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/3

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

Contratto prot.n. 16514 si/gce/fbe

Documento

MATRICE: ACQUA

MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA TORBIDITÀ IN CONTINUO

III RAPPORTO DI VALUTAZIONE

PERIODO DI RIFERIMENTO: DA GENNAIO AD APRILE 2008

Versione **2.0**

Emissione **23 Giugno 2008**

Redazione	Verifica	Verifica	Approvazione
Dott.ssa Caterina Dabalà (CORILA)	Dott. Luca Zaggia (ISMAR-CNR)	Prof. Giampaolo Di Silvio	Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

1. INTRODUZIONE E METODOLOGIA 4
1.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo 5
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 12
1.4.1 Procedura per la filtrazione dei picchi istantanei 13
1.4.2 Correzione per il fouling 13
1.5 Calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM 13
2. ANALISI DEI DATI 15
2.1 Serie temporali della torbidità/SPM 21
2.2 Analisi dei picchi di torbidità 39
2.3 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche 42
2.4 Struttura dell'archivio dei dati 44
3. BIBLIOGRAFIA 45

Alla stesura del presente rapporto hanno contribuito:

F. Costa (ISMAR – CNR, Venezia)

C. Dabalà (CORILA)

C. Dall'Angelo (CORILA)

G. Di Silvio (IMAGE – UNIPD)

M. Meneghin (ISMAR – CNR, Venezia)

R. Ruggeri (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 particellato solido in sospensione (Suspended Particulate Matter - SPM) e della torbidità in acqua. Ciò è particolarmente valido quando ci si trova in prossimità di habitat sensibili, quali sono quelli presso le tre bocche di porto della laguna di Venezia.

Il Disciplinare Tecnico dello Studio B.6.72 B/3, come i due precedenti, prevede specifiche attività per la misura della concentrazione e del flusso di particellato solido sospeso generato dalle attività di cantiere dentro e fuori le sezioni del canale di bocca. Tali attività intendono monitorare la torbidità generata dalle operazioni di scavo in relazione ai seguenti parametri:

A) torbidità prodotta direttamente dai sistemi di scavo (draghe);

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

Nel caso A) le misure servono per determinare la torbidità prodotta direttamente dalle attività di cantiere allo scopo di descrivere le diverse tipologie di "sorgente" in periodi limitati ed in diverse condizioni operative.

Nel caso B), trattato in questo rapporto, le acquisizioni si riferiscono, invece, alla misura della torbidità in continuo mediante strumenti fissi (torbidimetri), opportunamente posizionati, nelle aree di pertinenza dei tre canali di bocca, sia entro la laguna sia all'esterno delle bocche. In questo caso la misura puntuale della torbidità fornisce un'indicazione della presenza del particellato sospeso al variare dei campi 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 particellato 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*).

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 di SPM dipende, infatti, dal peso totale delle particelle in sospensione con diametro

maggiore di 0.4 μm 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 meteomarini.

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. Sono state quindi installate 8 stazioni di misura opportunamente posizionate nei canali di bocca.

La Figura successiva mostra la localizzazione di tutte le stazioni di misura della torbidità nelle aree dei cantieri alle bocche di porto; in rosso le stazioni utilizzate il terzo anno di monitoraggio. 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 e la profondità del battente d'acqua rispetto al livello medio del mare espressa in metri. La posizione del sensore è in tutti i casi alla quota di 1.5 metri dal fondo eccetto per LMR-2, in cui il sensore è a circa 7.5 metri dal fondo.

Figura 1.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.

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 e B/3)
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	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	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	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	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	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	8/06/2006
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	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	8/06/2006

Come risulta dai dati in tabella, la rete è, quindi, costituita da due gruppi di stazioni: il primo gruppo è costituito da 6 stazioni posizionate in aree vicine alle bocche di porto verso la laguna, mentre il secondo gruppo da 2 stazioni posizionate in 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 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 (Figura 1.4-5).

Le stazioni LTP, MAP, CHP, LIM e MAM coincidono con le postazioni utilizzate nello Studio B.6.78/I.

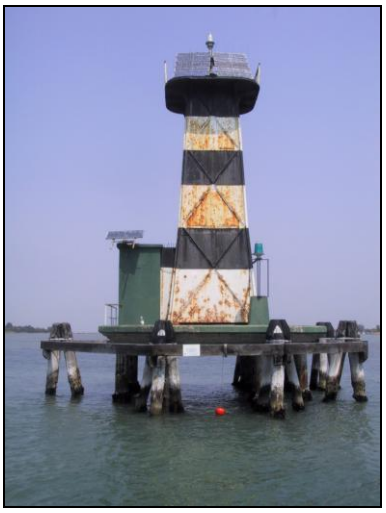


Figura 1.2. Stazione LSA.

Figura 1.3. Stazione LMR.

Figura 1.4 Stazione MAM.

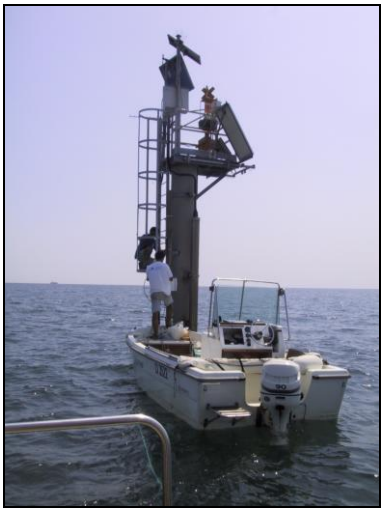


Figura 1.5. Stazione LIM.

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 particellato 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 meteomarini 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).

Nella Tabella 1.2 sono riassunte le caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati in 6 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.

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		

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

I torbidimetri posizionati nelle stazioni sopra descritte hanno funzionato a partire dalla data di installazione, 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 sono stati scaricati con una frequenza di circa 15 giorni.

I periodi di interruzione nelle registrazioni sono essenzialmente dovuti alla necessità di manutenzione e calibrazione dei sensori con invio delle sonde alla casa costruttrice, altri casi sono da imputarsi al malfunzionamento del sistema di registrazione dei dati.

Va tenuto in considerazione che il prolungato e pressochè continuo utilizzo delle sonde che costituiscono la rete -tre anni ininterrotti- sta portando ad un progressivo decadimento strutturale della rete di acquisizione che potrà essere contrastato solo con una più frequente azione di manutenzione e calibrazione e quindi con un prevedibile aumento dei periodi di interruzione delle registrazioni per il futuro.

Con cadenza settimanale, inoltre, 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) ed il prelievo di campioni d'acqua alla quota di posizionamento del sensore OBS.

Figura 1.6. Operazioni di recupero.

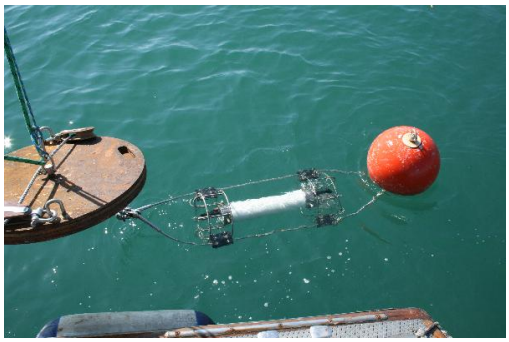


Figura 1.7 Fase di messa a mare della sonda nella postazione LIM.

Giacchè 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 trasformare il

dato grezzo in valori di concentrazione del particellato solido sospeso (in mg/l). Tale conversione avviene utilizzando le concentrazioni determinate nei campioni d'acqua appositamente prelevati in occasione dello uscite di manutenzione, secondo le modalità descritte nel capitolo 2.

Il prelievo dei campioni d'acqua (Fig. 1.7) 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, pari a 15 minuti, dello strumento.

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 HTTP04700) con porosità di 0.4 μm 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°C. Dopo la filtrazione, le membrane vengono essiccate a +105°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 rapportata al volume d'acqua filtrato. Tutte le operazioni di pesatura sono effettuate mediante l'utilizzo di una bilancia analitica.

Nel capitolo 2 sono riportate le specifiche rette di conversione di ognuna delle postazioni di misura.

Per le stazioni a mare, caratterizzate tutte da un elevato fondale (10 mentri 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 1.8 è mostrato uno schema di posizionamento e ancoraggio riferito alla stazione a mare CHM, che è lo stesso utilizzato anche nelle altre stazioni a mare.

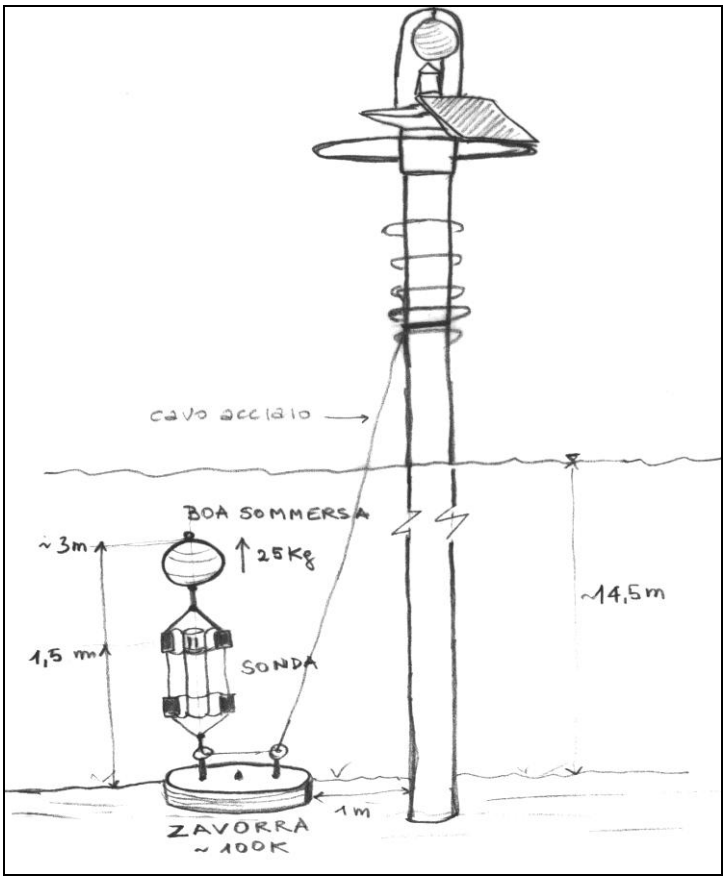
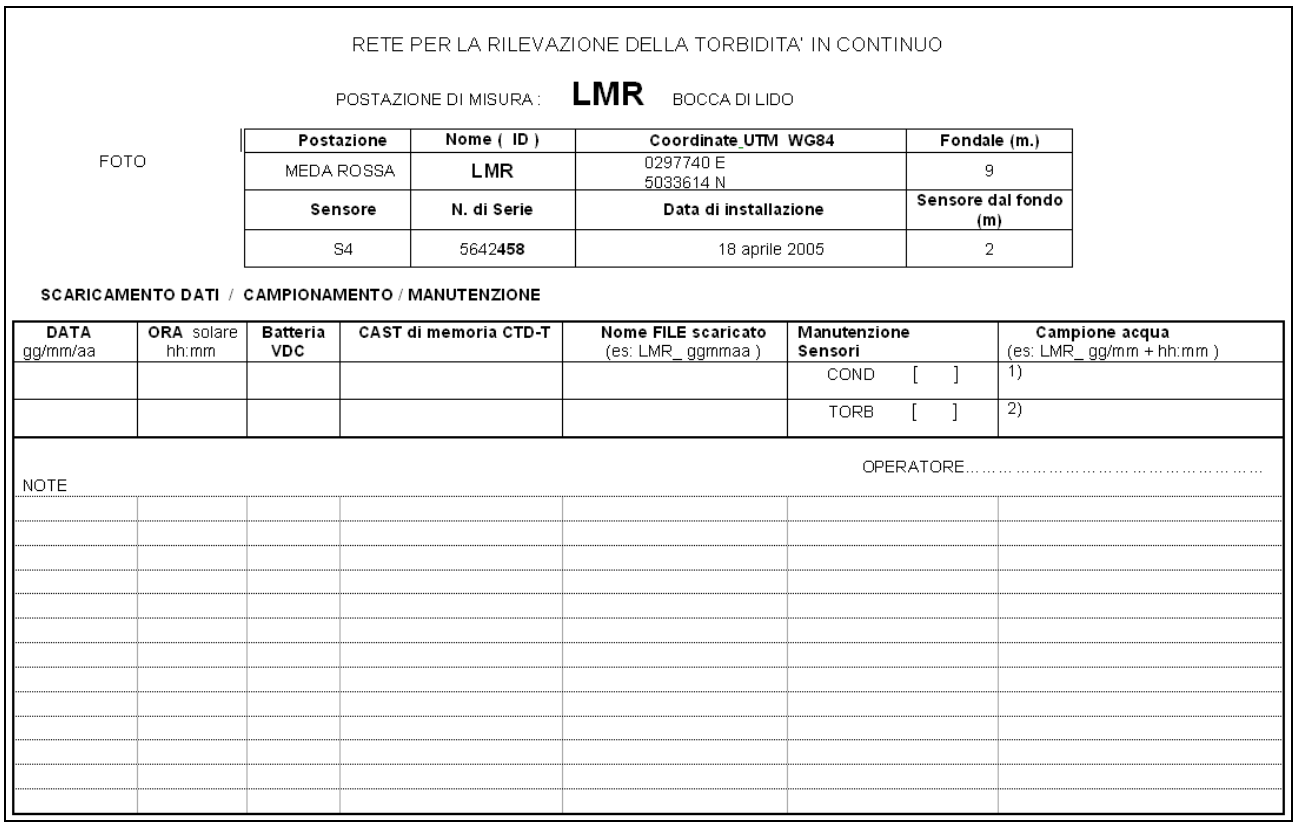


Figura 1.8. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare.

Tutte le operazioni in campo vengono registrate dagli operatori su apposite schede (Figura 1.9) in occasione di ciascuna operazione di scarico dei dati.



RETE PER LA RILEVAZIONE DELLA TORBIDITA' IN CONTINUO

POSTAZIONE DI MISURA : **LMR** BOCCA DI LIDO

FOTO

Postazione	Nome (ID)	Coordinate_UTM WG84	Fondale (m.)
MEDA ROSSA	LMR	0297740 E 5033614 N	9
Sensore	**N. di Serie**	**Data di installazione**	**Sensore dal fondo (m)**
S4	5642**458**	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)

OPERATORE……

NOTE

Figura 1.9. Esempio di scheda di campo riferita alla postazione di misura CHP.

