



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

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/4**

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

Contratto prot.n. 18121 si/gce/fbe

Documento **MATRICE: ACQUA**

**MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA  
TORBIDITÀ IN CONTINUO**

**I RAPPORTO DI VALUTAZIONE**

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA MAGGIO AD  
AGOSTO 2008**

Versione **1.0**

Emissione **15 settembre 2008**

Redazione

Dott.ssa Caterina Dabalà  
(CORILA)

Verifica

Dott. Luca Zaggia  
(ISMAR-CNR)

Verifica

Prof. Giampaolo Di Silvio

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE E METODOLOGIA.....</b>                                                   | <b>4</b>  |
| 1.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.....                | 5         |
| 1.2 Strumentazione per la misura della torbidità.....                                       | 11        |
| 1.3 Descrizione dell'attività di gestione della rete di stazioni fisse.....                 | 12        |
| 1.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati.....                                 | 16        |
| 1.4.1 Procedura per la filtrazione dei picchi istantanei.....                               | 17        |
| 1.4.2 Correzione per il fouling .....                                                       | 18        |
| 1.5 Calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM.....     | 18        |
| <b>2. ANALISI DEI DATI.....</b>                                                             | <b>19</b> |
| 2.1 Serie temporali della torbidità/SPM.....                                                | 25        |
| 2.2 Analisi dei picchi di torbidità.....                                                    | 43        |
| 2.3 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche..... | 46        |
| 2.4 Struttura dell'archivio dei dati.....                                                   | 46        |
| <b>3. BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                                 | <b>47</b> |

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

Alla stesura del presente rapporto hanno contribuito:

F. Costa (ISMAR – CNR, Venezia)

C. Dabalà (CORILA)

G. Di Silvio (IMAGE – UNIPD)

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

Nel caso B) le acquisizioni si riferiscono, invece, alla misura della torbidità in continuo mediante strumenti fissi (torbidimetri), opportunamente posizionati, nelle aree di pertinenza dei tre canali di bocca, sia entro la laguna sia all'esterno delle bocche. In questo caso la misura puntuale della torbidità fornisce un'indicazione della presenza del particolato sospeso al variare del campo di corrente nei diversi cicli di marea 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, 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 del SPM dipende, infatti, dal peso totale delle particelle in sospensione con diametro maggiore di 0.4  $\mu\text{m}$  ed è, quindi, funzione diretta del numero, della dimensione e del peso specifico delle particelle. La torbidità, invece, è una funzione diretta del numero, della superficie e

dell'indice di rifrazione delle particelle in sospensione, ma, nel contempo, è una funzione inversa delle dimensioni delle stesse.

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

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 insieme all'acquisizione dei parametri chimico-fisici dell'acqua e 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, e vanno pertanto continuate. Gli eventi naturali in grado di influenzare l'andamento della concentrazione del particolato in sospensione si succedono infatti in maniera irregolare e 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

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

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 3.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel 2007-2008.

## CORILA

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

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

| <b>Sigla<br/>Identificativa</b> | <b>Località</b>          | <b>Tipo<br/>postazione</b> | <b>Ente</b>                        | <b>Fondale<br/>(m)</b> | <b>Coordinate<br/>UTM WGS 84</b> | <b>Coordinate<br/>Gauss Boaga</b> | <b>Periodo di<br/>utilizzo</b>                                                   | <b>Data di re-<br/>installazione<br/>(Studio B.6.72 B/2,<br/>B/3 e B/4)</b> |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>CHM1</b>                     | CHIOGGIA<br>Mare         | Meda<br>segnalazione       | CVN-MAV                            | 13.5                   | 289952 E<br>5011996 N            | 2311697.67<br>5011917.71          | Studio B.6.72 B/1                                                                |                                                                             |
| <b>CHM2</b>                     | CHIOGGIA<br>Mare         | Meda<br>segnalazione       | CVN-MAV                            | 13.5                   | 0289792 E<br>5012068 N           | 2312244.76<br>5013024.91          | Studio B.6.72 B/1                                                                |                                                                             |
| <b>CHP</b>                      | CHIOGGIA<br>Porto        | Postazione<br>mareografica | Comune VE<br>CVN-MAV               | 2.1                    | 286559 E<br>5012376 N            | 2306695.73<br>5012490.85          | Studio B.6.72 B/1<br>Studio B.6.72 B/2<br>Studio B.6.72 B/3<br>Studio B.6.72 B/4 | 8/06/2006                                                                   |
| <b>LIM</b>                      | LIDO<br>Mare             | Postazione<br>mareografica | CVN-MAV                            | 9.0                    | 300744 E<br>5033387 N            | 2321595.15<br>5033110.08          | Studio B.6.72 B/1<br>Studio B.6.72 B/2<br>Studio B.6.72 B/3<br>Studio B.6.72 B/4 | 15/06/2006                                                                  |
| <b>LMR</b>                      | LIDO<br>Bocca di porto   | Meda Rossa,<br>Diga Sud    | APAT                               | 9.5                    | 297740 E<br>5033614 N            | 2318223.64<br>5033215.04          | Studio B.6.72 B/1<br>Studio B.6.72 B/2<br>Studio B.6.72 B/3<br>Studio B.6.72 B/4 | 18/04/2005                                                                  |
| <b>LMR-2</b>                    | LIDO<br>Bocca di porto   | Meda Rossa,<br>Diga Sud    | APAT                               | 9.5                    | 297740 E<br>5033614 N            | 2318223.64<br>5033215.04          | Studio B.6.72 B/2<br>Studio B.6.72 B/3<br>Studio B.6.72 B/4                      | 15/06/2006                                                                  |
| <b>LSA</b>                      | LIDO<br>Canale S. Nicolò | Meda<br>Bianco-Nera        | Capitaneria<br>Porto -<br>Marifari | 5                      | 295870 E<br>5034915 N            | 2315918.06<br>5034973.54          | Studio B.6.72 B/2<br>Studio B.6.72 B/3<br>Studio B.6.72 B/4                      | 12/06/2006                                                                  |
| <b>LSN</b>                      | LIDO<br>Canale S. Nicolò | Postazione<br>mareografica | MAV                                | 7.0                    | 295624 E<br>5034542 N            | 2315566.36<br>5034465.53          | Studio B.6.72 B/1                                                                | 8/06/2006                                                                   |
| <b>LTP</b>                      | LIDO<br>Canale Treporti  | Postazione<br>mareografica | MAV                                | 2.0                    | 299083 E<br>5036390 N            | 2318835.86<br>5036184.94          | Studio B.6.72 B/1<br>Studio B.6.72 B/2<br>Studio B.6.72 B/3<br>Studio B.6.72 B/4 | 8/06/2006                                                                   |



