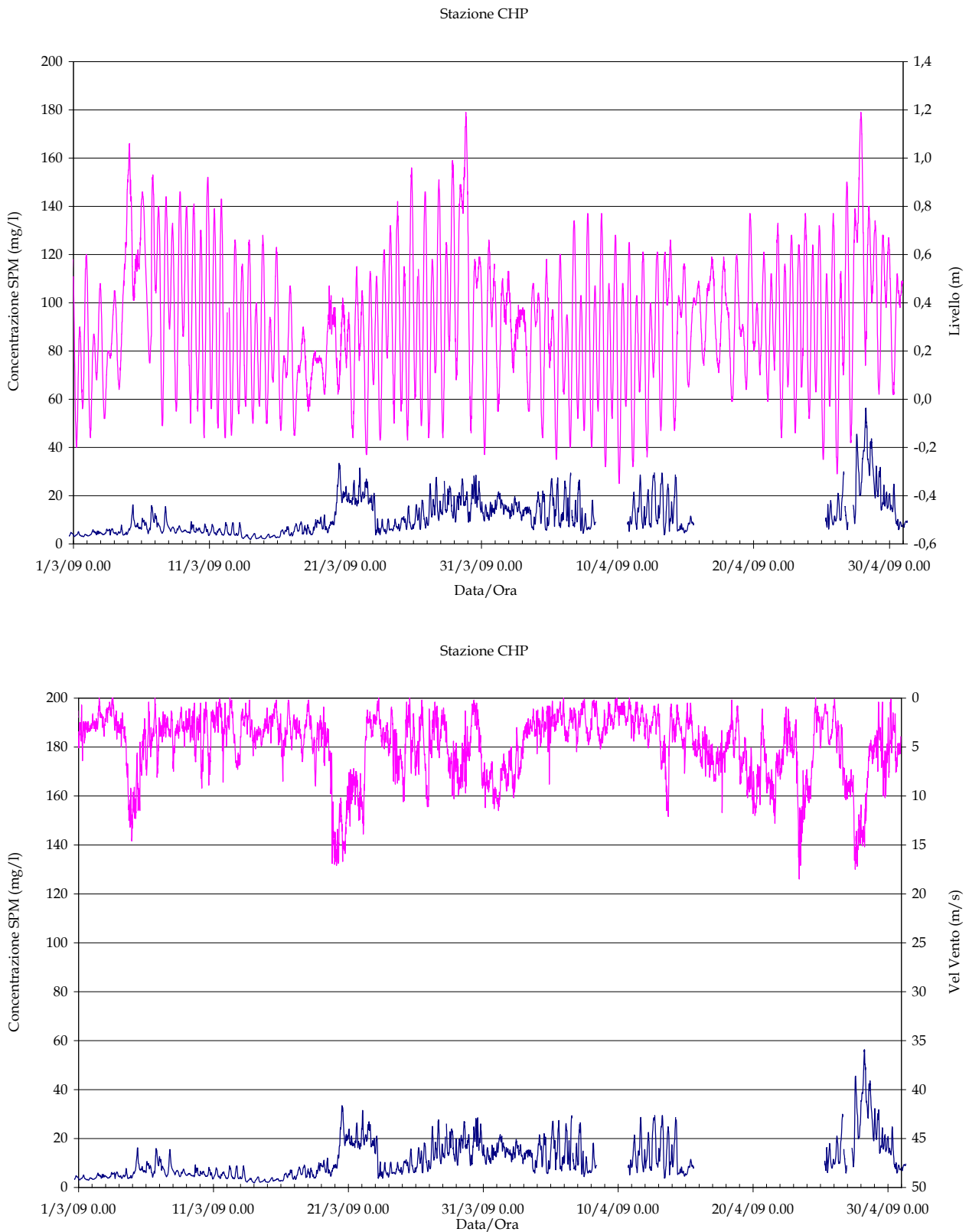


Figura 2.3 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

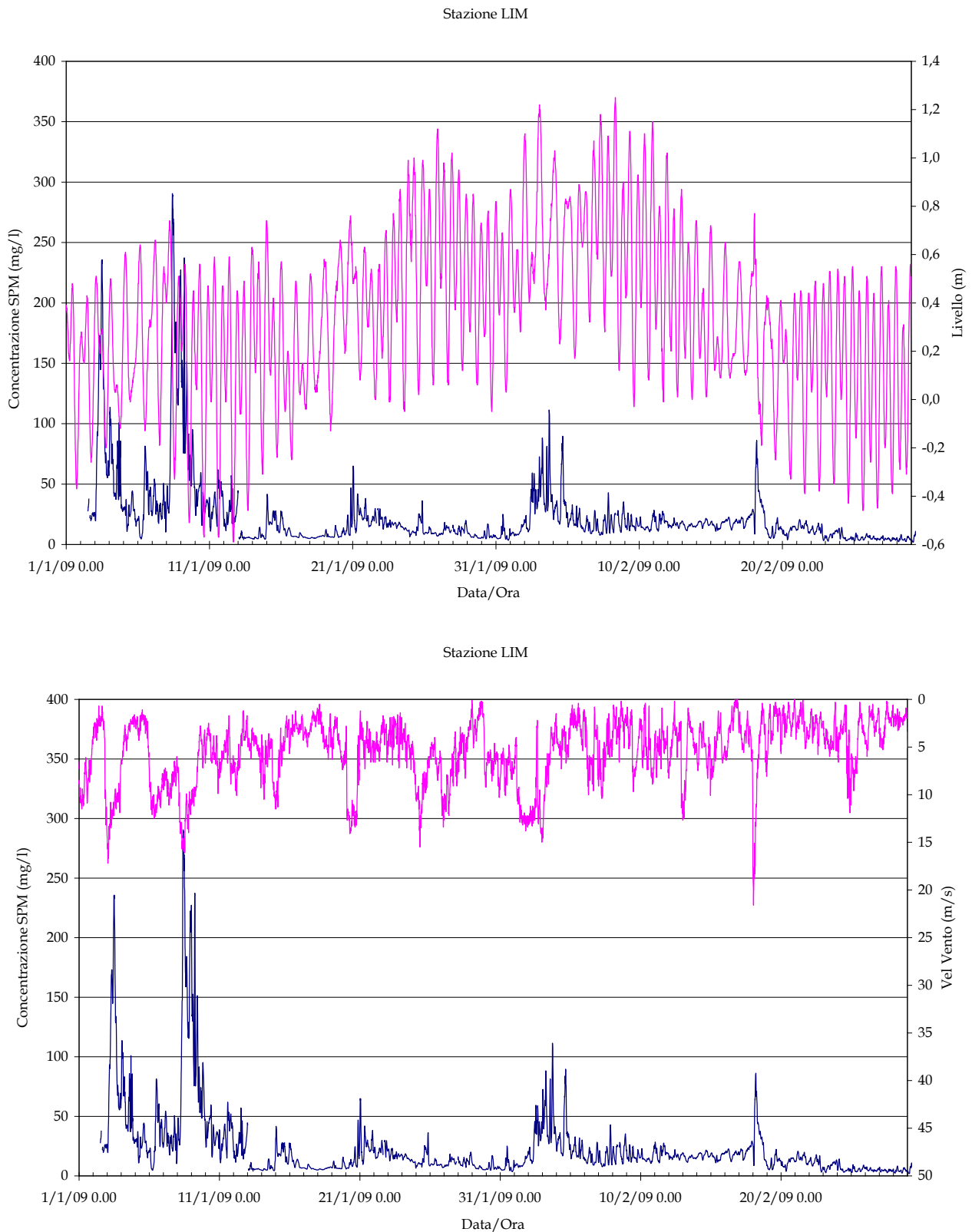


Figura 2.4 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