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, i quali molto spesso si traducono nell'impossibilità pratica di utilizzare le informazioni registrate. Questi fenomeni 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). 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 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 che è approssimabile con 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 viene effettuata sulla base delle concentrazioni del particellato 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 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 è riportata la percentuale dei dati validati dopo la procedura di filtrazione delle serie temporali su tutto il periodo del monitoraggio gennaio-aprile 2008. 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 2008.

Stazione	**Dati validati sul totale del monitoraggio**
CHP	82.7
LIM	88.4
LMR	95.6
LMR-2	96.0
LSA	99.2
LTP	97.6
MAM	81.2
MAP	98.2

La percentuale di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri è sempre superiore all'80%. La maggior copertura si riscontra per la stazione LSA (99.2%). 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).

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 nel corso dello Studio B.6.72 B/3.

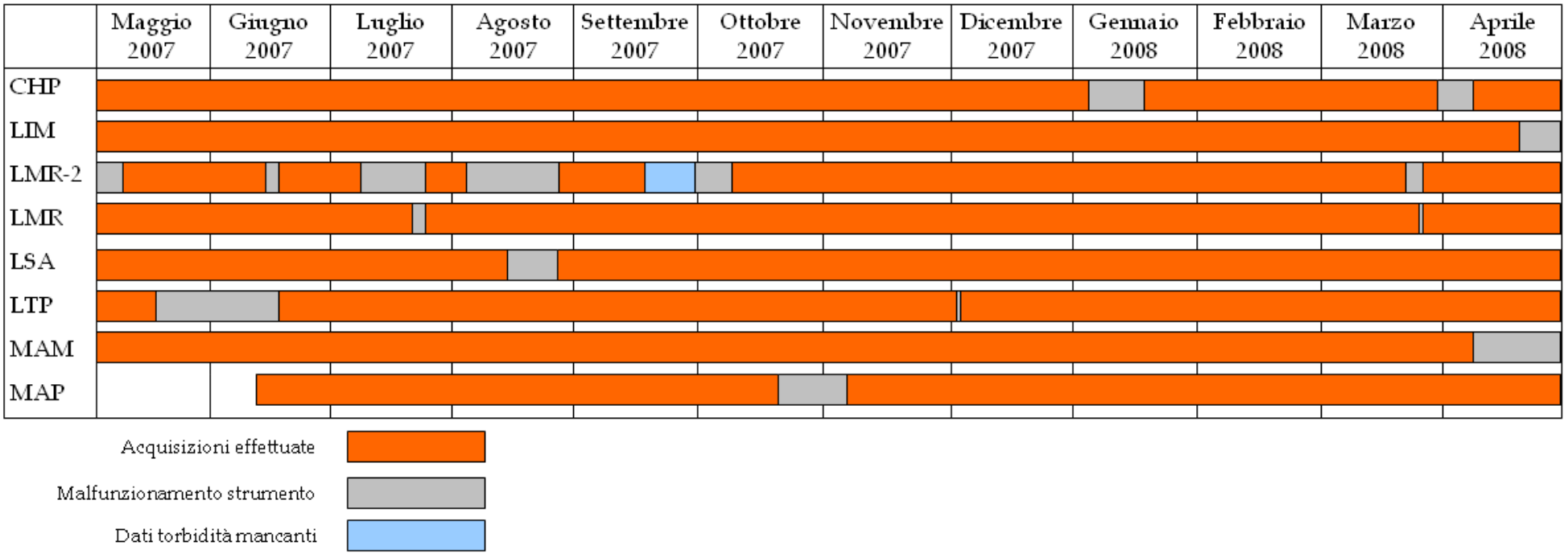


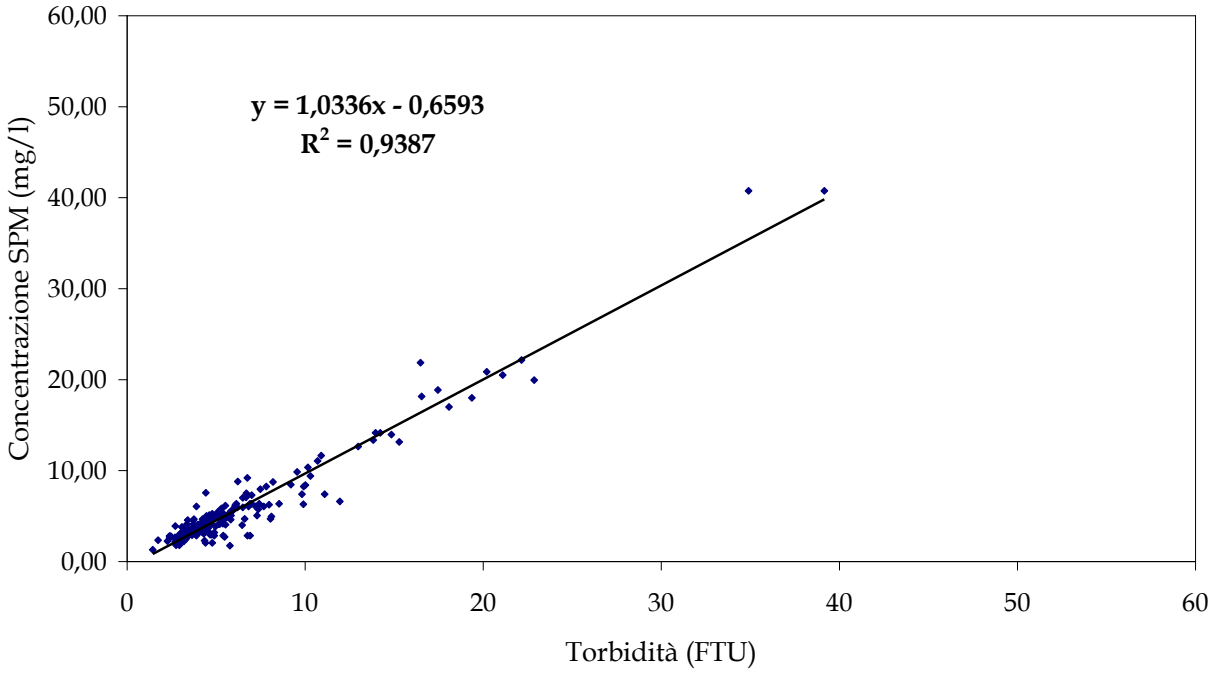
Figura 2.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle otto stazioni oggetto del monitoraggio.

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. Coefficiente retta di calibrazione.

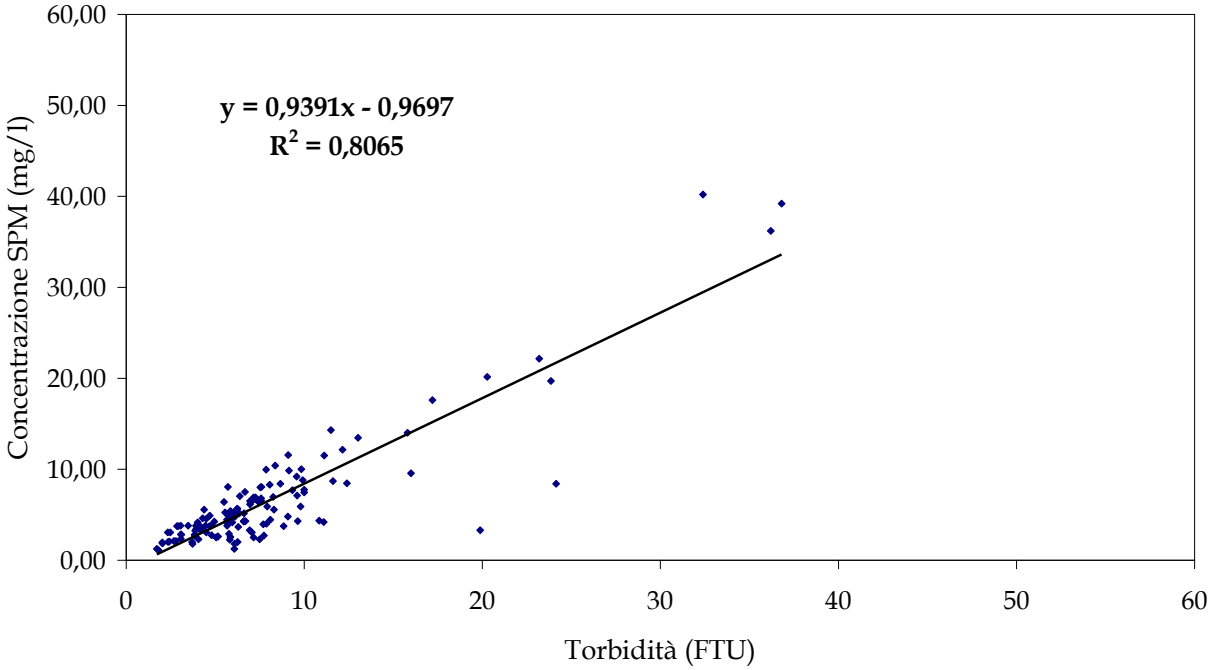
Stazione	Coefficiente retta di calibrazione gennaio-aprile 2008
CHP	y = 1,0336x - 0,6593 R^2 = 0,9387
LIM	y = 0,9391x - 0,9697 R^2 = 0,8065
LMR	y = 0,9827x + 0,684 R^2 = 0,9313
LMR-2	y = 0,8874x + 0,3073 R^2 = 0,914
LSA	y = 0,9236x + 0,2323 R^2 = 0,9332
LTP	y = 1,0737x - 1,1867 R^2 = 0,9473
MAM	y = 1,111x - 1,0847 R^2 = 0,9309
MAP	y = 0,9103x - 0,1264 R^2 = 0,9063

Stazione CHP



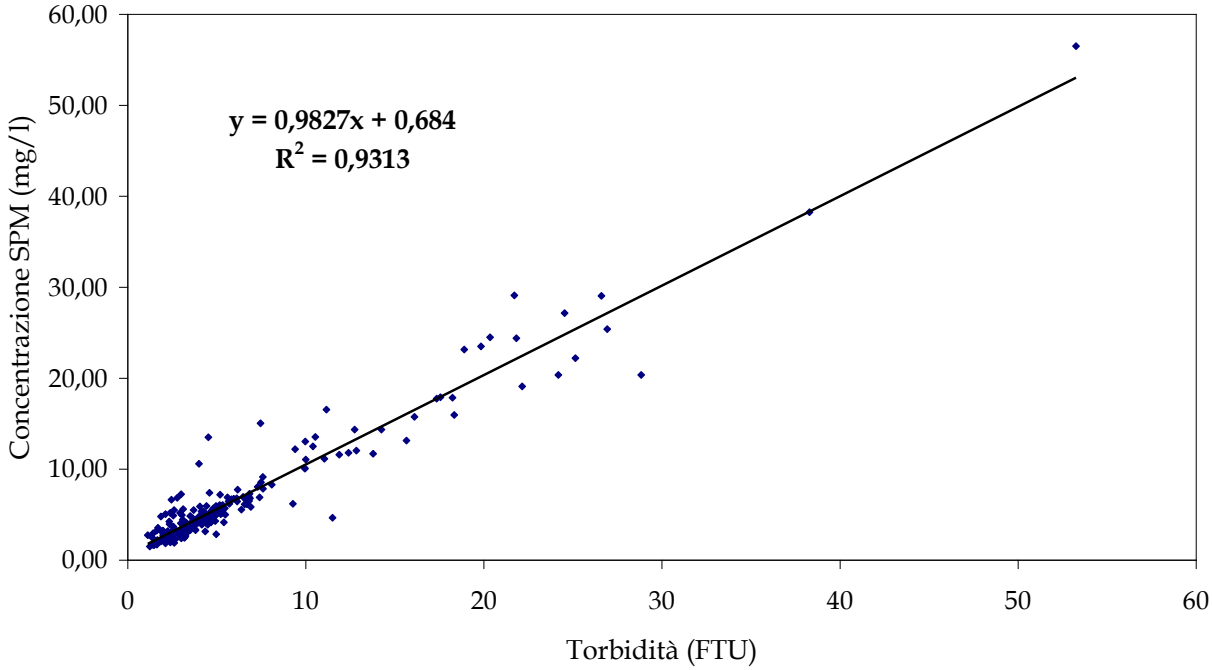
(a)

Stazione LIM



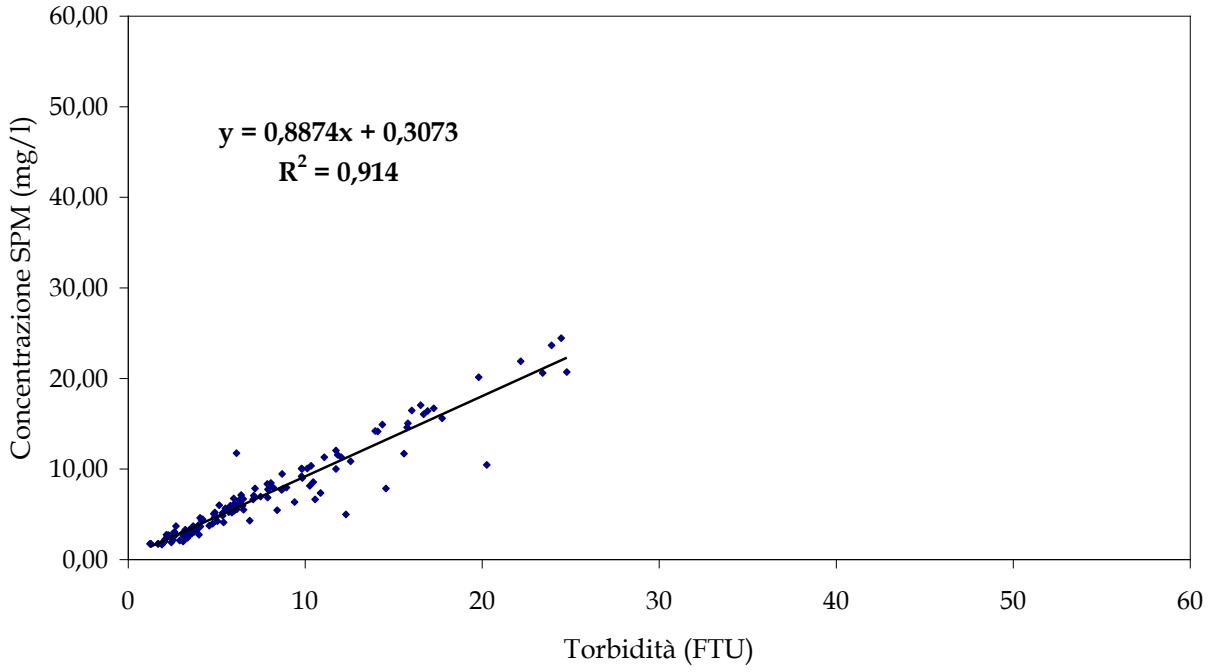
(b)