## CORILA

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

| <b>Sigla<br/>Identificativa</b> | <b>Località</b>    | <b>Tipo<br/>postazione</b> | <b>Ente</b>          | <b>Fondale<br/>(m)</b> | <b>Coordinate<br/>UTM WGS 84</b> | <b>Coordinate<br/>Gauss Boaga</b> | <b>Periodo di<br/>utilizzo</b>                                                   | <b>Data di re-<br/>installazione<br/>(Studio B.6.72 B/2,<br/>B/3 e B/4)</b> |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>MAM</b>                      | MALAMOCCO<br>Mare  | Postazione<br>mareografica | CVN-MAV              | 11.0                   | 292432 E<br>5024099 N            | 2312635.53<br>5024136.00          | Studio B.6.72 B/1<br>Studio B.6.72 B/3<br>Studio B.6.72 B/4                      | 12/07/2007                                                                  |
| <b>MAP</b>                      | MALAMOCCO<br>Porto | Postazione<br>mareografica | Comune VE<br>CVN-MAV | 2.7                    | 288410 E<br>5024129 N            | 2308923.15<br>5024591.90          | Studio B.6.72 B/1<br>Studio B.6.72 B/2<br>Studio B.6.72 B/3<br>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

Come risulta dai dati in tabella, la rete è, quindi, costituita da due gruppi di stazioni: il primo gruppo costituito 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 (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.

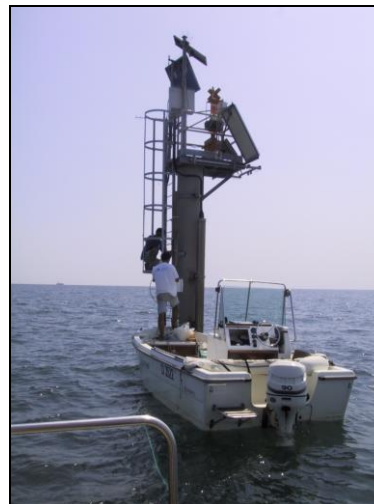


Figura 1.5. Stazione LIM.

## 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 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 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 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.

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 (Fig. 1.6). Le cause di non funzionamento sono dovute soprattutto e sempre più a cedimenti strutturali dei sensori sottoposti settimanalmente a stress meccanici per le operazioni di rimozione del fouling. Le operazioni di pulizia effettuate in campo, se da una parte assicurano misure più precise, dall'altra a lungo andare intaccano la struttura meccanica e fisica dei sensori.