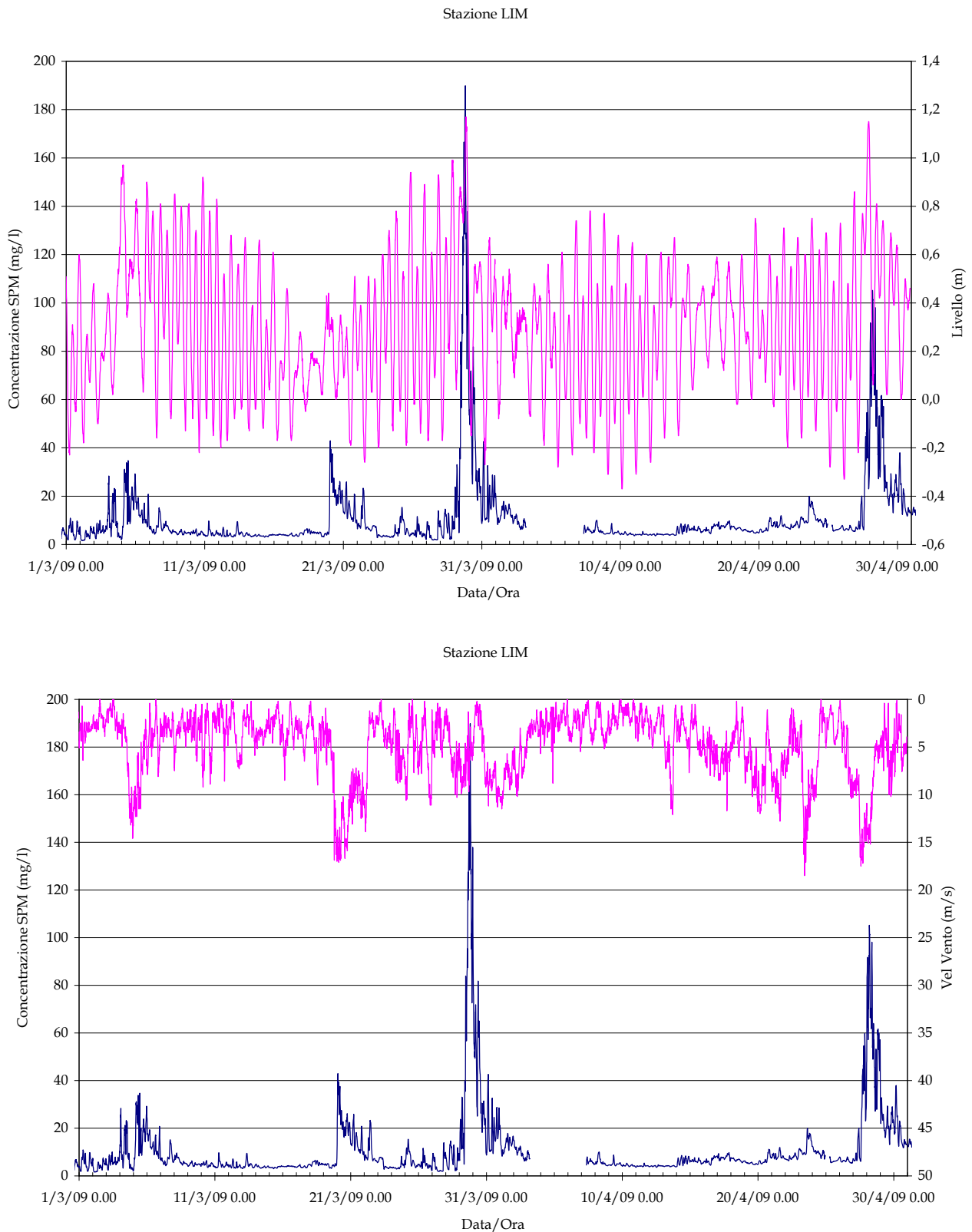


Figura 2.4 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

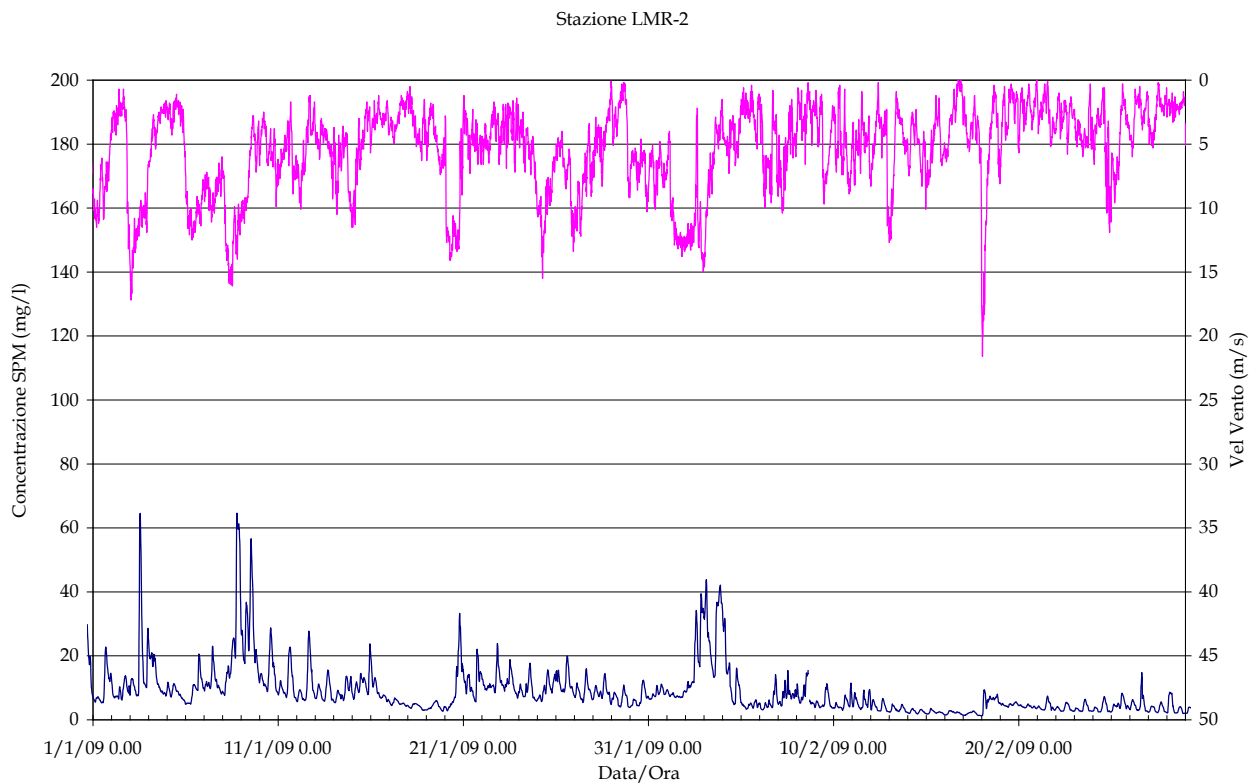
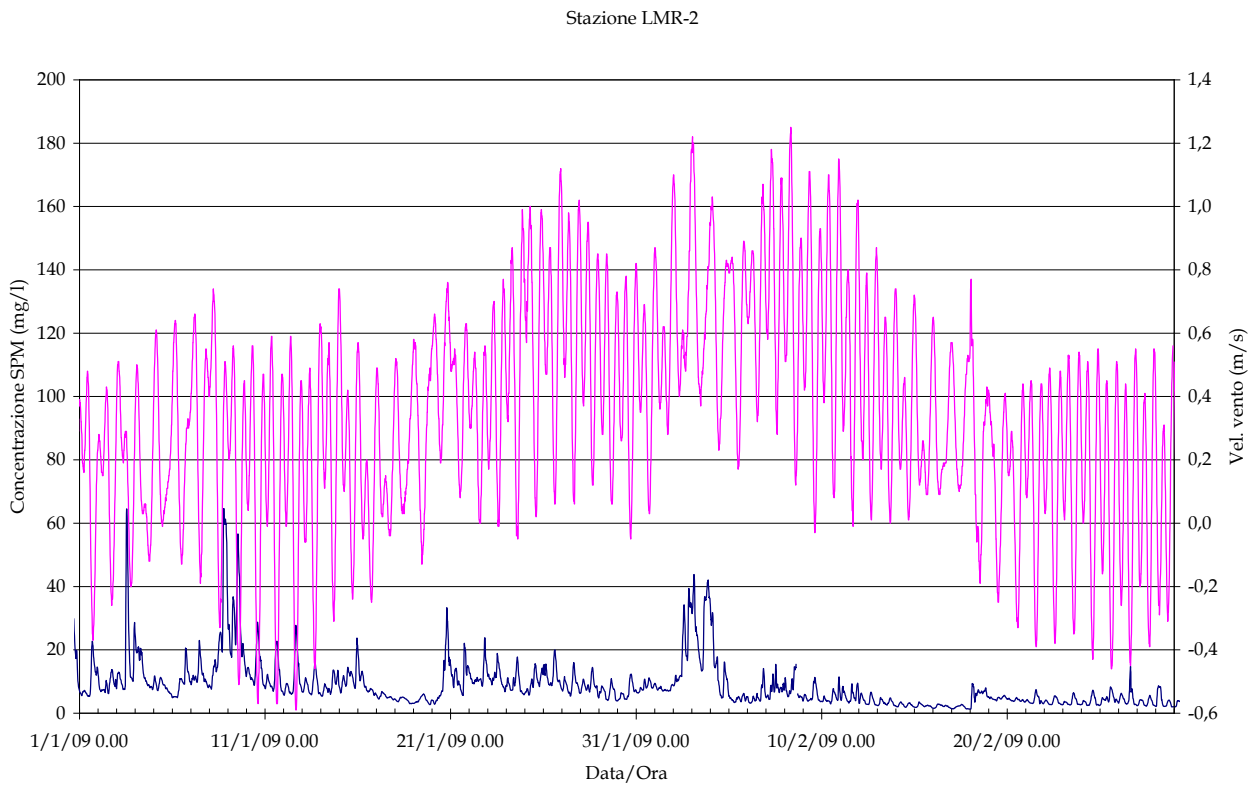
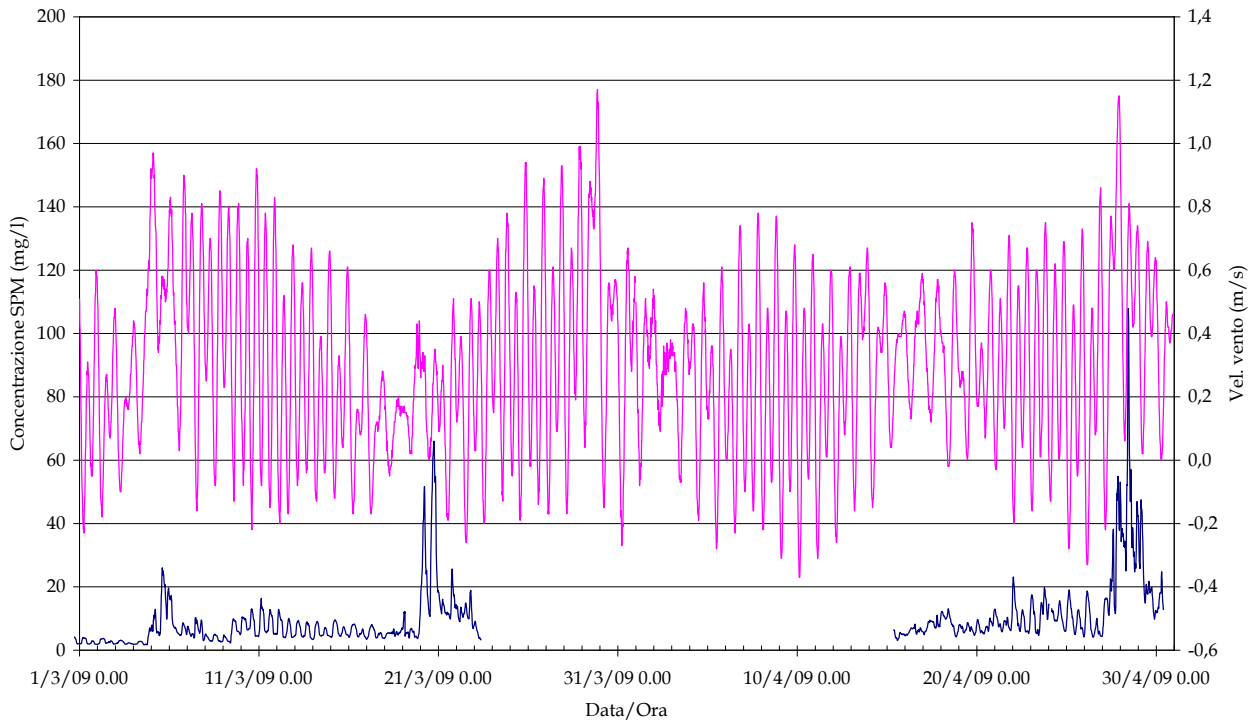