Stazione LMR



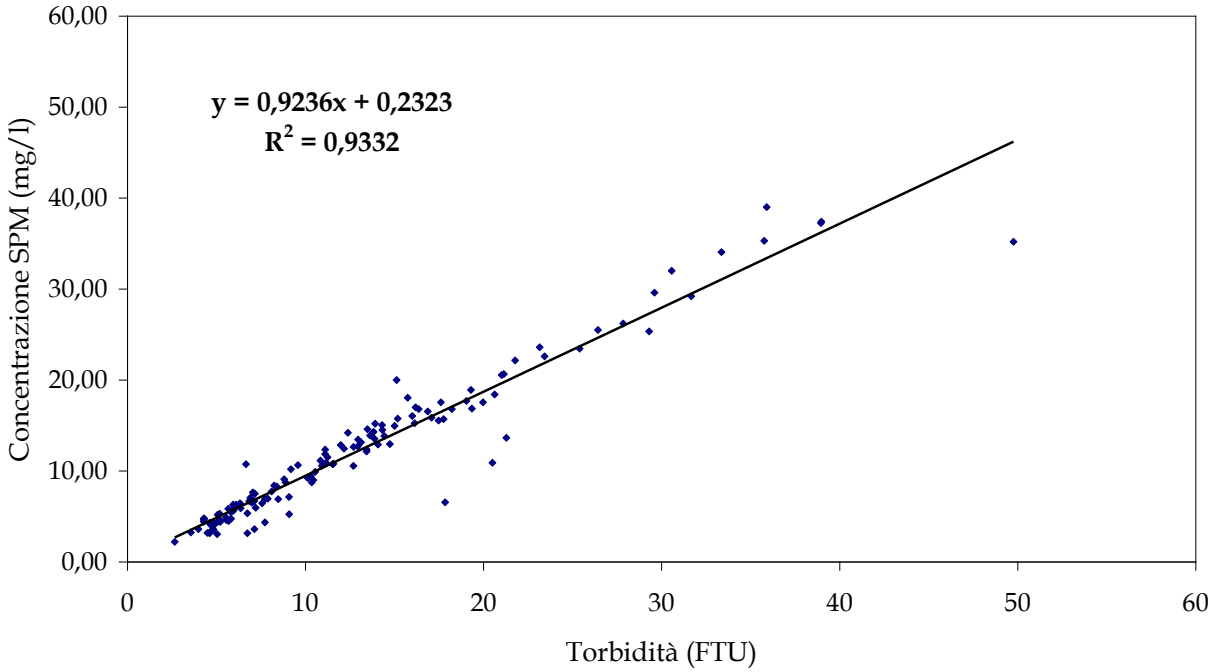
(c)

Stazione LMR-2



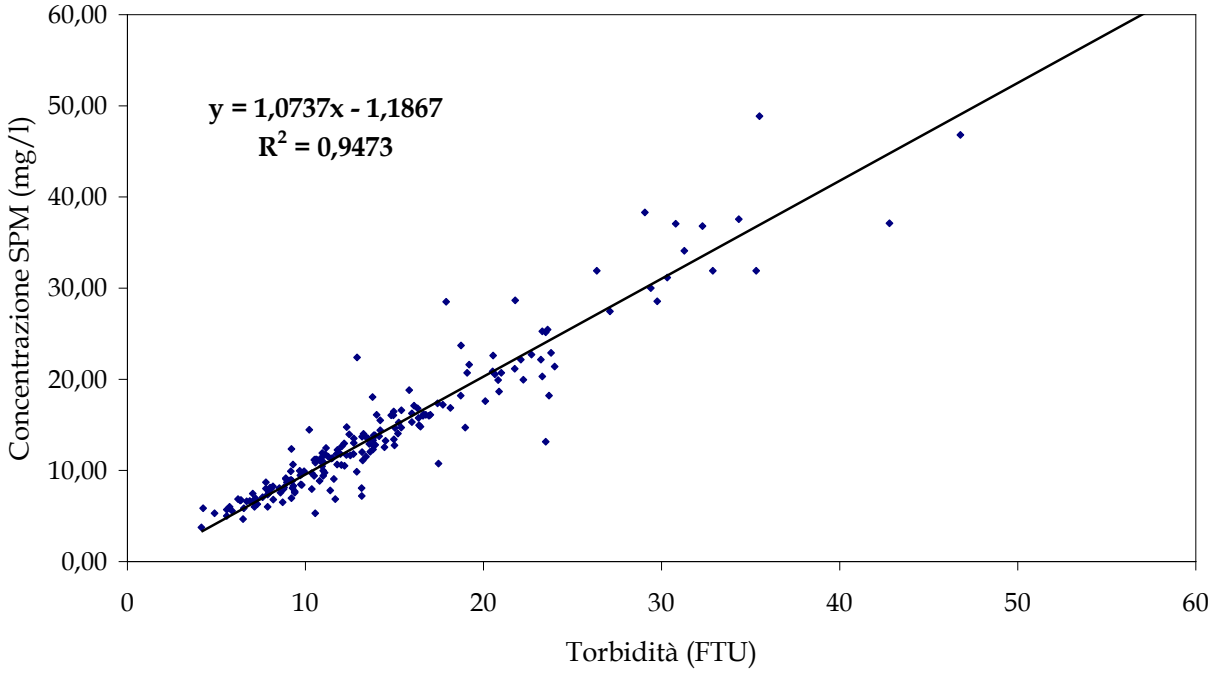
(d)

Stazione LSA



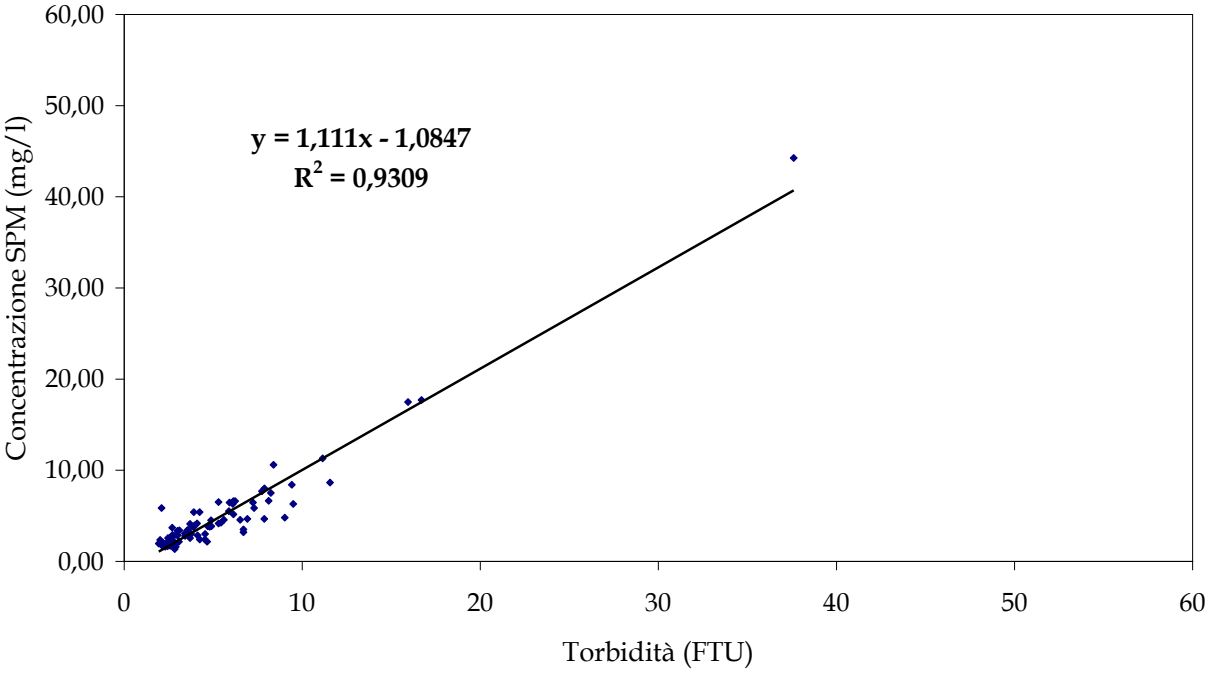
(e)

Stazione LTP



(f)

Stazione MAM



(g)

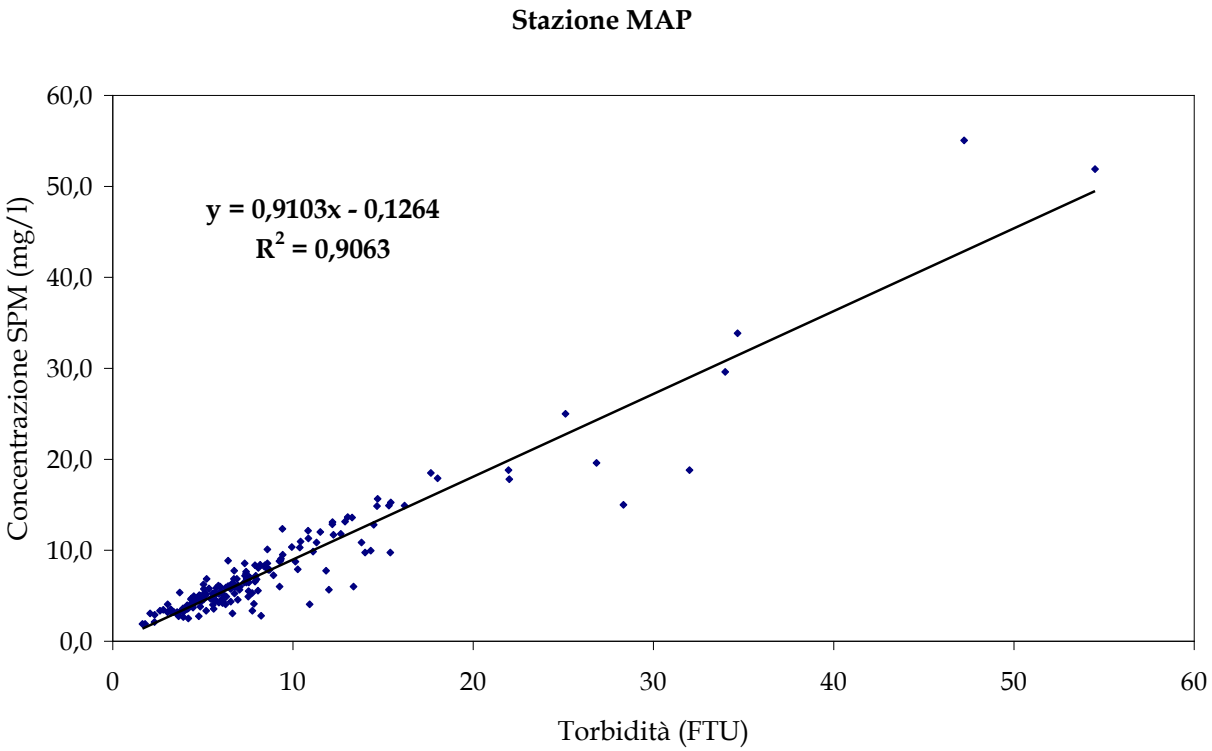


Figura 2.2. Diagrammi di regressione fra la torbidità registrata dalle sonde nelle diverse stazioni considerate ed i corrispondenti valori di concentrazione di SPM nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione. Le rette sono state elaborate includendo tutti i valori disponibili, da maggio 2005 fino ad aprile 2008

2.1 Serie temporali della torbidità/SPM

Le serie temporale del periodo gennaio-aprile 2008 ed i relativi grafici bimestrali della concentrazione del particellato 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.

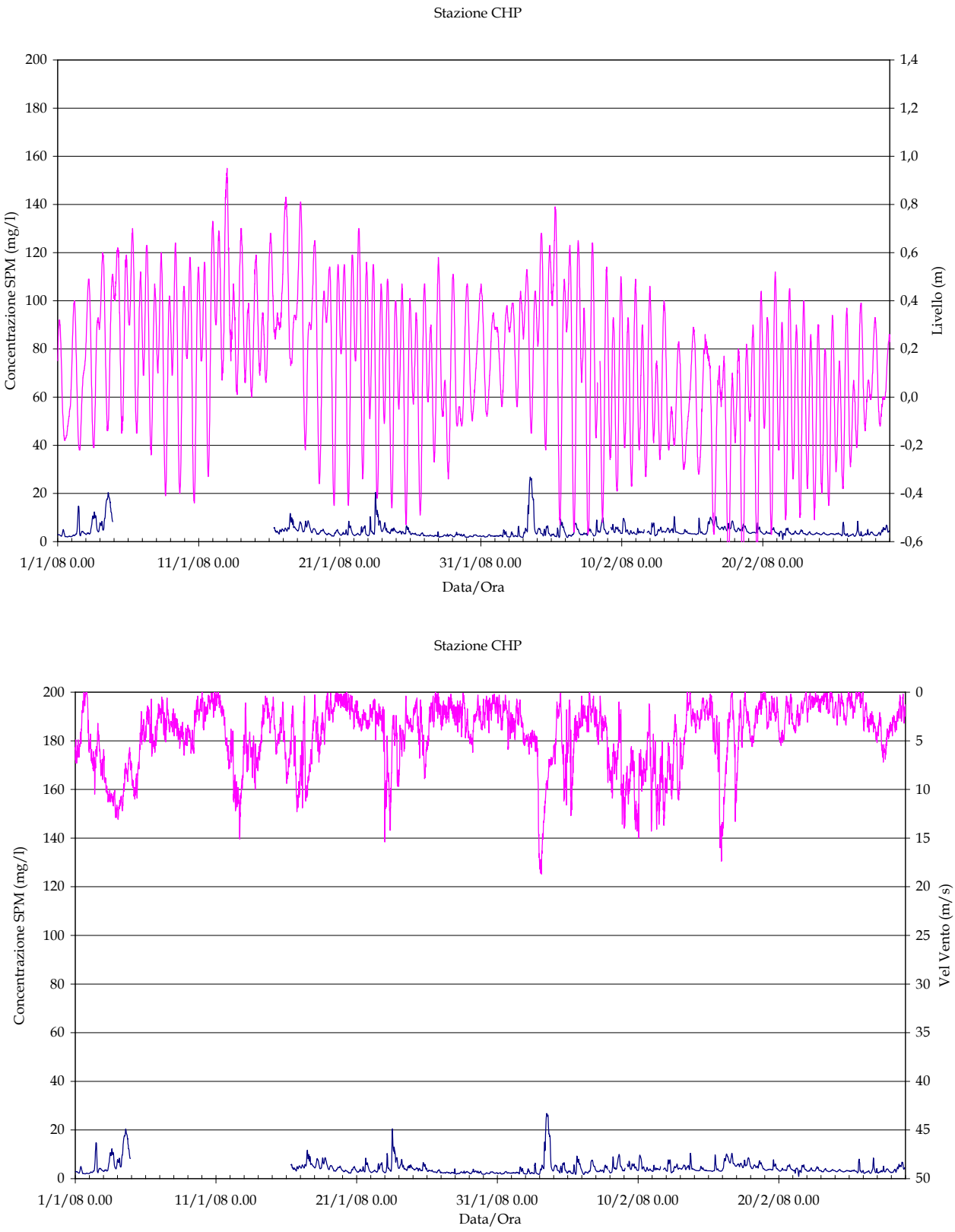


Figura 2.3 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo gennaio-febbraio 2008.