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

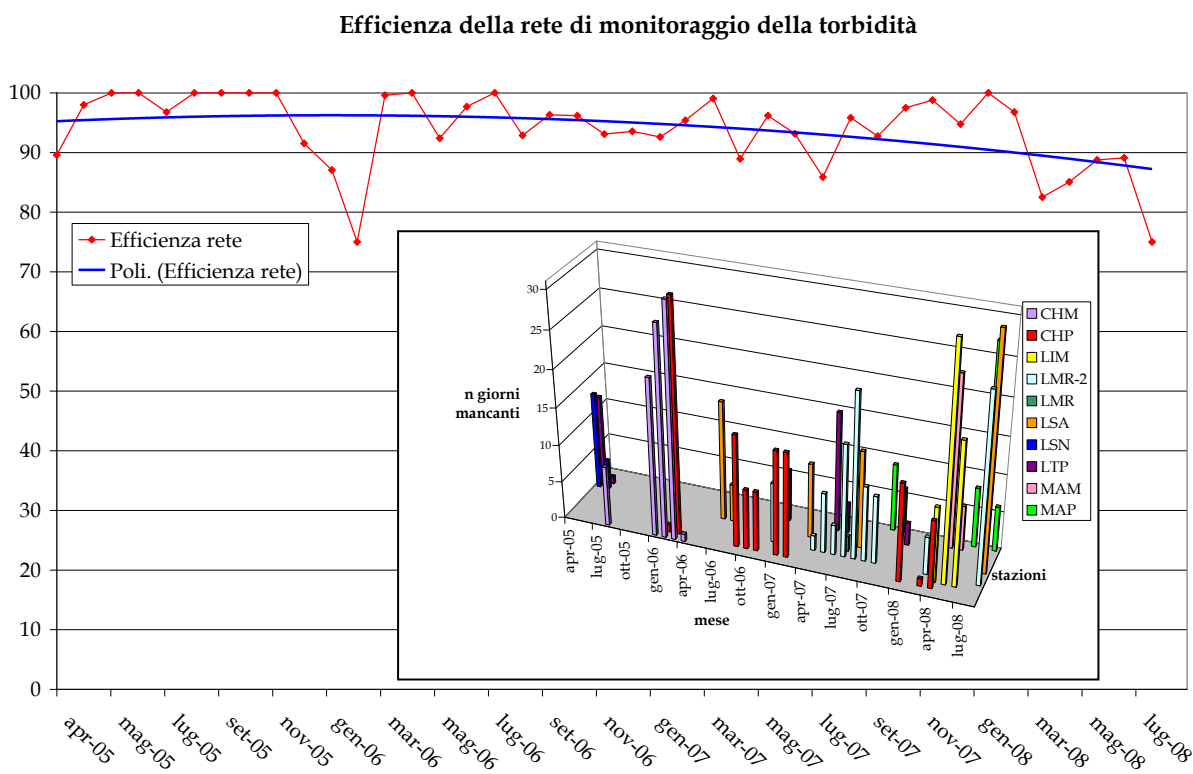


Figura 1.6 Rappresentazione dell'andamento dell'efficienza della rete dei torbidimetri, attiva da aprile 2005.

Il grafico 1.6 riporta l'efficienza della rete dei torbidimetri a partire dal 2005, calcolata come numero di giorni di mancata registrazione ogni mese da ciascuna stazione (istogramma nel riquadro) e come percentuale dei dati acquisiti ogni mese dal complesso delle stazioni (diagramma). 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 nell'ultimo quadrimestre (Fig. 1.7).

Ad oggi l'efficienza della rete è assicurata al prezzo di continue e costose manutenzioni. Tenendo conto che in letteratura una Rete è considerata efficiente se la percentuale dei dati validi è superiore a 80%, si sta programmando una sostituzione graduale dei sistemi di misura nelle varie stazioni.

In particolare, l'efficienza del sistema di alimentazione delle sonde è in diminuzione; infatti, mentre il primo anno le batterie sono durate circa 12 mesi, nell'ultimo periodo alcune postazioni hanno richiesto una sostituzione delle batterie dopo soli 5 mesi e nel periodo invernale, con il calo delle temperature, è previsto che la durata sia ulteriormente inferiore.

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

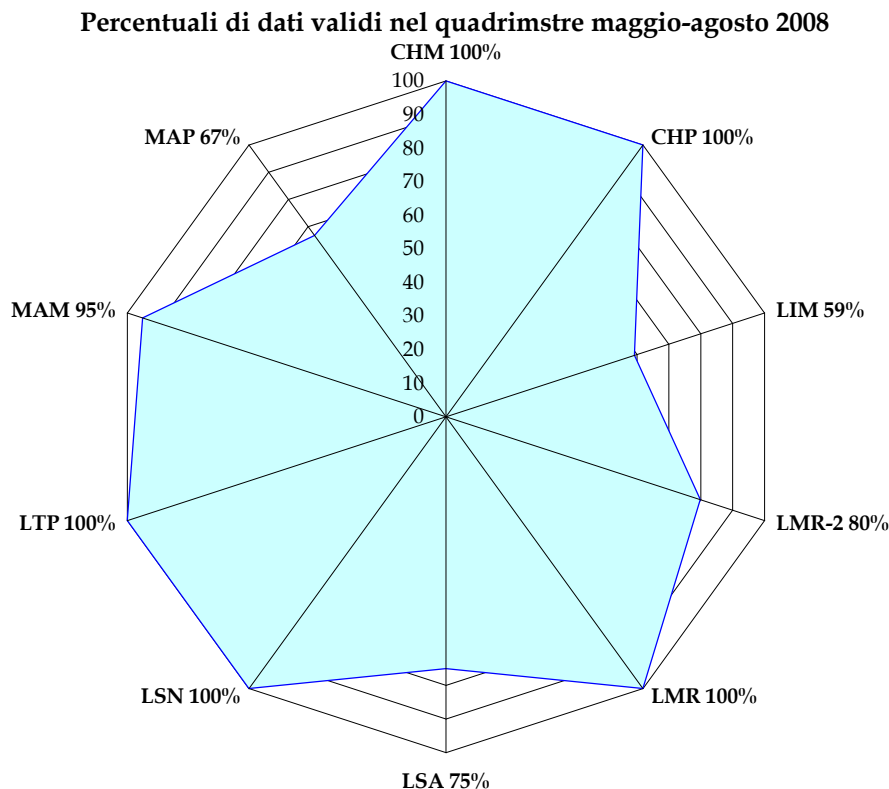


Figura 1.7 Efficienza della rete dei torbidimetri nel quadrimestre maggio-agosto 2008.