Figura 2.5 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

Stazione LMR-2



Stazione LMR-2

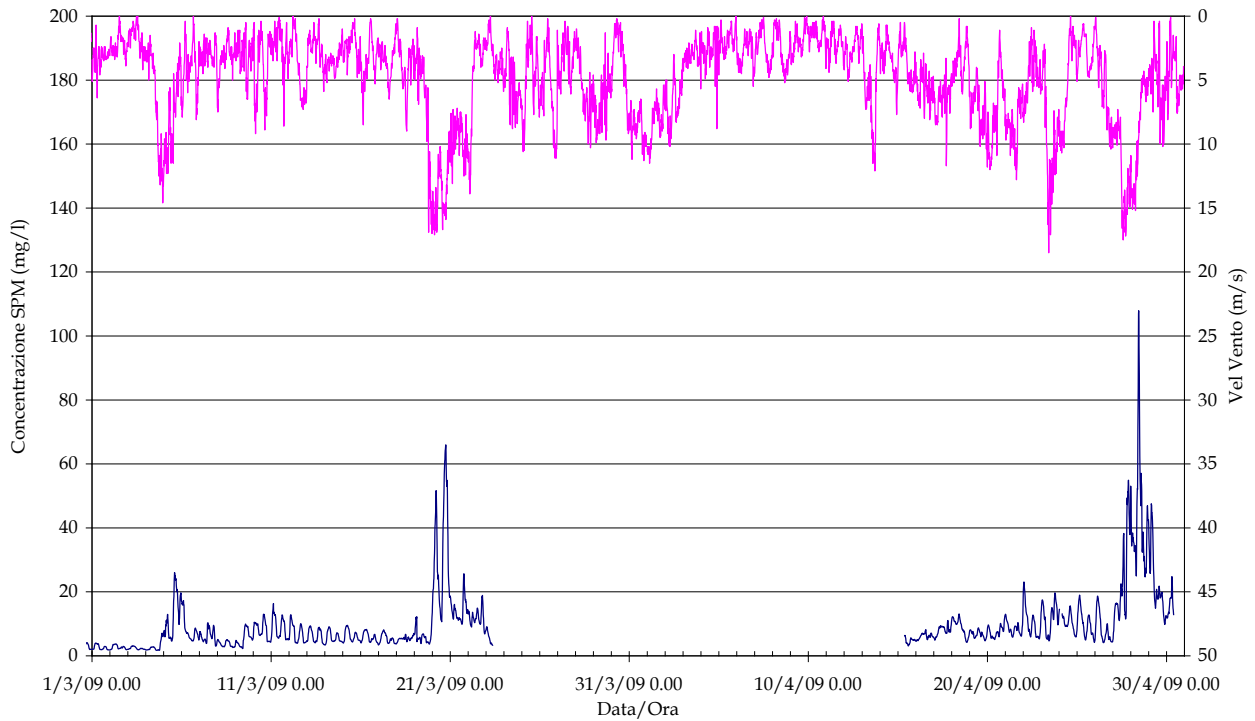


Figura 2.5 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

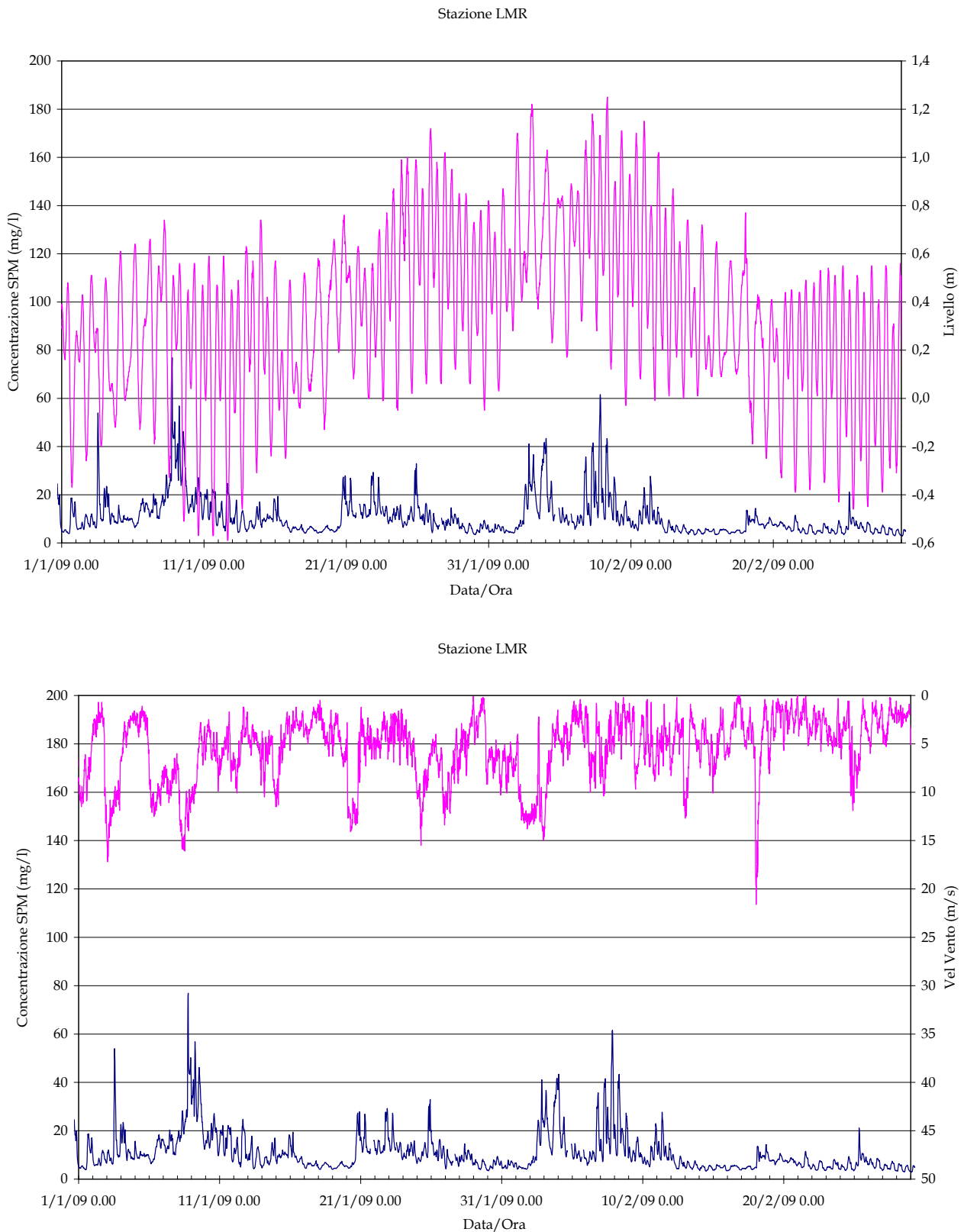