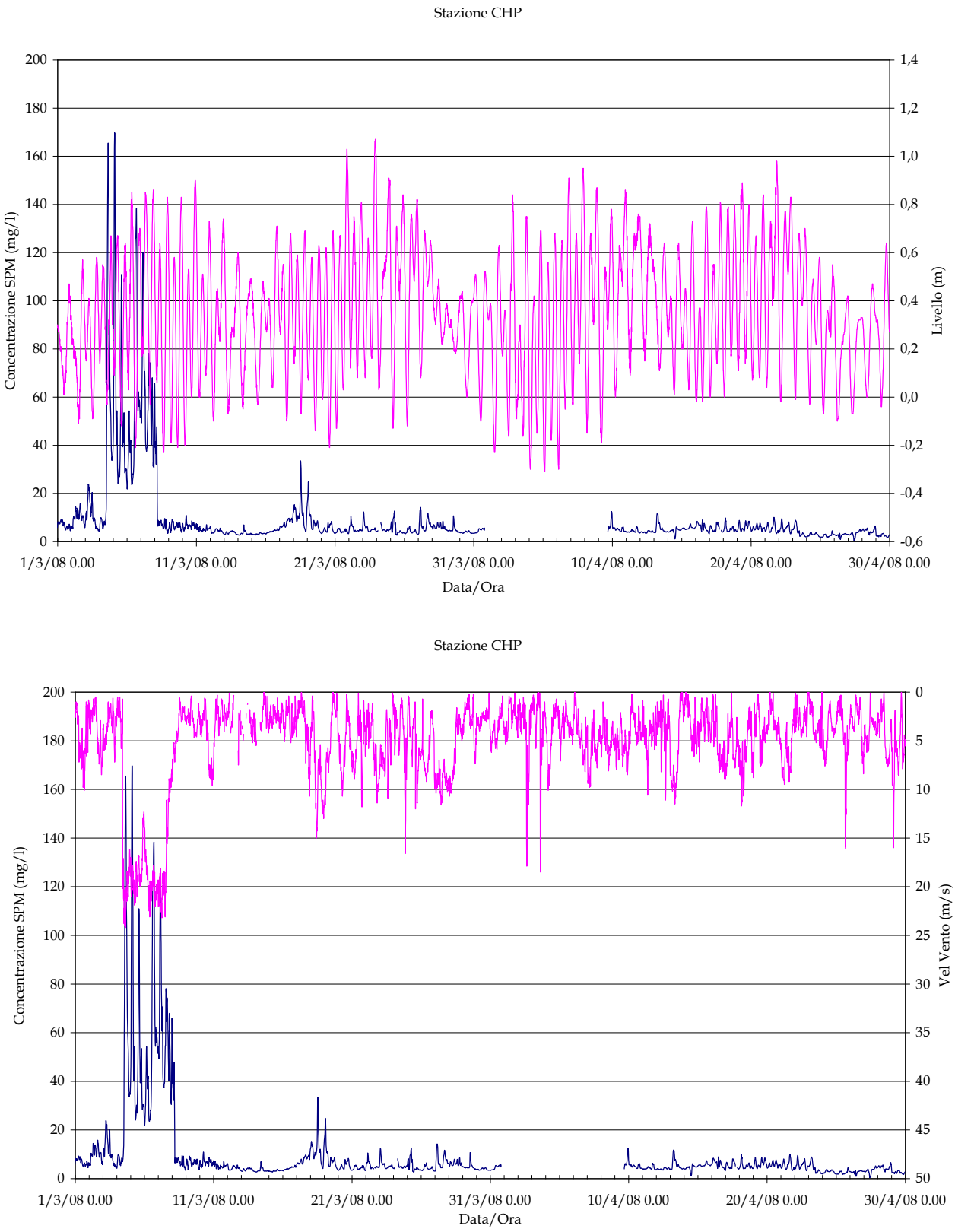


Figura 2.3 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo marzo-aprile 2008.

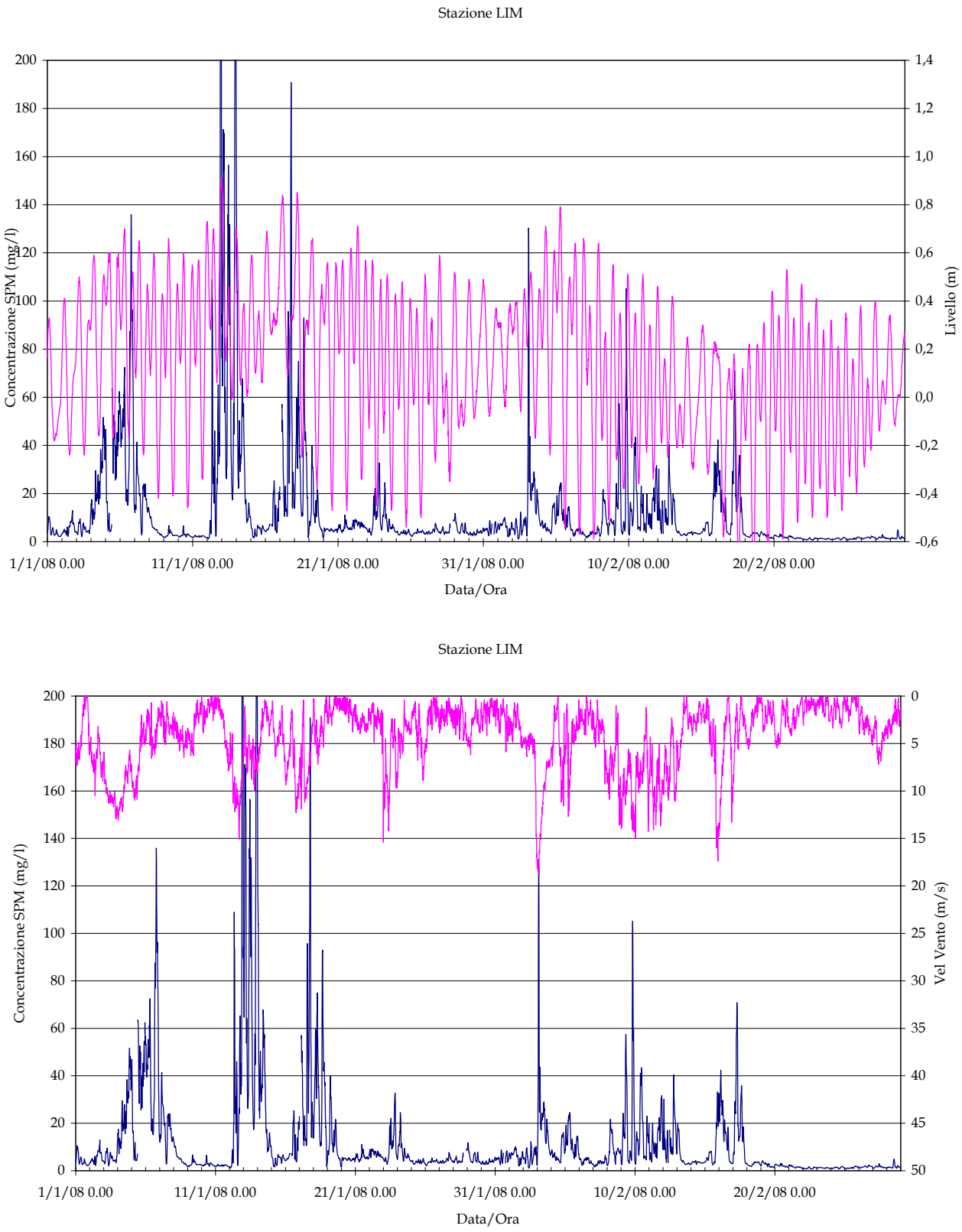


Figura 2.4 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo gennaio-febbraio 2008.

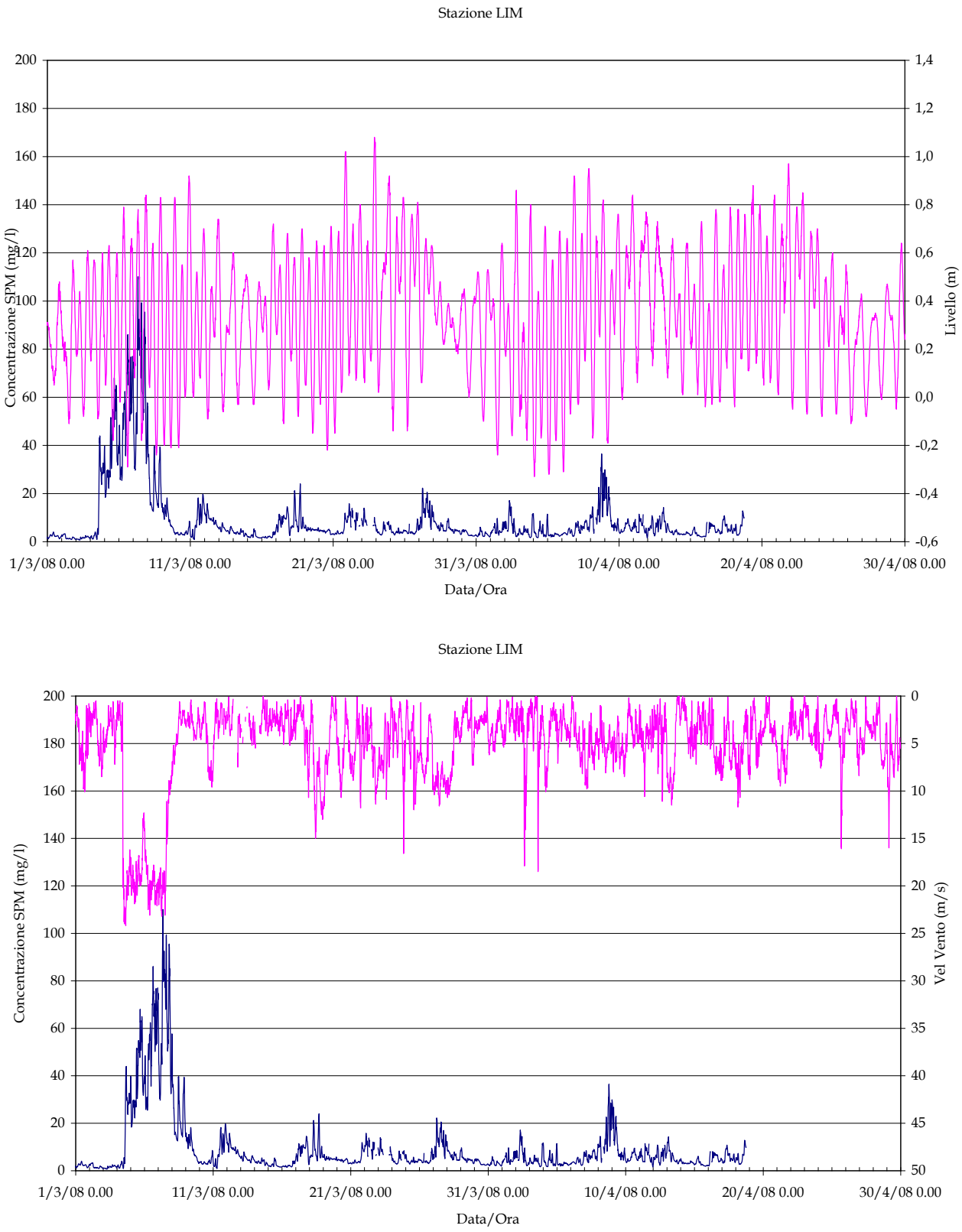


Figura 2.4 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo marzo-aprile 2008.

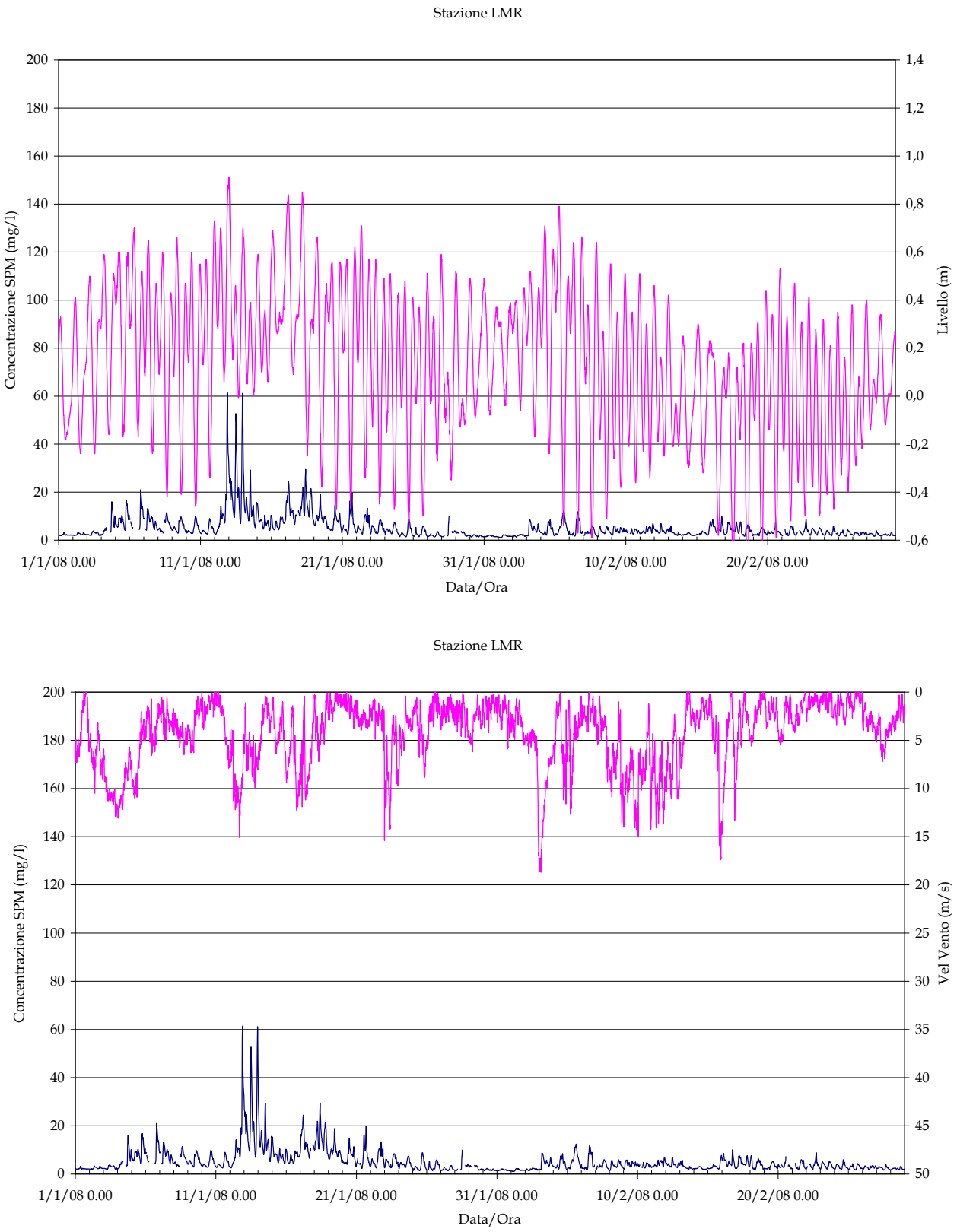


Figura 2.5 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR nel periodo gennaio-febbraio 2008.