Per quanto riguarda le operazioni di pulizia, svolte come consuetudine con cadenza settimanale, è stata inoltre effettuata una serie accurata di operazioni in campo che prevedono il recupero della sonda a bordo di un'imbarcazione (Fig. 1.6), la pulizia dei sensori (con particolare riguardo ai sensori di conducibilità e torbidità, Fig. 1.7) ed il prelievo di campioni d'acqua alla quota di posizionamento del sensore OBS.



Figura 1.6. Operazioni di recupero.



Figura 1.7 Operazioni di pulizia.

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 convertire il dato grezzo 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, pari a 5 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 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  $+4^{\circ}\text{C}$ . Dopo la filtrazione, 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 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 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 1.8 è mostrato uno schema tipico di posizionamento e ancoraggio.

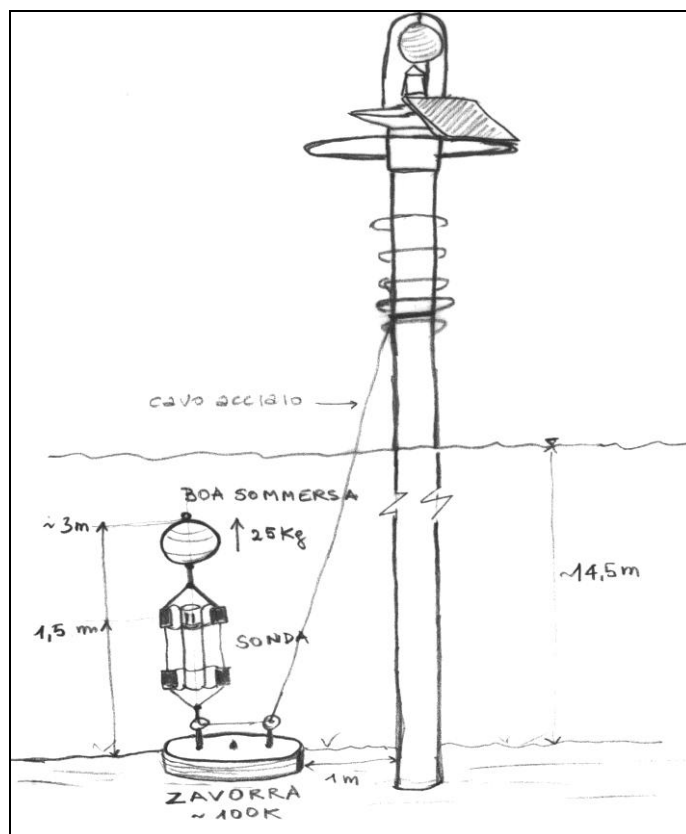


Figura 1.8. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare.





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



Figura 1.6. Immagine subacquea di una sonda multiparametrica, al di sopra di una prateria a fanerogame (stazione MAP).



Figura 1.7. Particolare della testa di una sonda 304 CTD-T dopo 15 giorni di immersione. (Stazione MAP, 4 agosto 2008).

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

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

perturbazioni prolungate, si rende necessario un intervento manuale per l'eliminazione dei picchi residui.

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

#### 1.4.2 Correzione per il fouling

La presenza di *fouling* sul sensore ottico per la misura della torbidità dà luogo ad effetti diversi sulla qualità delle informazioni registrate dalla strumentazione. La situazione più frequente è quella di una deriva progressiva dei valori che aumentano seguendo un andamento approssimabile ad una relazione lineare o, più spesso, con una relazione esponenziale o una polinomiale di secondo grado. Nel caso più semplice (probabilmente piccole incrostazioni che crescono lentamente sulla finestra ottica del sensore) questa deriva non comporta un aumento significativo delle oscillazioni istantanee ed è, quindi, sufficiente correggere la serie temporale 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 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 maggio-agosto 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 maggio-agosto 2008.

| Stazione | Dati validati sul totale del monitoraggio |
|----------|-------------------------------------------|
| CHP      | 96.9                                      |
| LIM      | 31.6                                      |
| LMR-2    | 93.8                                      |
| LMR      | 79.1                                      |
| LSA      | 65.5                                      |
| LTP      | 49.6                                      |
| MAM      | 37.7                                      |
| MAP      | 56.5                                      |

A differenza delle precedenti fasi del monitoraggio, in questo quadrimestre la percentuale di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri è particolarmente bassa. Malgrado i settimanali interventi di pulizia delle sonde (ad eccezione delle stazioni a mare ove, per motivi operativi, la pulizia è quindicinale), infatti, il periodo è stato caratterizzato da numerosi episodi di formazione di *fouling* sui sensori e in particolare sul sensore ottico per la misura della torbidità.