Figura 2.6 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

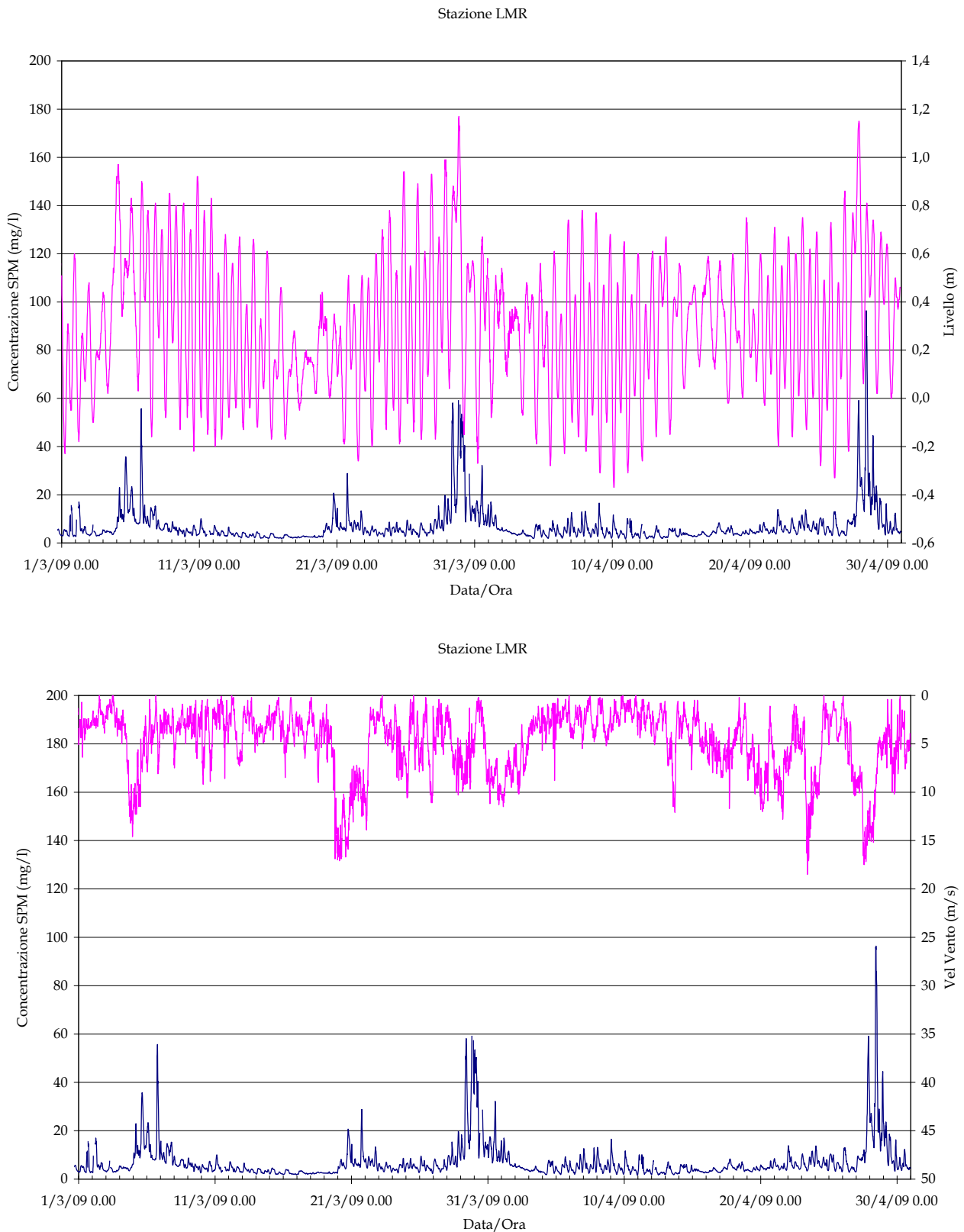


Figura 2.6 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

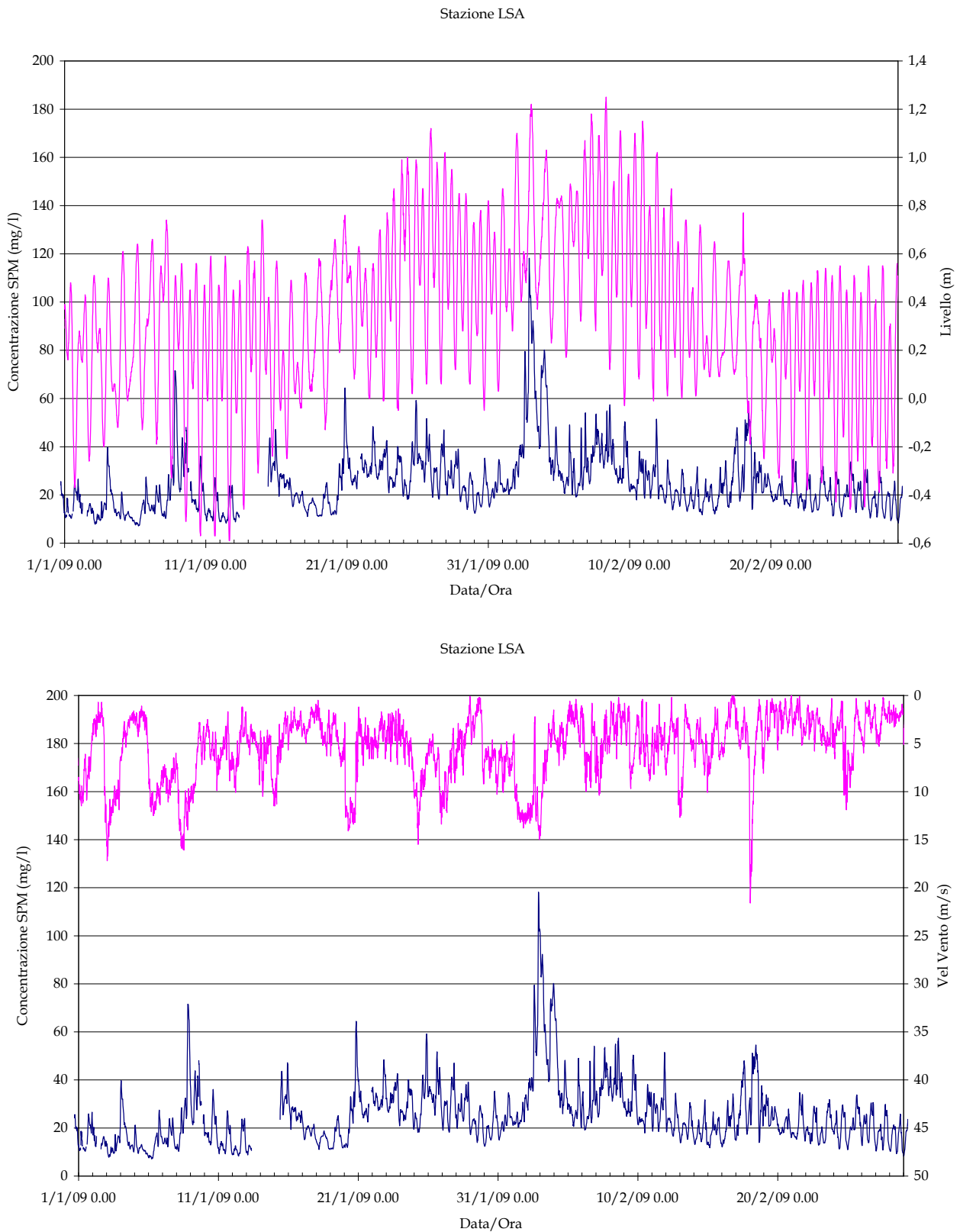