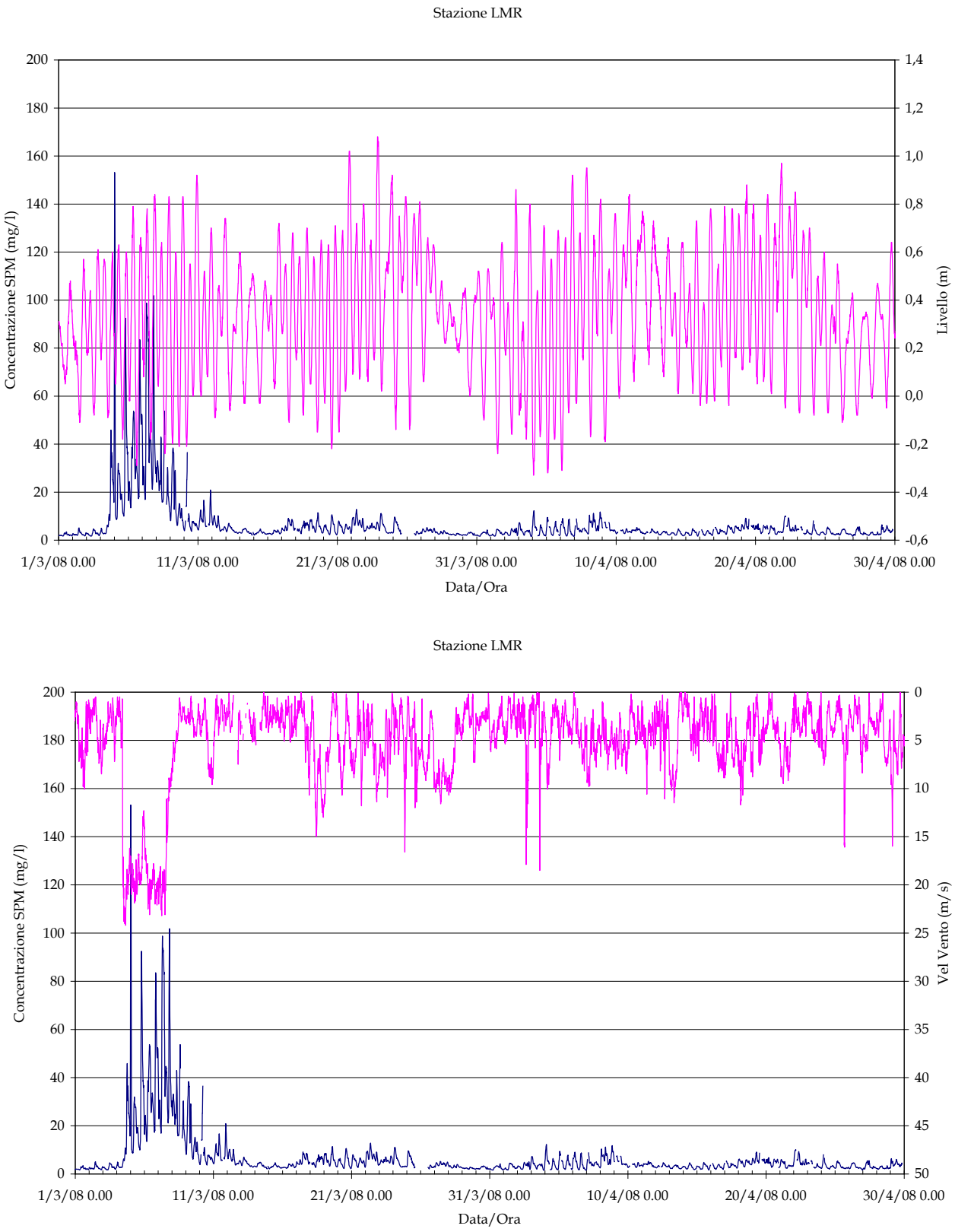


Figura 2.5 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR nel periodo marzo-aprile 2008.

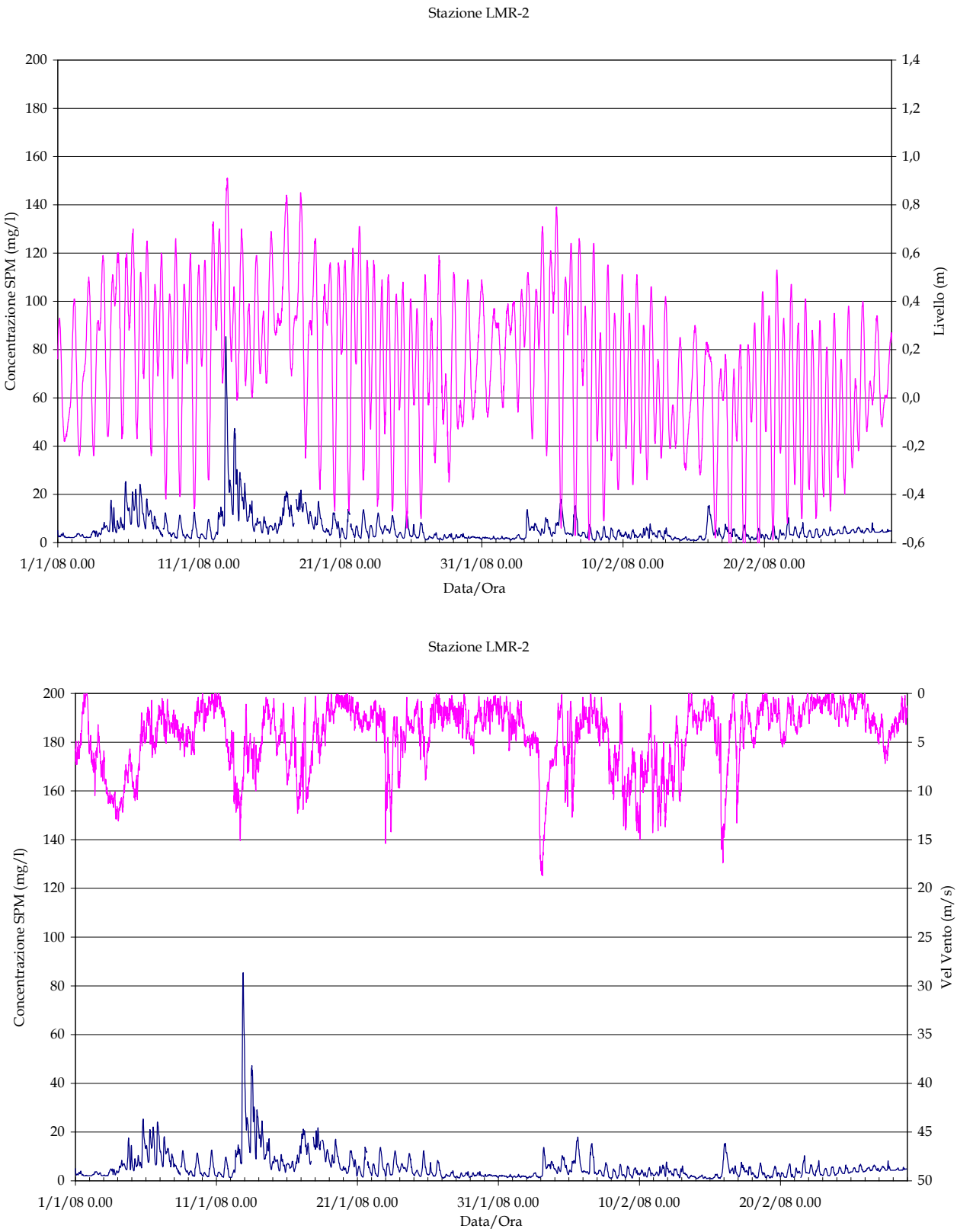


Figura 2.6 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo gennaio-febbraio 2008.

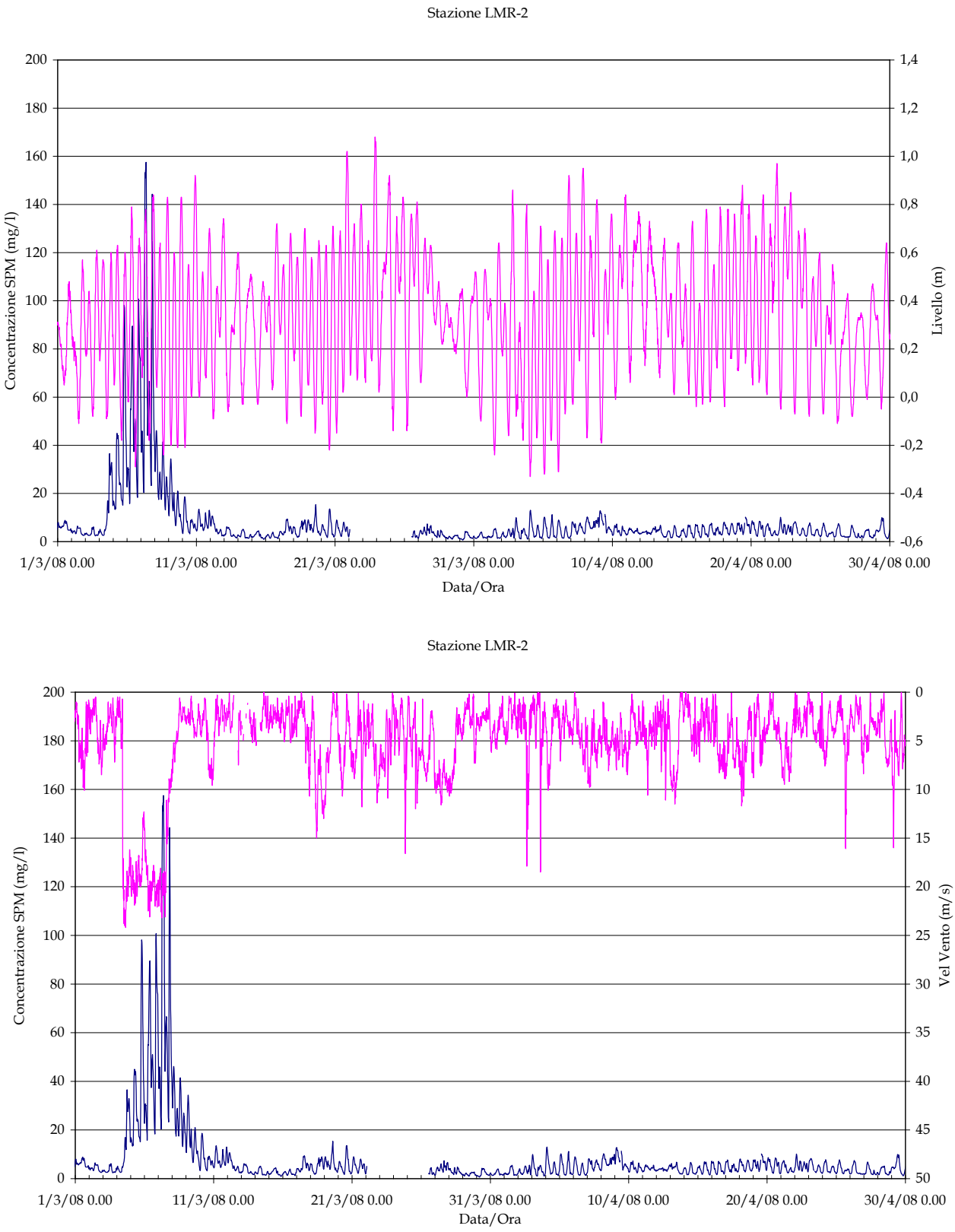


Figura 2.6 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo marzo-aprile 2008.