Inoltre, nel periodo maggio-agosto 2008 le sonde hanno evidenziato la necessità di una più frequente verifica della calibrazione dei sensori ed una diminuzione dell'efficienza del sistema di alimentazione. Per questo e per consentire il mantenimento di un accettabile livello di precisione delle misure, sono state necessarie continue manutenzioni che hanno comportato l'interruzione della acquisizione dei dati e che sono il segno evidente dell'invecchiamento della rete di monitoraggio, attiva dal 2005.

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.

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

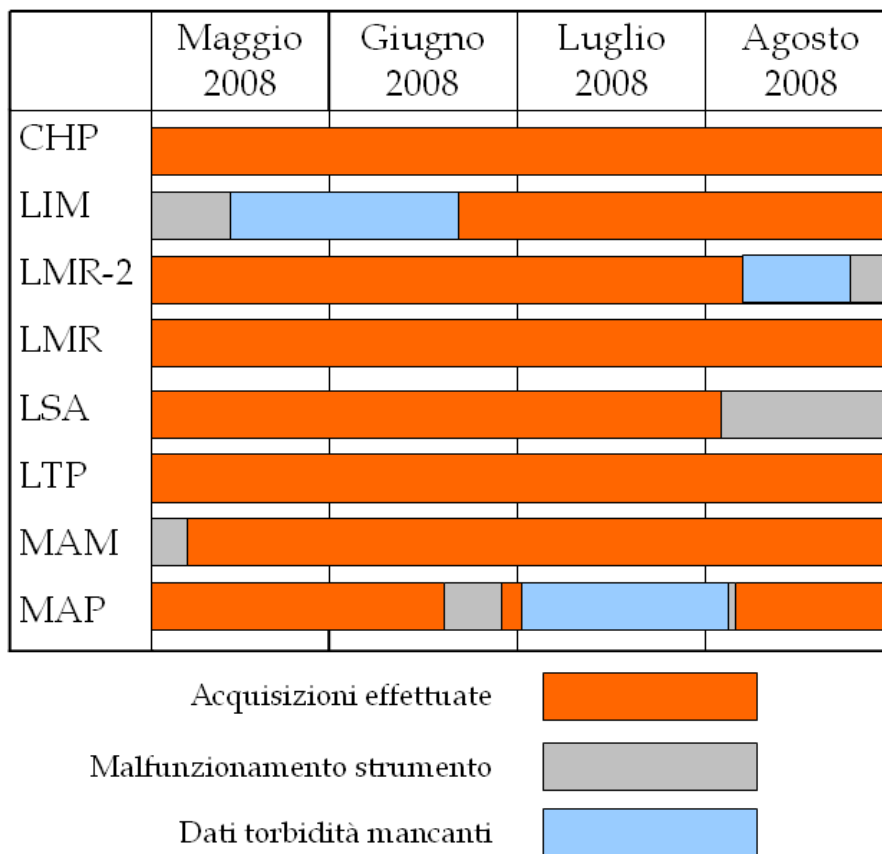


Figura 2.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle otto stazioni oggetto del monitoraggio.

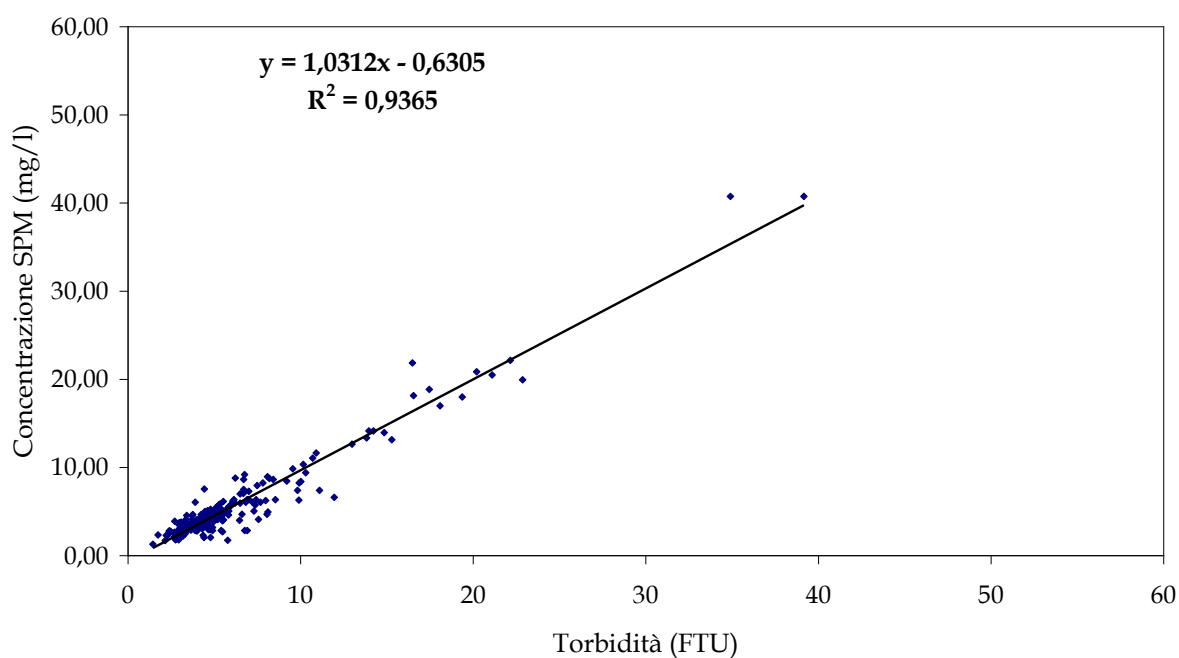
Le relazioni utilizzate per la calibrazione dei dati registrati in ciascuna delle stazioni sono riportate nella Tabella 2.2 e visualizzate nelle Figure 2.2a-h. Si osserva come, in quasi tutti i casi, la pendenza della retta di regressione sia piuttosto vicina all'unità. Ciascuna di queste relazioni è 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.