Figura 2.7 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

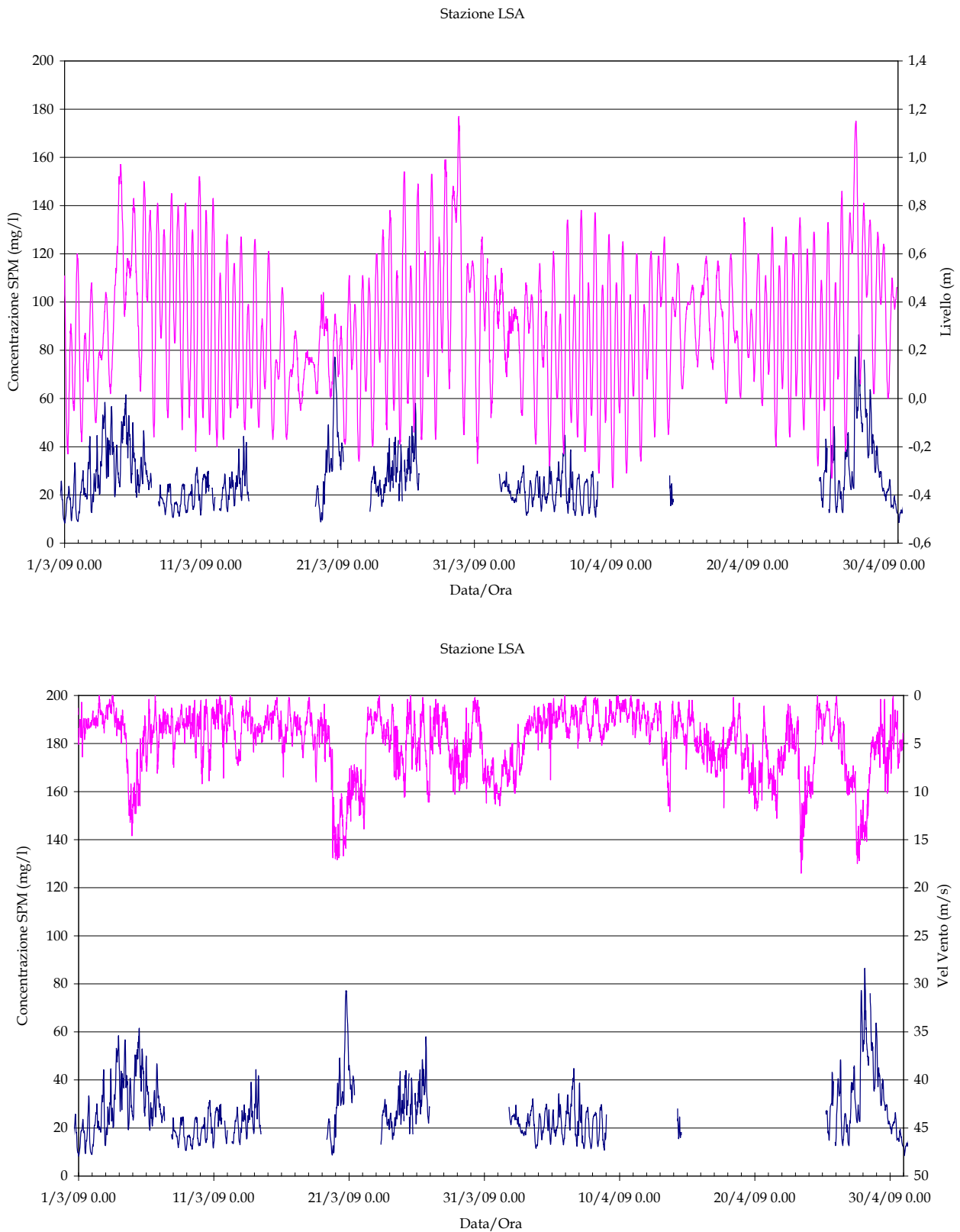


Figura 2.7 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

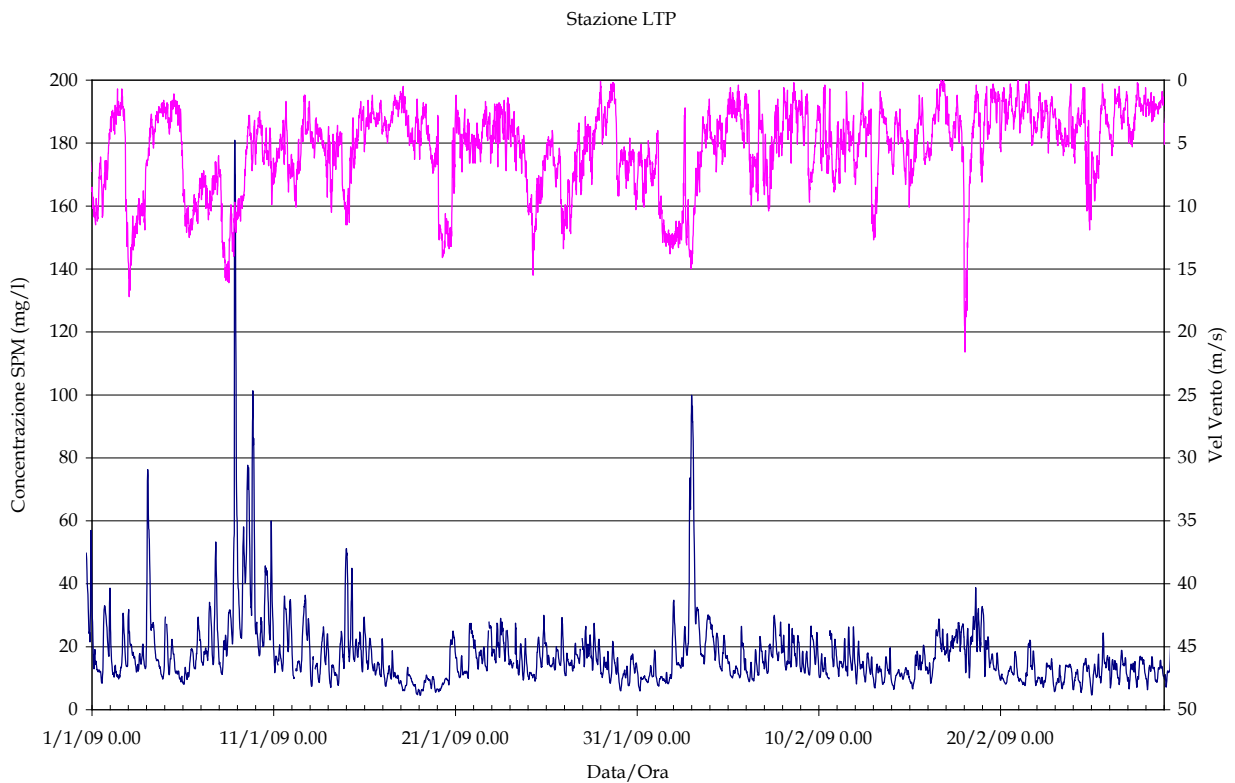
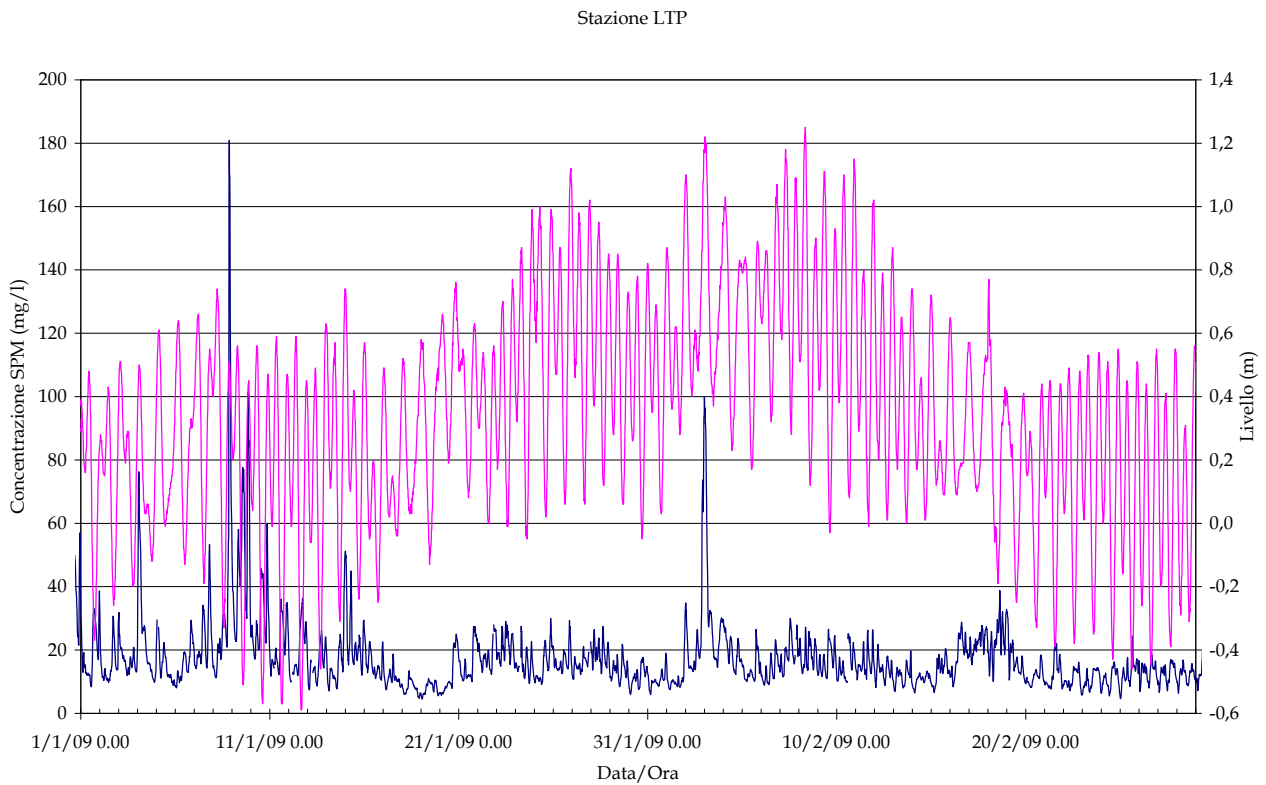