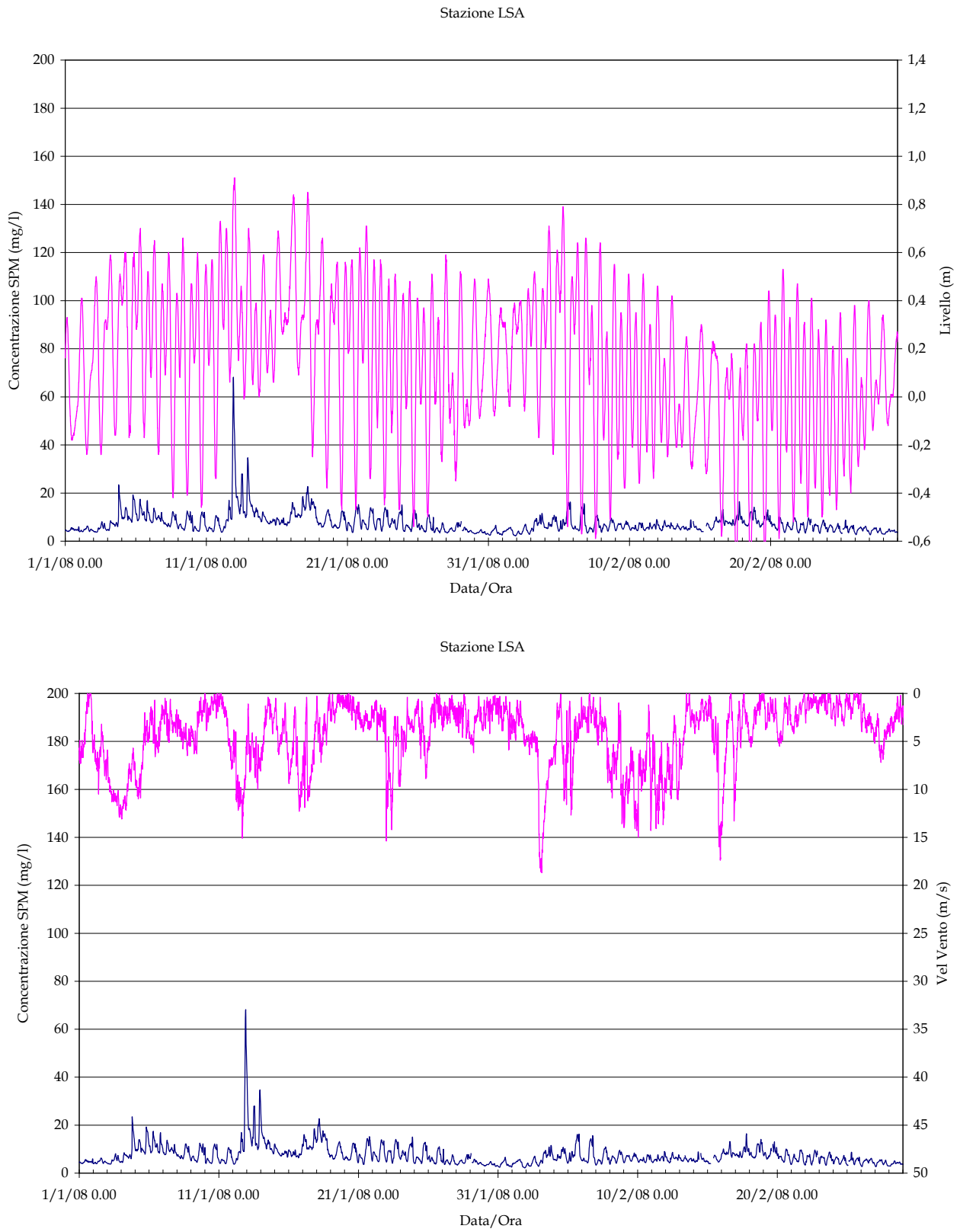


Figura 2.7 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo gennaio-febbraio 2008

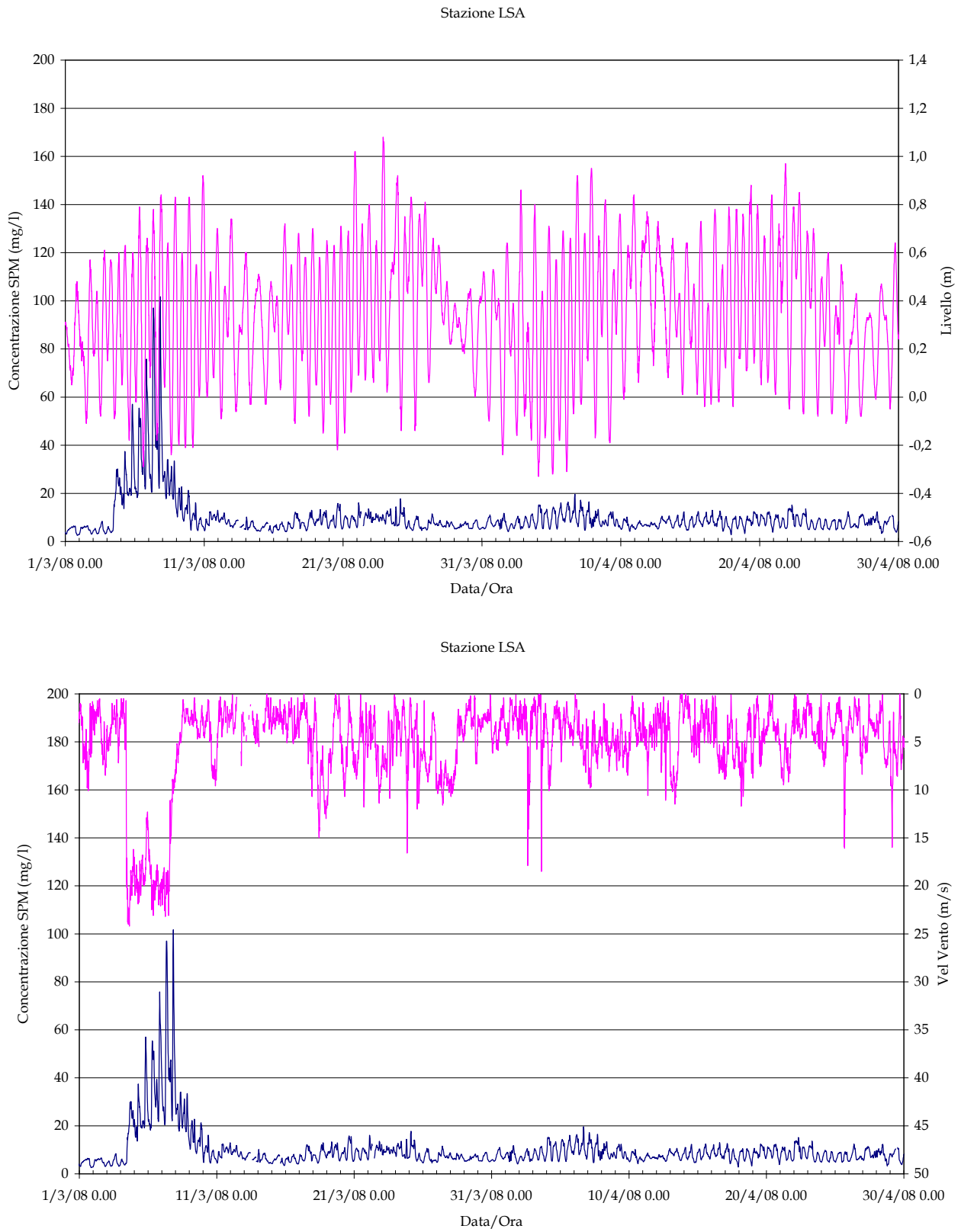


Figura 2.7 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo marzo-aprile 2008.

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 2008.

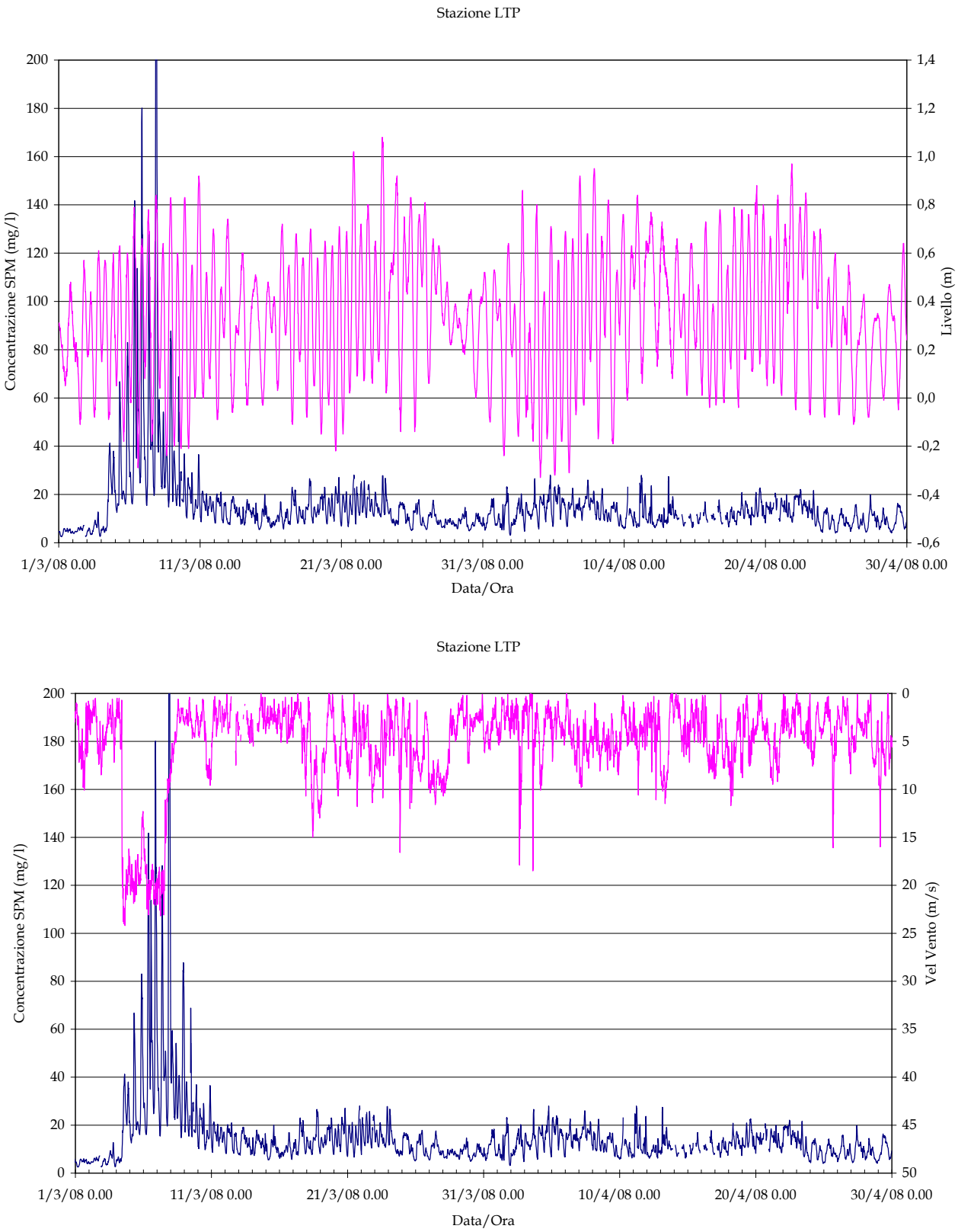


Figura 2.8 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LTP nel periodo marzo-aprile 2008.

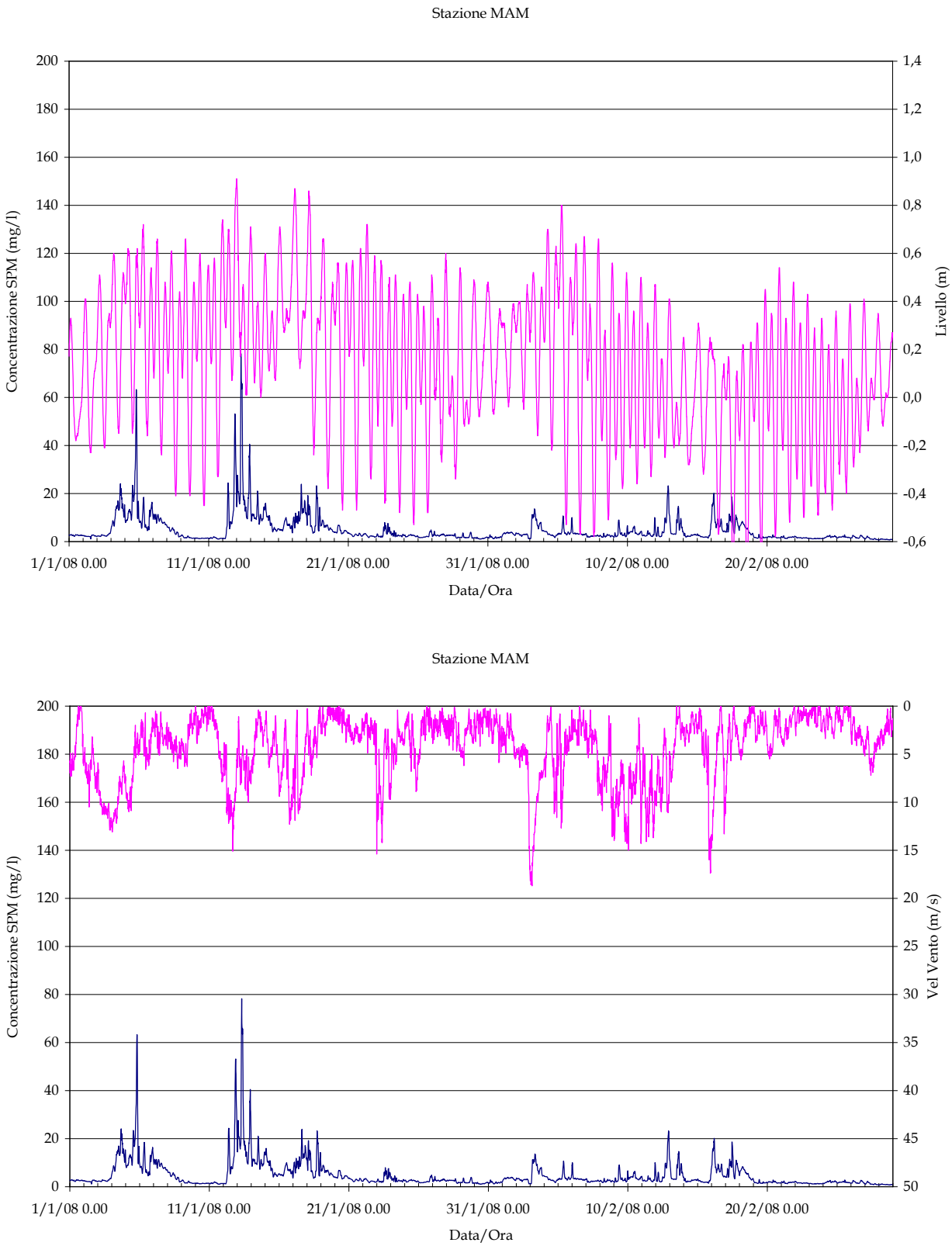


Figura 2.9 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo gennaio-febbraio 2008.