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

Tabella 2.2. Coefficienti retta di calibrazione.

| Stazione         | Coefficiente retta di calibrazione       |
|------------------|------------------------------------------|
| CHP              | $y = 1,0312x - 0,6305$<br>$R^2 = 0,9365$ |
| LIM <sup>1</sup> | $y = 1,0327x - 1,4066$<br>$R^2 = 0,8867$ |
| LMR              | $y = 0,9798x + 0,6301$<br>$R^2 = 0,9296$ |
| LMR-2            | $y = 0,8935x + 0,2925$<br>$R^2 = 0,916$  |
| LSA              | $y = 0,9206x + 0,2926$<br>$R^2 = 0,9329$ |
| LTP              | $y = 1,0703x - 1,1389$<br>$R^2 = 0,9476$ |
| MAM              | $y = 1,1068x - 1,0554$<br>$R^2 = 0,9251$ |
| MAP              | $y = 0,9111x - 0,096$<br>$R^2 = 0,9055$  |

**Stazione CHP**

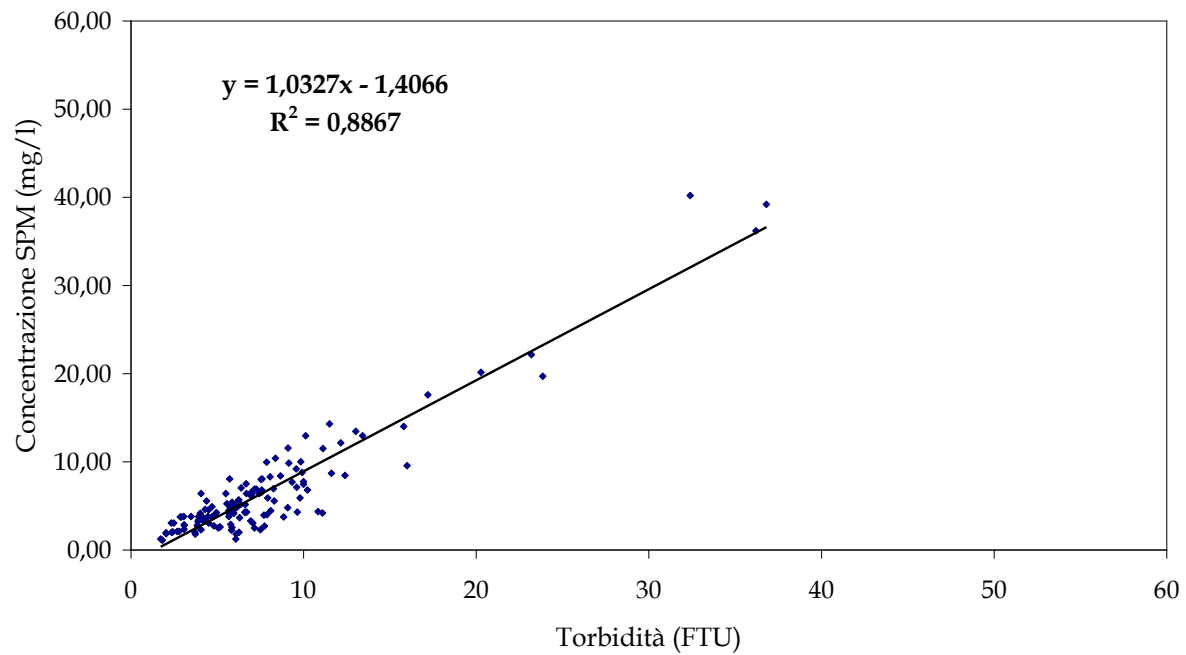


(a)