Figura 2.8 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LTP nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

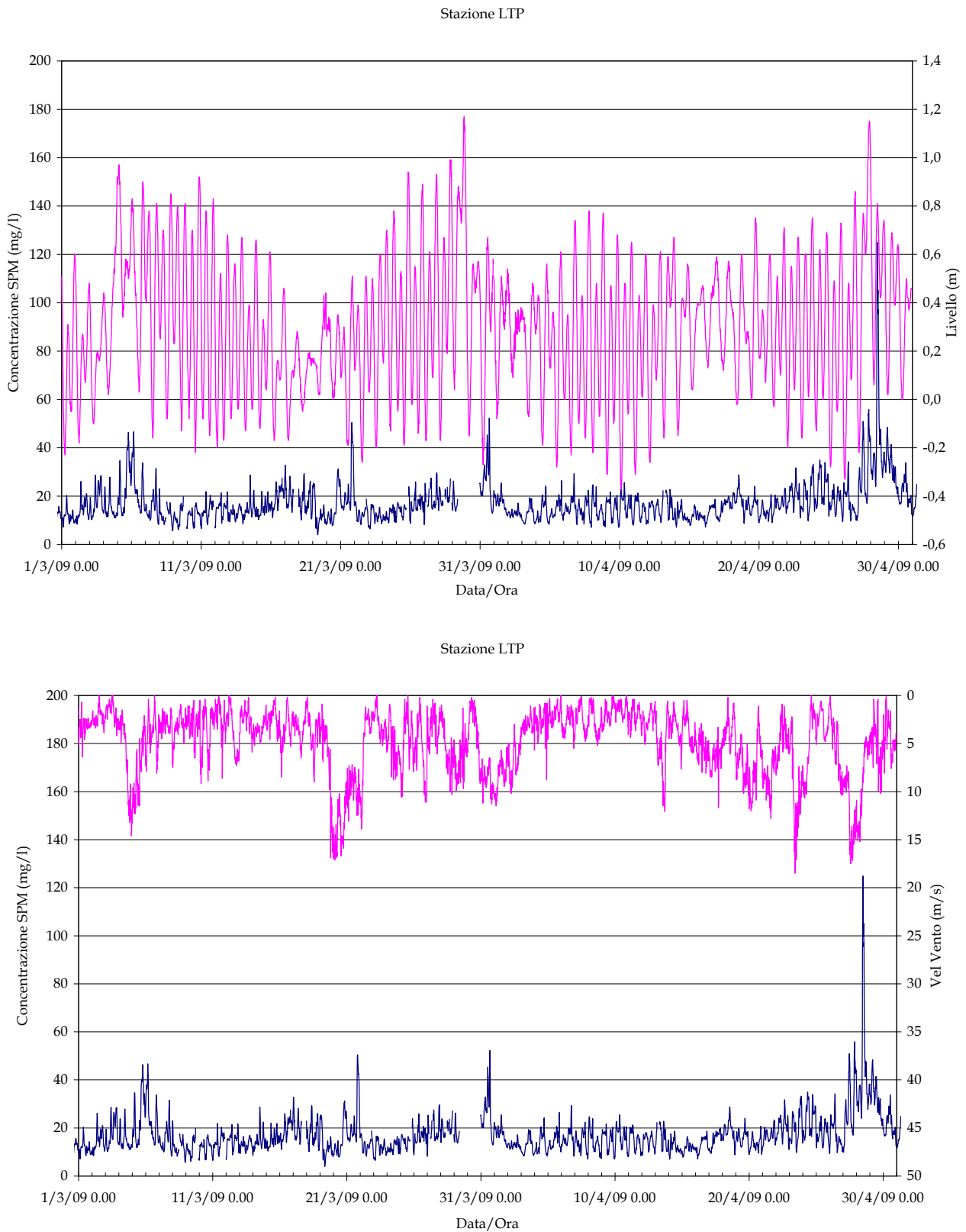


Figura 2.8 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LTP nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