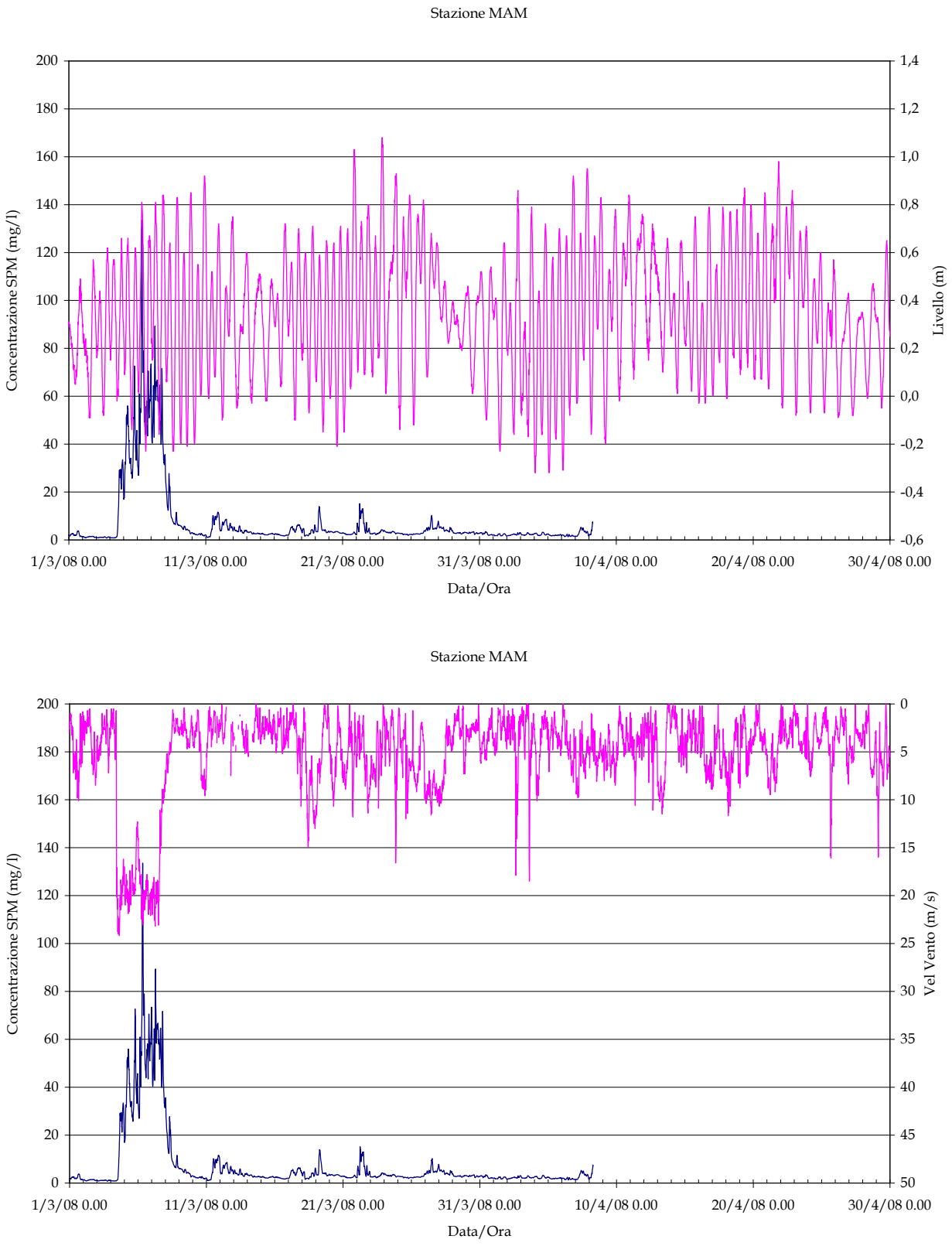


Figura 2.9 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo marzo-aprile 2008.

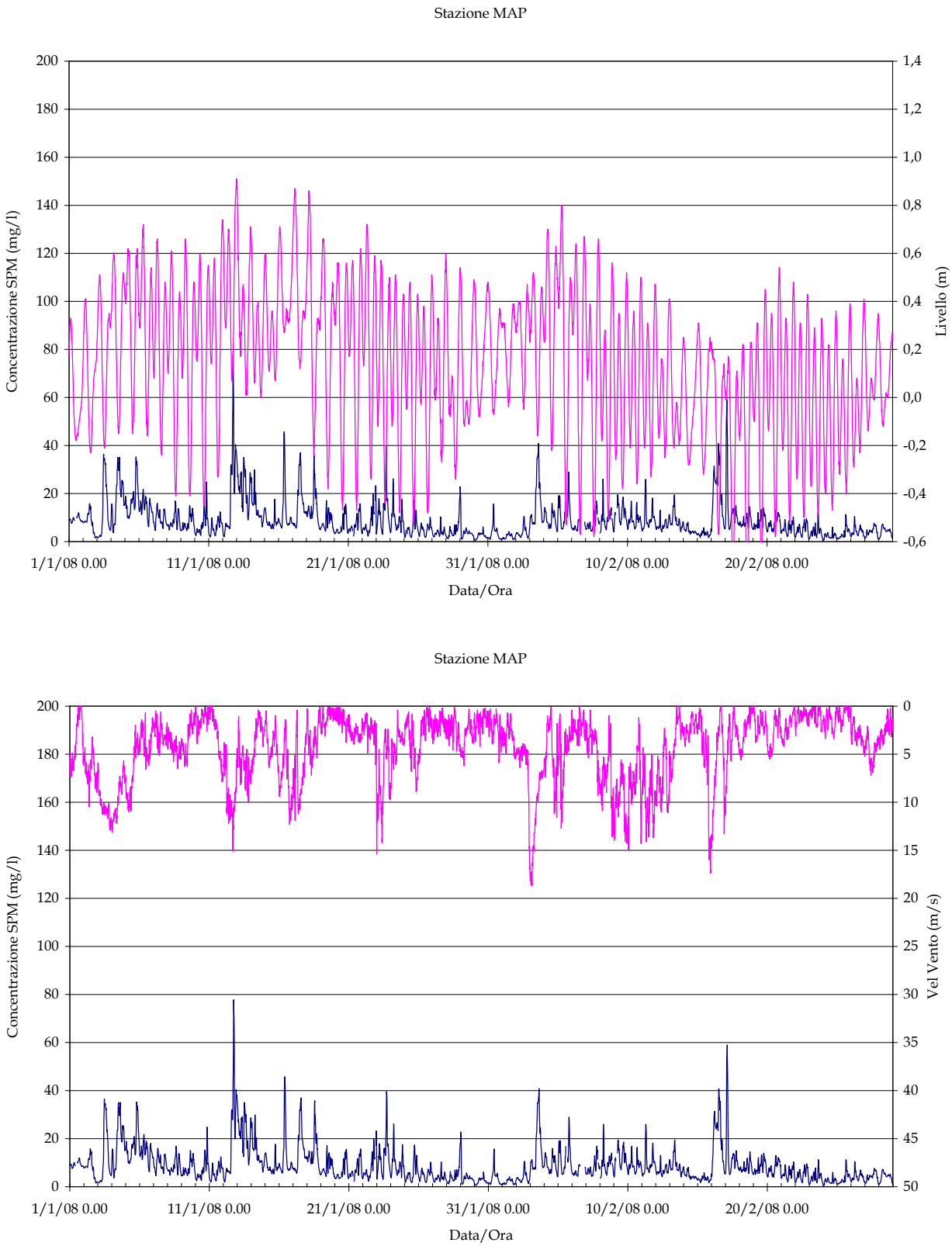


Figura 2.10 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo gennaio-febbraio 2008.

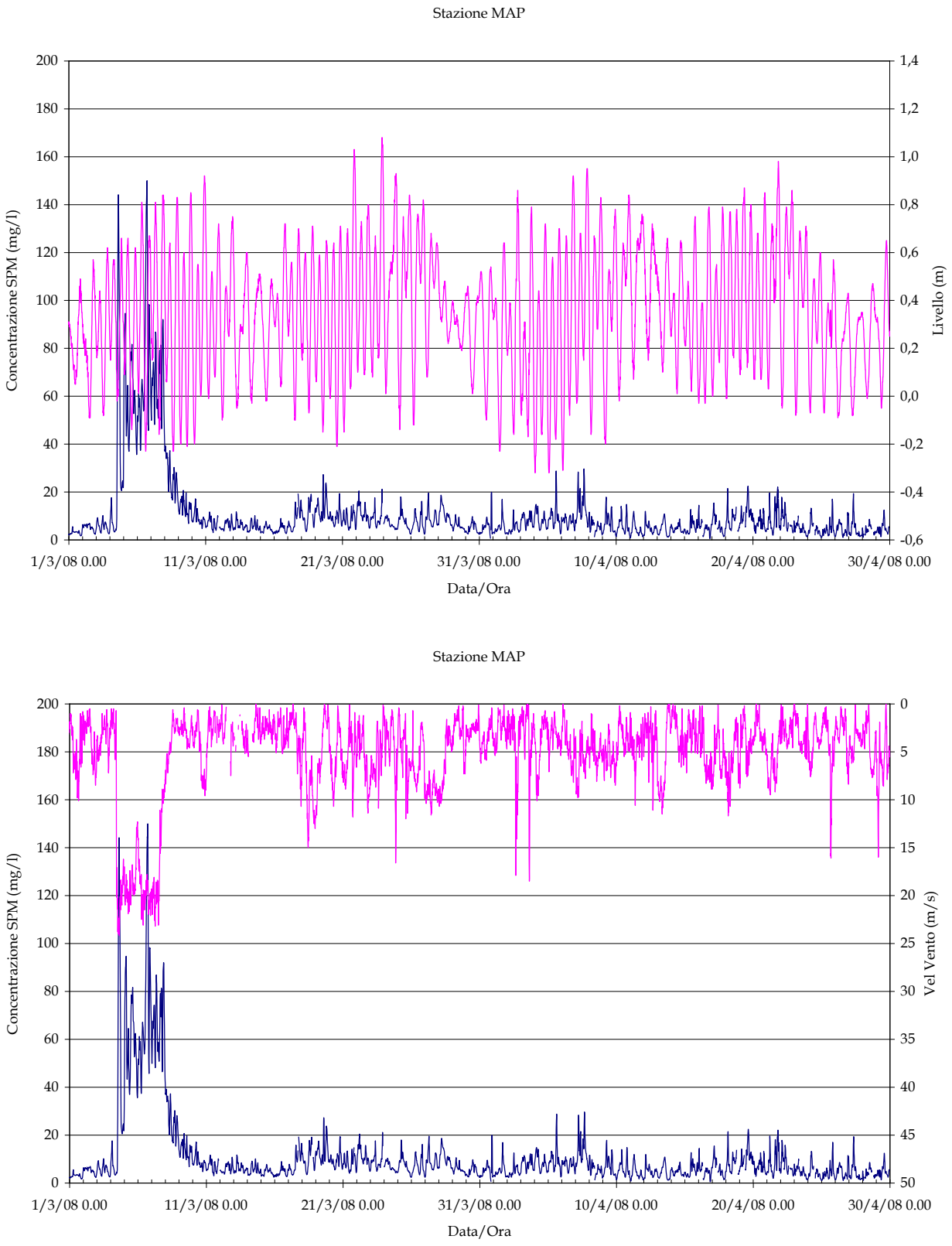


Figura 2.10 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo marzo-aprile 2008.

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**	**LMR-2**	**LSA**	**LTP**	**MAM**	**MAP**
Ntot	9602	10271	11101	11151	11521	11335	9436	11410
Media	6.9	10.8	5.9	6.6	8.7	12.8	5.8	9.7
Dev. St.	12.5	19.8	8.2	10.7	6.8	13.2	10.0	12.4
Max	169.8	395.8	153.1	157.5	101.7	294.4	133.5	150.0
Min	0.3	0.6	1.0	0.6	2.1	2.4	0.7	0.3
25° percentile	3.2	3.0	2.6	2.5	5.4	7.2	2.0	4.2
50° percentile	4.3	4.8	3.7	4.1	7.2	10.2	2.8	6.5
75° percentile	5.9	9.3	5.7	6.5	9.7	14.8	4.9	10.3
95° percentile	14.9	42.9	16.6	18.3	16.7	25.0	19.1	27.4

Per quanto riguarda i risultati è necessario ricordare che le stazioni CHP e MAM hanno presentato, in alcuni periodi, problemi di registrazione dei dati; su queste due stazioni, quindi, l'analisi statistica è stata compiuta su un numero totale di dati inferiore a quello degli altri casi.

Il periodo analizzato non è stato influenzato da eventi meteomarini di particolare intensità, ad eccezione di quello avvenuto nei giorni 4-7 marzo. Le concentrazioni registrate dagli strumenti, quindi, risultano inferiori a quelle del quadrimestre passato (settembre-dicembre 2007, I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/3), ma non ancora paragonabili a quelle del periodo estivo (maggio-agosto 2007) caratterizzato dalla quasi totale assenza di rilevanti eventi meteo (II Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/3).

Per quanto riguarda i valori medi della torbidità, le stazioni che presentano i valori più alti sono LTP (12.8 mg/l), nel canale di Treporti, e LIM (10.8 mg/l), davanti alla Bocca di Lido, seguiti dalla stazione MAP (9.7 mg/l), all'interno della bocca di Malamocco. Molto più omogenei sono i valori medi registrati dalle stazioni posizionate all'interno dei canali delle bocche di Lido e Chioggia (valori medi compresi nell'intervallo 5.9-8.7 mg/l) e dalla stazione MAM (5.8 mg/l), posizionata all'esterno della Bocca di Malamocco, ma al di fuori della zona più frequentemente interessata dai frangenti e dall'influenza del trasporto litoraneo.

Dalla tabella 2.3 risulta che i valori di torbidità massimi hanno una spiccata variabilità, compresa tra 101.7 e 395.8 mg/l. Il valore massimo, in tutte le stazioni, è stato registrato nel corso dell'evento del 4-7 marzo, durante il quale la velocità media oraria del vento, misurata alla piattaforma oceanografica "Acqua Alta" del CNR-ISMAR di Venezia, si è mantenuta superiore ai 15 m/s per 3 giorni consecutivi, con un picco di 24.2 m/s.

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 4.2 e 7.2 mg/l) nettamente più elevati delle altre stazioni. La buona corrispondenza fra i valori della stazione a mare LIM (3.0

mg/l) e quelle collocate entro i canali di bocca (nel range 2.5-3.2 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. Inferiore agli altri è il valore registrato della stazione a mare MAM (2.0 mg/l).

Queste stesse considerazioni valgono anche per il 50° percentile che rappresenterebbe le condizioni più frequentemente incontrate: le concentrazioni nella stazione a mare LIM (4.8 mg/l) si discostano minimamente da quelle rilevate nelle stazioni ubicate entro le bocche di Lido e Chioggia (3.7-4.3 mg/l). Le stazioni LTP, LSA e MAP presentano i valori più elevati (6.5-10.2 mg/l). Anche stavolta la stazione MAM presenta il valore più basso (2.8 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. Come accaduto nel mesi estivi, i valori nettamente maggiori si riscontrano nella stazione LTP, ubicata ai margini del canale di Treporti (14.8 mg/l), e nella stazione della bocca di Malamocco MAP (10.3 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 riscontrata nel quadrimestre estivo maggio-agosto: LTP e MAP, assieme a LIM (42.9 mg/l), presentano i valori più elevati (26 mg/l circa), mentre i valori più bassi sono stati registrati nelle stazioni CHP, LMR e LSA (16 mg/l o meno). Le altre stazioni presentano concentrazioni intermedie (18-19 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 del quadrimestre settembre-dicembre, i valori di concentrazione relativi allo strumento LMR-2 siano più elevati di LMR (valore medio 6.6 e 5.9 mg/l rispettivamente). In questo periodo, infatti, inizia a prevalere il carico organico in prossimità della superficie (I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/3), mentre, in precedenza, 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/3).