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

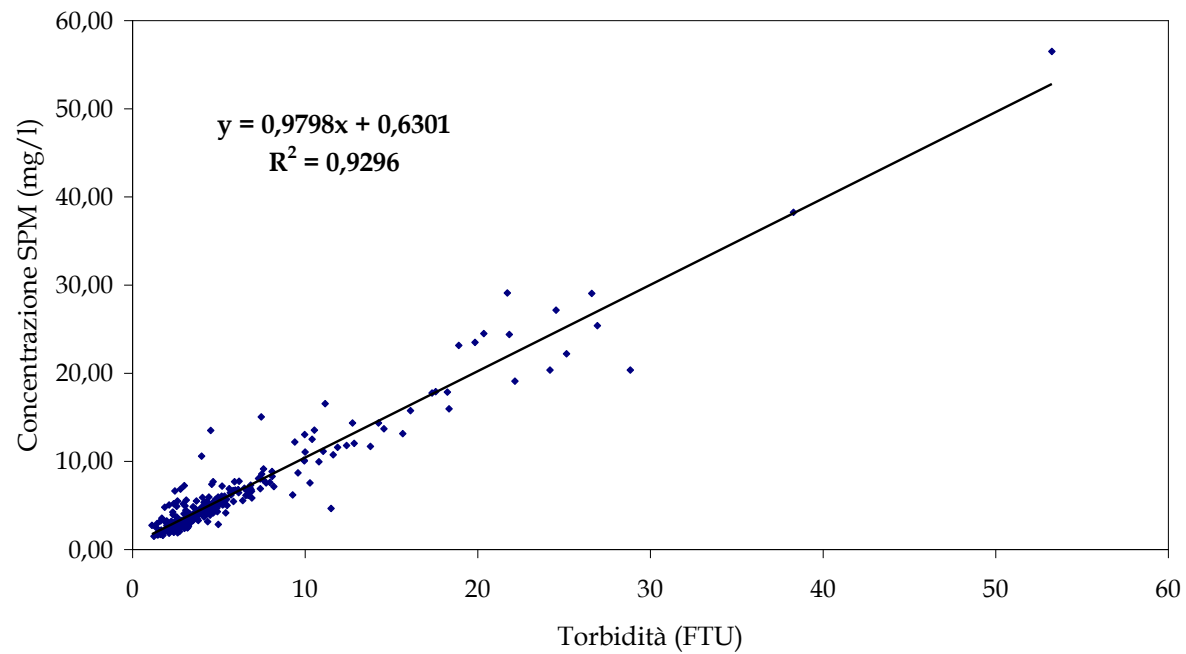
CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

**Stazione LIM**



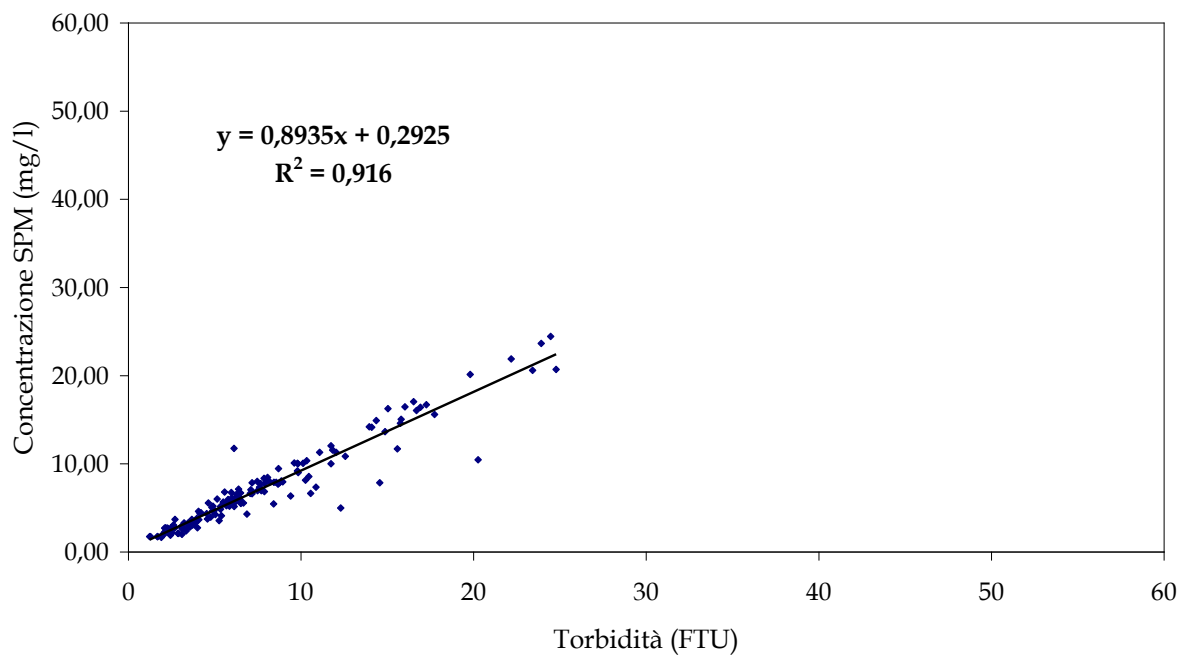
(b)