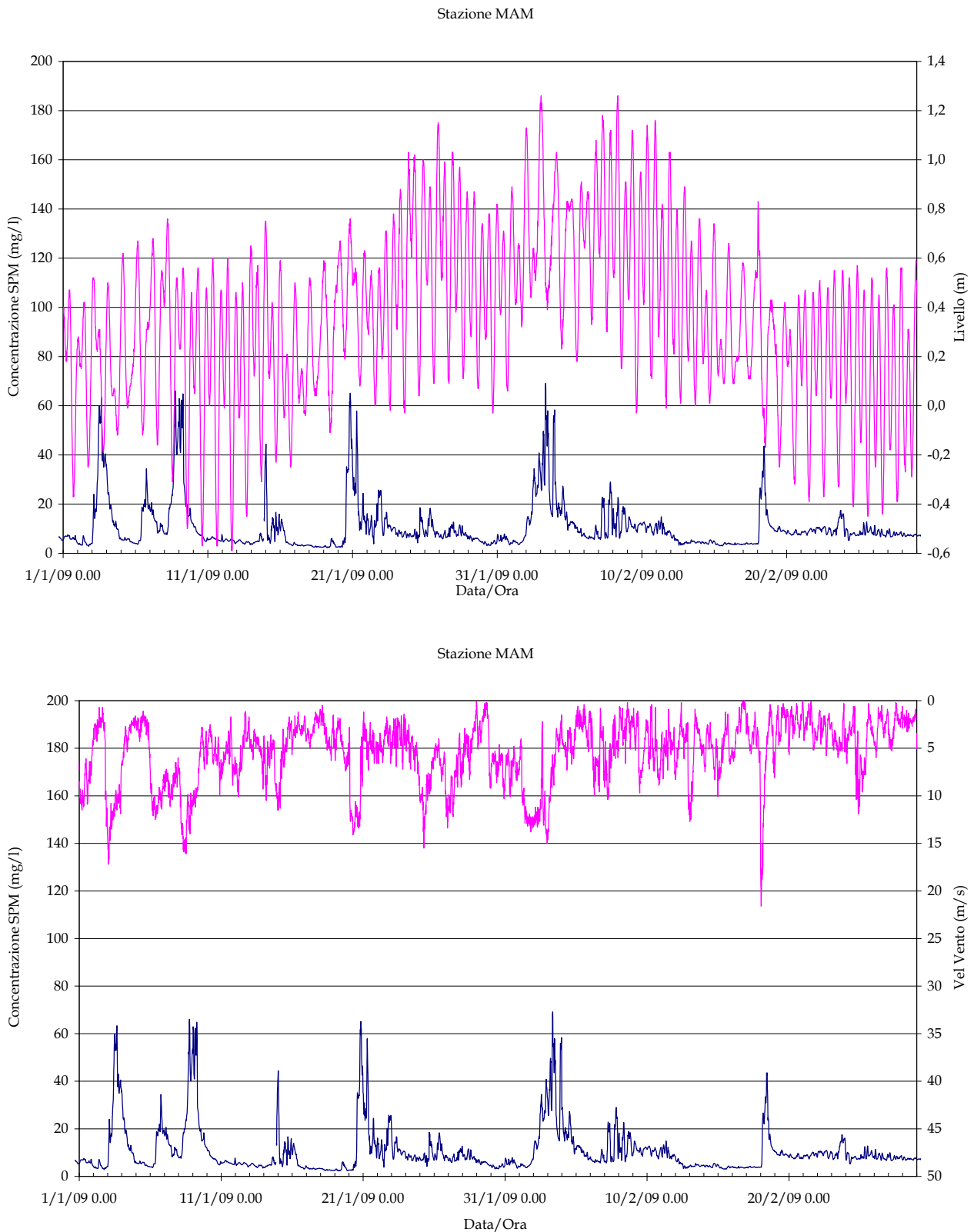


Figura 2.9 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

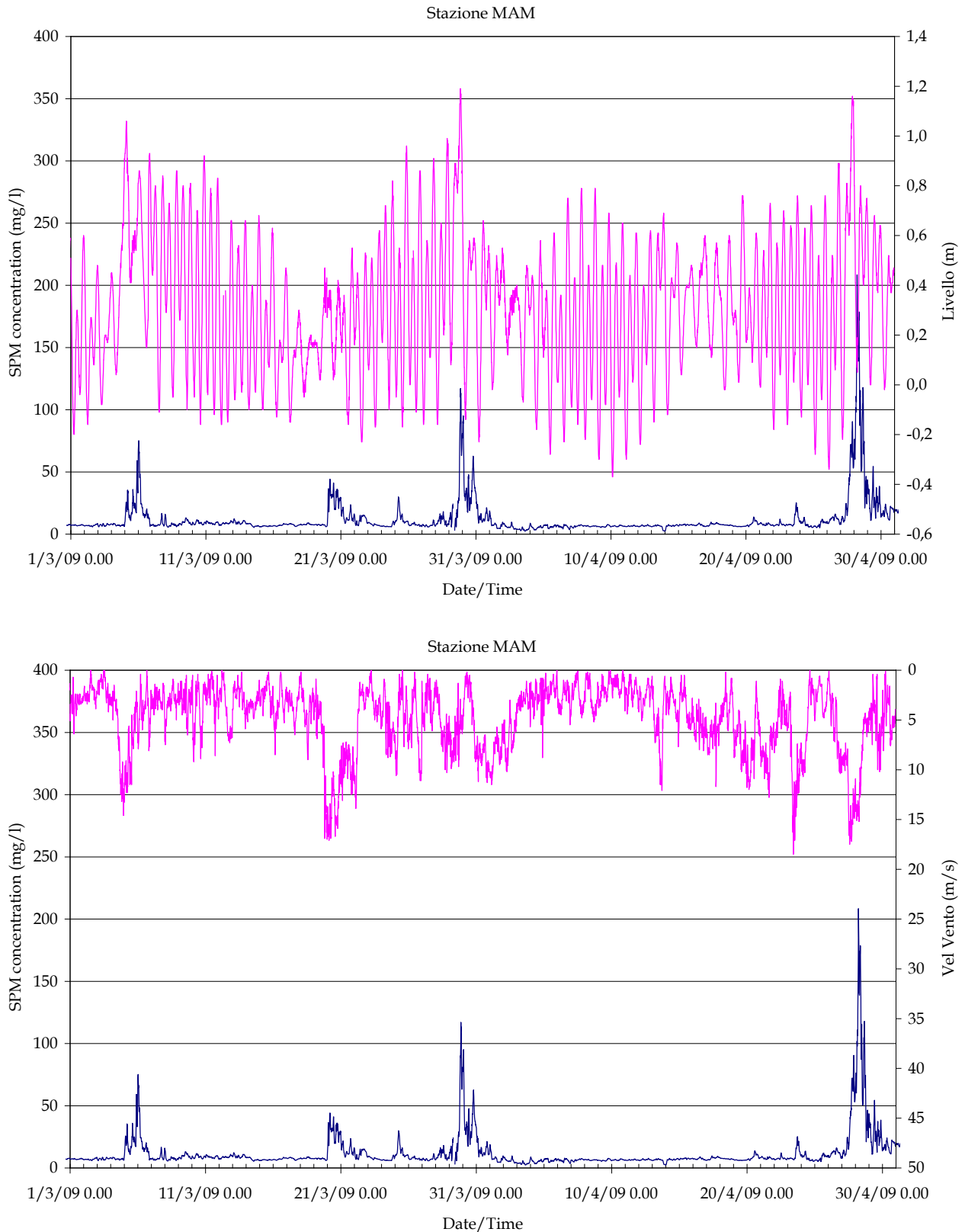


Figura 2.9 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

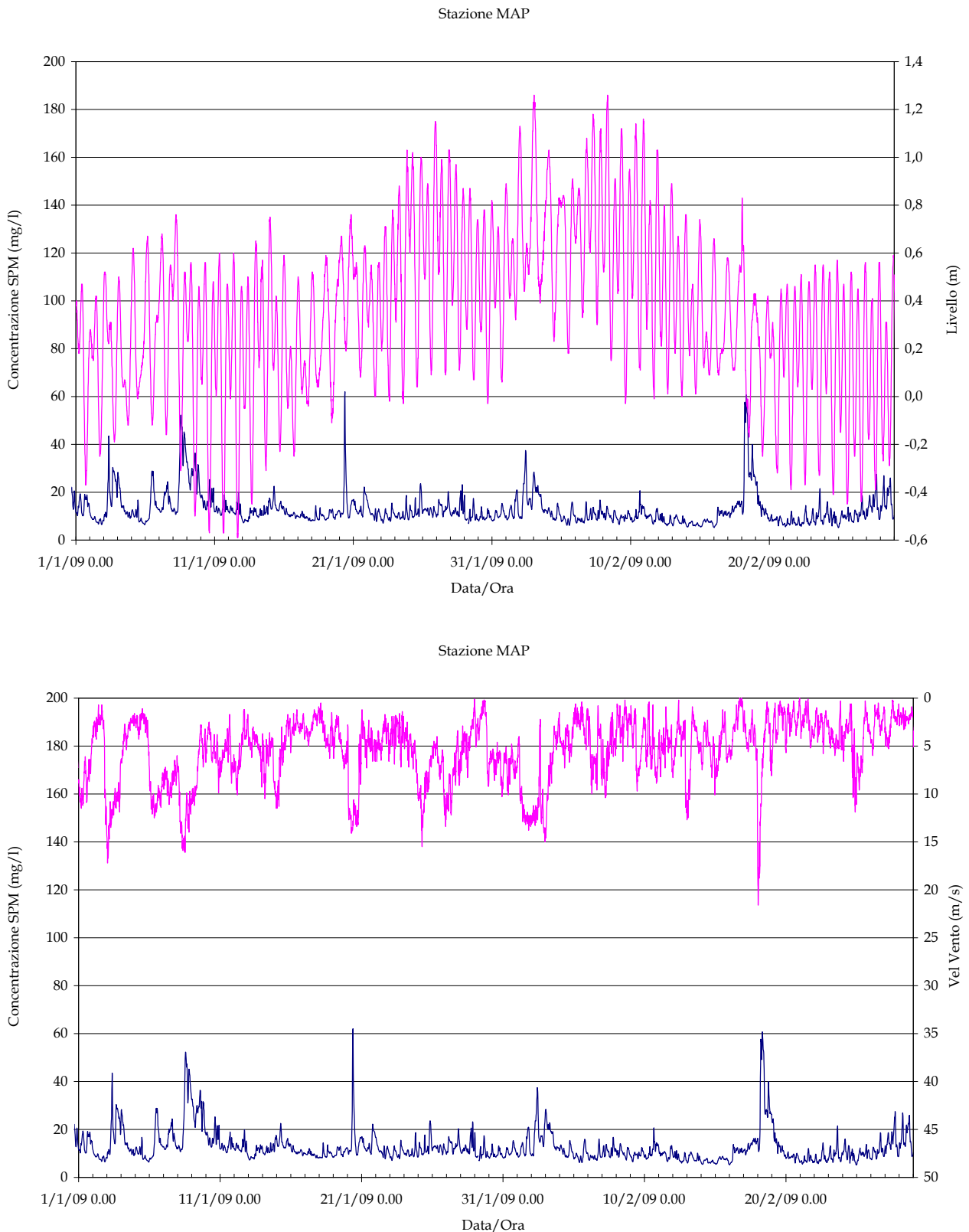


Figura 2.10 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Gennaio-Febbraio 2009.