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 2008

Stazione	**CHP**	**LIM**	**LMR**	**LMR-2**	**LSA**	**LTP**	**MAM**	**MAP**
Numero condizioni eccezionali con C>30 mg/l	8	50	20	16	13	22	8	21
Numero di eventi CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento	8	20	20	16	12	15	4	16
Numero di eventi la cui causa non è legata alla risospensione da vento	0	30	0	0	1	7	2	5

Come emerge dalla tabella 2.4, la maggior parte dei superamenti del limite di 30 mg/l sono dovuti ad eventi di risospensione del materiale da vento, soprattutto bora e scirocco.

Oltre alla causa, preponderante, del vento sostenuto se ne possono individuare altre, valide solamente per alcune stazioni e per particolari tipologie e durate di eventi:

- l'aumento del trasporto litoraneo e quindi del carico, rilevabile anche nei giorni successivi all'evento scatenante di vento sostenuto evidente soprattutto presso la stazione a mare LIM;
- 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, 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 può portare alla risospensione di materiale nella colonna d'acqua.

È interessante analizzare approfonditamente l'andamento delle concentrazioni del sedimento presso la bocca di porto di Lido nel corso dell'evento meteomarino del 4-7 marzo (Figure 2.11). Si ricorda che la velocità media oraria del vento, misurata alla piattaforma oceanica "Acqua Alta" del CNR-ISMAR di Venezia, si è mantenuta superiore ai 15 m/s per 3 giorni consecutivi, con un picco di 24.2 m/s.

Mentre la concentrazione rilevata nella stazione a mare LIM, data la sua ubicazione in mare aperto, è scarsamente influenzata dall'andamento della marea, le stazioni nella bocca di porto e quelle interne presentano un comportamento strettamente legato al livello dell'acqua, che mostra come il materiale solido venga trasportato dal mare verso la laguna in fase di marea crescente. Esso raggiunge le varie sonde in tempi diversi, in funzione, ovviamente, alla posizione della stazione stessa; LMR-2, infatti, è la prima stazione che rileva l'aumento della torbidità in acqua, mentre la stazione LTP è l'ultima che viene raggiunta dallo stesso materiale.

Ciascuna stazione interna, quindi, presenta un doppio picco di torbidità ad ogni fase di marea: il principale si ha con marea entrante e riguarda, come detto, il materiale proveniente dal mare; il secondo, di intensità nettamente inferiore, si nota in corrispondenza del minimo di marea ed è provocato dalla risospensione del materiale dei fondali lagunari.

Dalla lettura dei grafici appare evidente come le stazioni LTP ed LMR-2, in maniera minore, presentino nel momento di massimo di marea valori di concentrazione superiori a quelli della stazione LIM. Il motivo non è semplice da definire: probabilmente la stazione LIM non viene investita direttamente dalla corrente litoranea che entra all'interno della bocca di porto ma si trova al di fuori della fascia della zona a maggiore concentrazione. Ciò appare anche nell'immagine ottenuta dall'elaborazione delle foto aeree del MAV scattate in settembre 2007 (Figura 2.12). La

stazione LIM, quindi, rappresenta le condizioni tipiche di una staziona di mare aperto, al di fuori della zona di frangente.

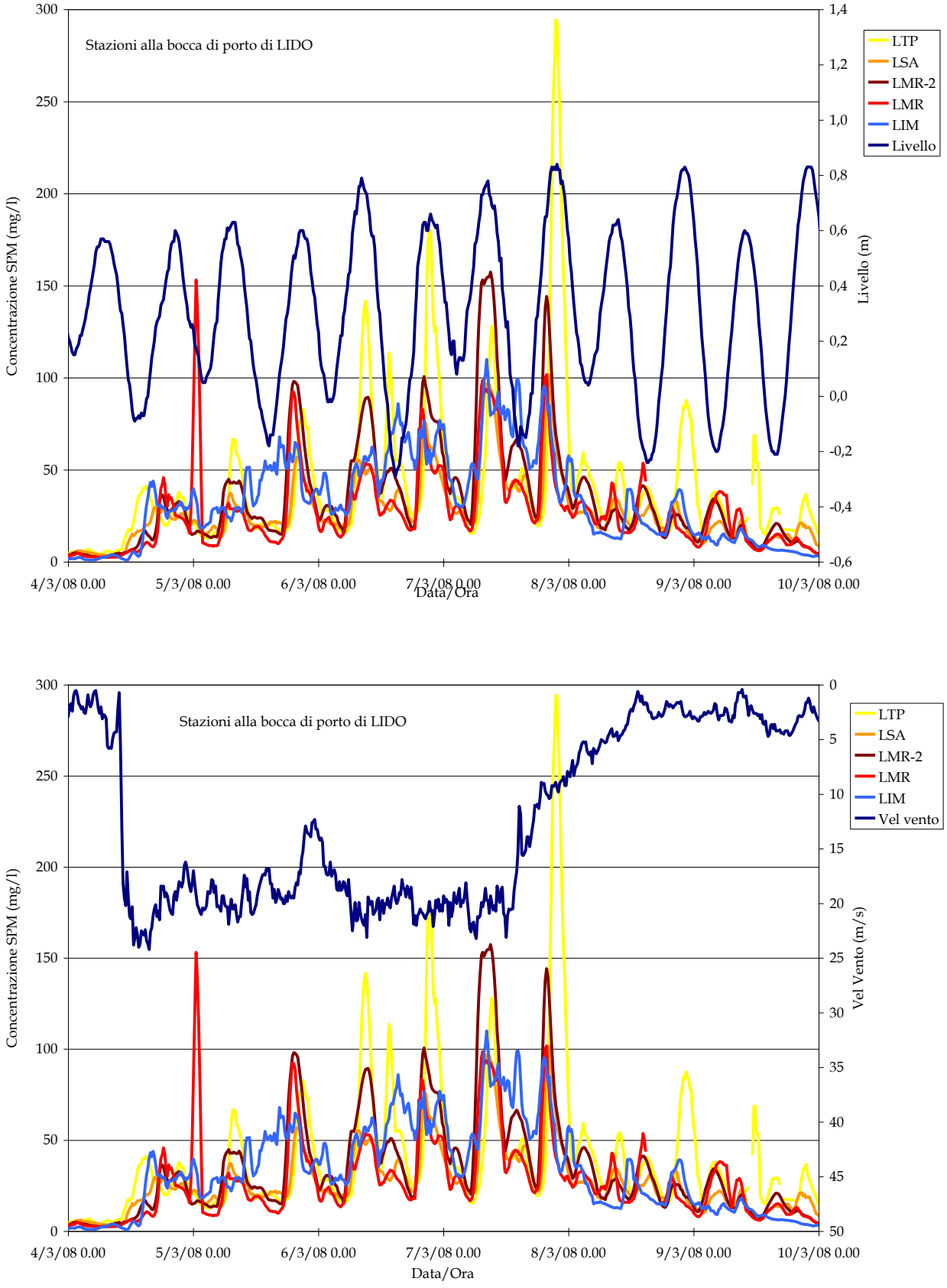


Figura 2.11. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alle stazioni presso la bocca di porto di Lido nei giorni 4-10 marzo 2008.

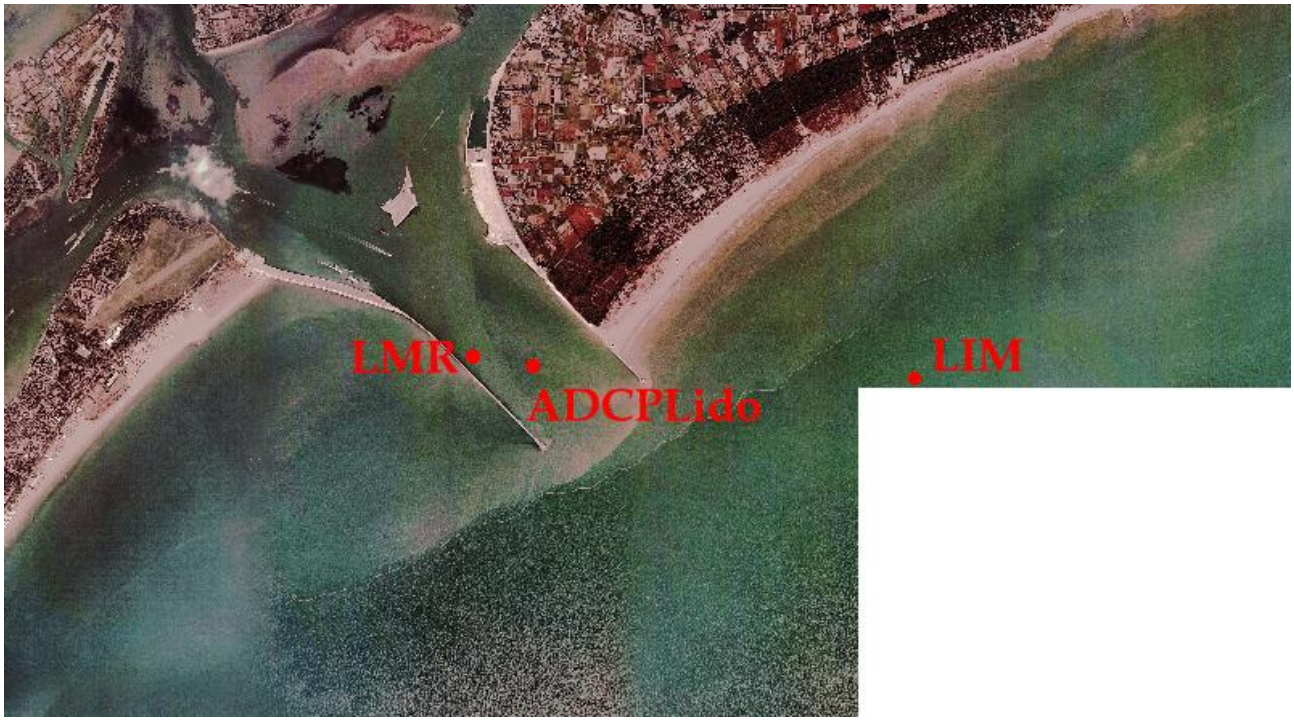


Figura 2.12. Bocca di Lido con, in rosso, la posizione dei torbidimetri LIM, LMR e della sonda ADCP. Elaborazione foto volo MAV settembre 2007.

2.3 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche

L'obbiettivo del monitoraggio è stato sia quello di registrare 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 un'estensione tale da interessare le stazioni fisse per la registrazione della torbidità. Il pennacchio generato dalle draghe è stato monitorato dalla strumentazione montata su imbarcazione e segnalato nei rapporti di campagna.

Nel periodo che va da gennaio ad aprile 2008 nella bocca di Lido erano assenti attività in grado di influenzare significativamente la torbidità della colonna d'acqua. In particolare, nel canale San Nicolò alcune draghe a grappo hanno effettuato un modesto dragaggio all'interno del recesso di barriera: lo scavo ha interessato la porzione del canale di San Nicolò compresa fra l'isola Nuova, in fase di costruzione, e la spalla sud; nel canale di Treporti alcune draghe a grappo hanno effettuato un modesto dragaggio nelle aree adiacenti alle spalle est e ovest, e nel recesso di spalla est. In tutto il periodo del monitoraggio non sono state effettuate attività di dragaggio mediante draga idrorefluente a sfioro.

Presso la bocca di Malamocco le attività in corso erano quelle nel bacino di evoluzione prospiciente all'area di prefabbricazione dei cassoni (Syncrolift) e nel canale, per la livellazione del fondale. Il monitoraggio del secondo anno (Rapporto Finale, Studio B.6.72 B/2) ha confermato il modesto impatto in termini di aumento del materiale solido in sospensione provocato della draga idrorefluente nel bacino di evoluzione, nonchè un rilascio di materiale solido abbastanza discontinuo attraverso l'apertura esistente nel bacino di refluimento, in relazione all'attività di scavo. Infatti, la torbidità prodotta nel bacino di evoluzione, nei periodi monitorati, rimane generalmente confinata all'interno dello stesso che, essendo un bacino quasi chiuso, è stato interessato solo in modo molto limitato dalla dispersione dovuta alla corrente di marea, anche se, in alcuni casi, si possono osservare delle fuoriuscite (Figura 2.13).

Figura 2.13. Bocca di Malamocco con, in rosso, la posizione del torbidimetro MAP e della sonda ADCP. Elaborazione foto volo MAV settembre-ottobre 2007.

Presso la bocca di Chioggia, nel periodo indagato, non erano presenti importanti operazioni di scavo; solo una o due draghe con benna a grappo erano operanti in area confinata all'interno del Porto rifugio lato mare.

Per il periodo corrispondente all'intervallo ottobre 2007-marzo 2008 sono stati resi disponibili dalla Direzione Lavori gli orari di lavoro ed i volumi scavati per le seguenti opere:

- Bocca di Lido: OP/299: dal 6/11/2007 al 21/12/1007,

  OP/353: dal 30/11/2007 al 23/01/2008,

  OP/359-2: dal 15/02/2009 al 31/03/2008,

  OP/388-2: dal 10/03/2008 al 31/03/2008,

  OP/389-1: dal 13/03/2008 al 31/03/2008,

  OP/410-1: dal 1/03/2008 al 26/03/2008.

- Bocca di Malamocco: OP/373-2: dal 21/11/07 al 31/03/2008,

OP/413-1: dal 05/10/2007 al 31/03/2008,

OP/414-1: dal 1/10/2007 al 27/02/2008.

- Bocca di Chioggia: OP/357-2A: dal 29/09/2007 al 28/03/2008.

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, per es. "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 particellato 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", Disciplinare Tecnico, Venezia, Settembre 2004

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

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

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

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", Disciplinare Tecnico, Venezia, Febbraio 2006

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

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", Disciplinare Tecnico, Venezia, Febbraio 2007

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", I Rapporto di Valutazione, Venezia, Settembre 2007

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", II Rapporto di Valutazione, Venezia, Gennaio 2008

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.

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 transmissometery 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.