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

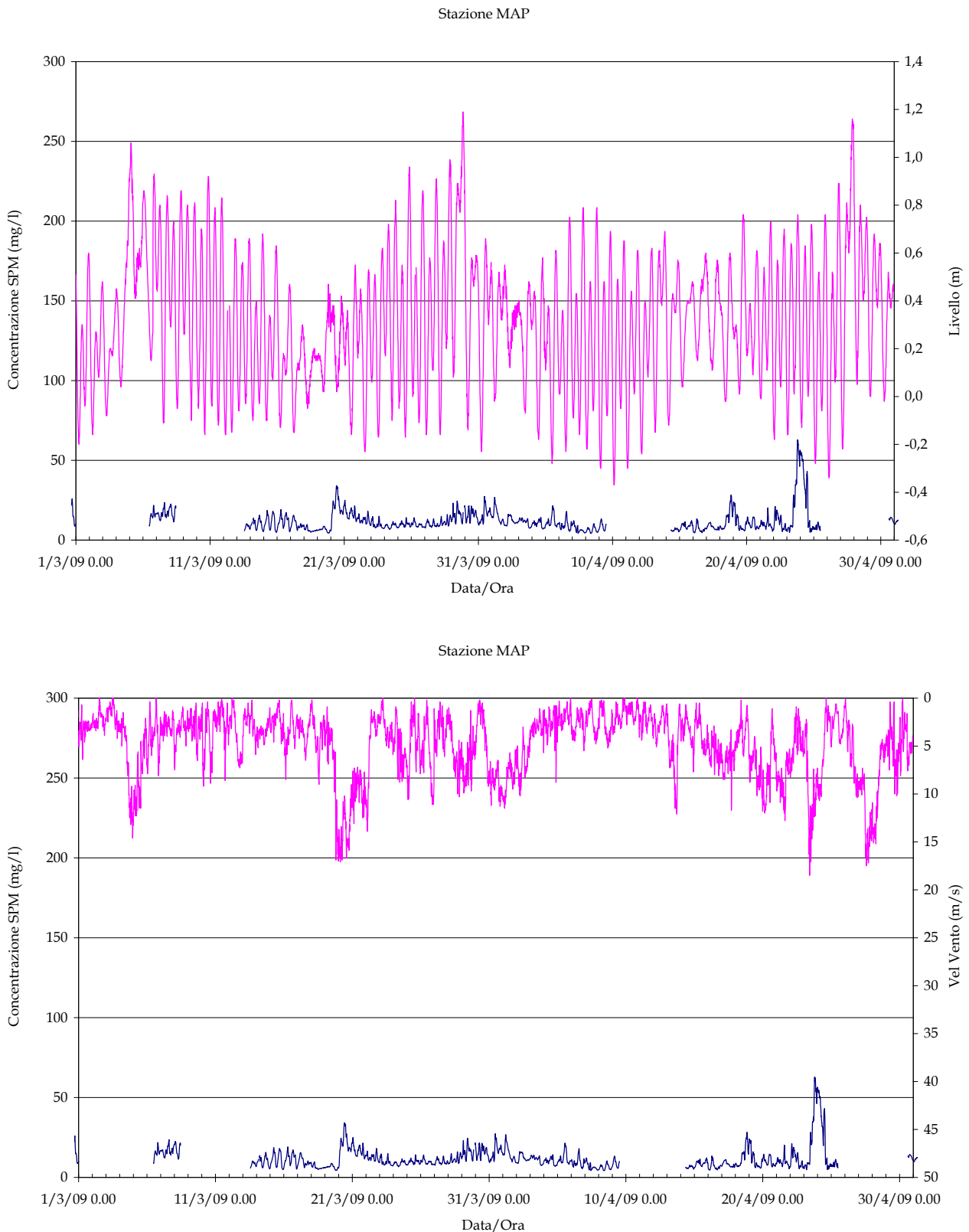


Figura 2.10 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Marzo-Aprile 2009.

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

Tabella 2.3. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali 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 in mg/l.

	CHP	LIM	LMR-2	LMR	LSA	LTP	MAM	MAP
Ntot	10295	10905	9242	11362	8369	11167	11502	9542
Media	11.3	16.8	9.2	8.8	25.8	17.1	11.2	12.3
Dev. Std.	11.0	24.8	8.7	7.9	12.4	9.9	13.0	6.8
Max.	135.8	290.5	107.9	96.4	118.1	180.9	208.3	62.8
Min.	1.8	1.6	1.3	1.6	7.1	3.9	2.3	4.2
25° percentile	5.3	5.3	4.4	4.3	17.5	11.8	6.2	8.5
50° percentile	7.7	9.1	6.9	6.2	23.6	15.0	7.6	10.7
75° percentile	13.3	18.2	10.6	10.1	30.5	19.5	10.8	13.8
95° percentile	29.6	53.9	24.5	23.1	48.5	31.7	32.3	24.1

Per quanto riguarda i risultati è necessario ricordare che la stazione LMR-2 ha presentato, nei mesi di marzo ed aprile, problemi di registrazione dei dati anche legati alla perdita dello strumento. Le stazioni LSA e MAP, invece, hanno presentato numerosi eventi di fouling, con conseguente cancellazione di lunghi periodi di registrazioni; su queste due stazioni, quindi, l'analisi statistica è stata effettuata su un numero totale di dati inferiore a quello degli altri casi.

Così come la fine del 2008, l'inizio del 2009 è stato caratterizzato da una successione di eventi meteo marini di particolare intensità e durata che hanno provocato aumenti della torbidità in tutte e tre le bocche di porto. Nel periodo analizzato la velocità media oraria del vento, misurata alla piattaforma oceanica "Acqua Alta" del CNR-ISMAR di Venezia, ha superato i 20 m/s solamente nel corso dell'evento del 17-18 febbraio, caratterizzato da forti venti di bora.

Per quanto riguarda i valori medi della torbidità, le stazioni che presentano i valori più alti sono LSA (25.8 mg/l), ubicata in laguna, LTP (17.1 mg/l), nel canale di Treporti, e LIM (16.8 mg/l), davanti alla Bocca di Lido. Decisamente più bassi ed omogenei sono i valori medi registrati dalle stazioni posizionate all'interno dei canali delle tre bocche di porto (valori medi 8.8-12.3 mg/l).

Dalla tabella 2.3 risulta che i valori di torbidità massimi hanno una spiccata variabilità, dai 62.8 mg/l della stazione lagunare MAP ai 290.5 mg/l registrati nella stazione a mare LIM.

Per quanto riguarda i valori del 25° percentile, che rappresentano con una buona approssimazione le condizioni di assenza di perturbazioni nelle stazioni considerate, è interessante osservare come, analogamente ai quadrimestri precedenti, le stazioni LSA, LTP e MAP, collocate nelle aree all'interno delle bocche di porto, presentino valori (compresi tra 8.5 e 17.5 mg/l) nettamente più elevati delle altre stazioni. La buona corrispondenza fra i valori della stazione a mare LIM (5.3 mg/l) e quelle collocate entro il canale di bocca (nel range 4.2-5.3 mg/l), così come tra la stazione a mare MAM (6.2 mg/l) e della lagunare MAP (8.5 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.

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

Queste stesse considerazioni valgono anche per il 50° percentile che rappresenterebbe le condizioni più frequentemente incontrate: le concentrazioni nella stazione a mare LIM (9.1 mg/l) si discostano minimamente da quelle rilevate nelle stazioni ubicate entro le bocche di Lido e Chioggia (6.2-7.7 mg/l). Le stazioni poste nelle aree più interne LTP, LSA presentano i valori più elevati (15.0-23.6 mg/l).

Il 75% percentile si può considerare, invece, come indicatore dei valori di torbidità relativamente elevati: carico organico particolarmente elevato, come nei mesi estivi, o eventi meteo marini di moderata intensità. Anche in questo quadrimestre, valori nettamente maggiori si riscontrano nelle stazioni interne alla laguna LSA e LTP (valori compresi tra 19.5 e 30.5 mg/l) e nella stazione a mare LIM (18.2 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 a mare LIM e MAM e le stazioni lagunari LSA e LTP, ubicate nel canale di Sant'Andrea e nel canale Treporti, presentano i valori nettamente più elevati (compresi tra 31.7 e 53.9 mg/l), mentre le stazioni CHP, LMR, LMR-2 e MAP presentano valori più bassi (23-30 mg/l circa).

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, a differenza dei mesi passati, i valori di concentrazione relativi allo strumento LMR-2 siano più elevati di LMR (valore medio 9.2 e 8.8 mg/l rispettivamente); la differenza tra i valori registrati dai due strumenti è comunque molto contenuta, prossima all'ordine dell'errore associato alle misure. In questo periodo, infatti, inizia a prevalere il carico organico in prossimità della superficie (I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/4), mentre, nel periodo autunno-invernale LMR risentiva maggiormente degli incrementi della concentrazione al fondo in occasione degli eventi meteo marini intensi (II Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/4).

2.2 Analisi dei picchi di torbidità

Di seguito viene proposta, per ogni stazione, l'analisi dei picchi di torbidità in relazione alla velocità del vento.

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].

Tabella 2.4. Analisi picchi di torbidità durante il periodo gennaio-aprile 2009.

Stazione	CHP	LIM	LMR-2	LMR	LSA	LTP	MAM	MAP
Numero condizioni eccezionali con C>30 mg/l	29	72	17	23	125	55	34	
Numero di eventi CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento	27	60	17	12	59	43	31	
Numero di eventi la cui causa non è legata alla risospensione da vento	2	12	0	11	66	12	3	

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

Alle tre bocche di porto la maggior parte dei superamenti del limite di 30 mg/l sono dovuti ad eventi di risospensione indotti da fenomeni naturali causati del vento locale, soprattutto bora e scirocco.

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 metomarinici 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:

- 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);
- 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).

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 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 gennaio a marzo 2009 nella bocca di Lido erano assenti attività in grado di influenzare significativamente la torbidità della colonna d'acqua.

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

Presso la bocca di Chioggia, nel periodo indagato, non erano presenti importanti operazioni di scavo.

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 gennaio-aprile 2009 sono stati resi disponibili dalla Direzione Lavori i volumi scavati per le seguenti opere:

- Bocca di Malamocco: 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/352-2B: dal 09/01/2009 al 19/02/2009.

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.6.78/I - Attività di monitoraggio alle bocche di porto: controllo delle comunità biologiche lagunari e marine", Disciplinare 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.
- 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", Il Rapporto di Valutazione, Venezia, Maggio 2008. 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", I Rapporto di Valutazione, Venezia, Settembre 2008. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE 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", Rapporto Campagna Malamocco 25-29 Agosto 2008, Venezia, Dicembre 2008. 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.