**Stazione LMR**



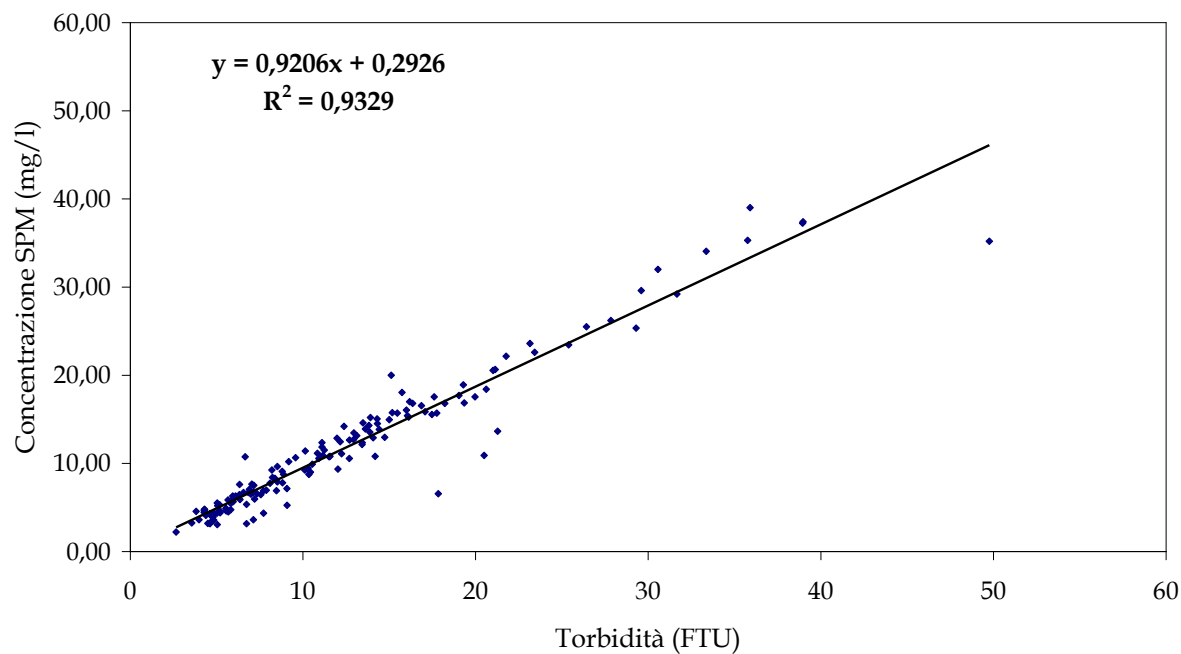
(c)

**Stazione LMR-2**



(d)

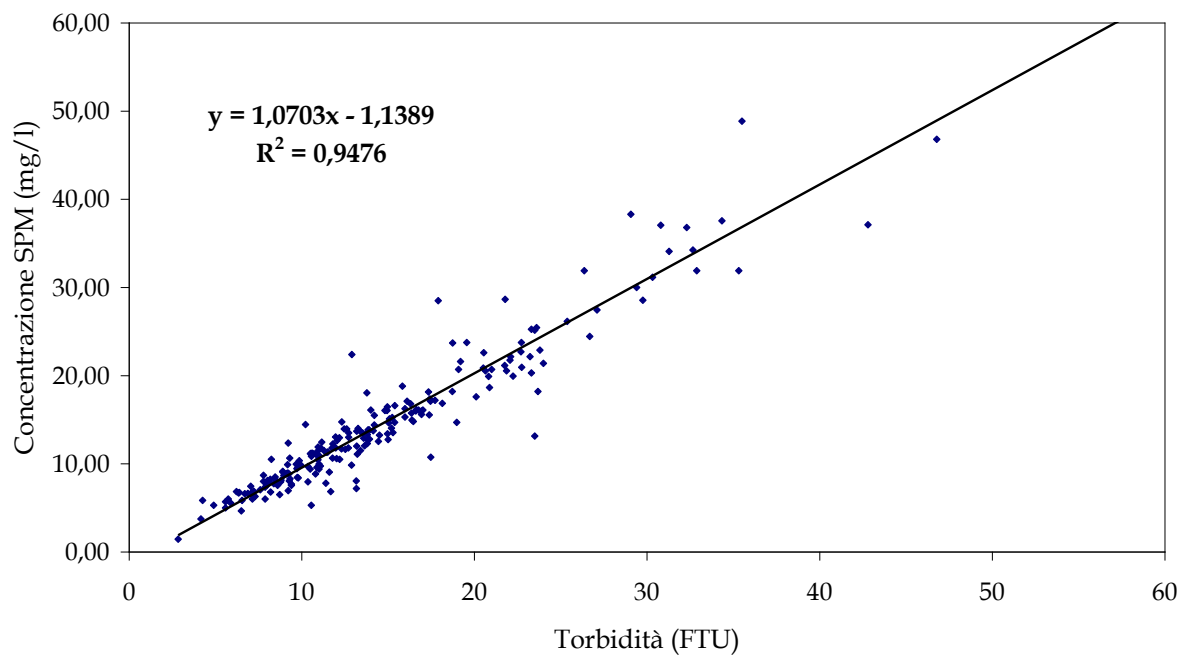
**Stazione LSA**



(e)

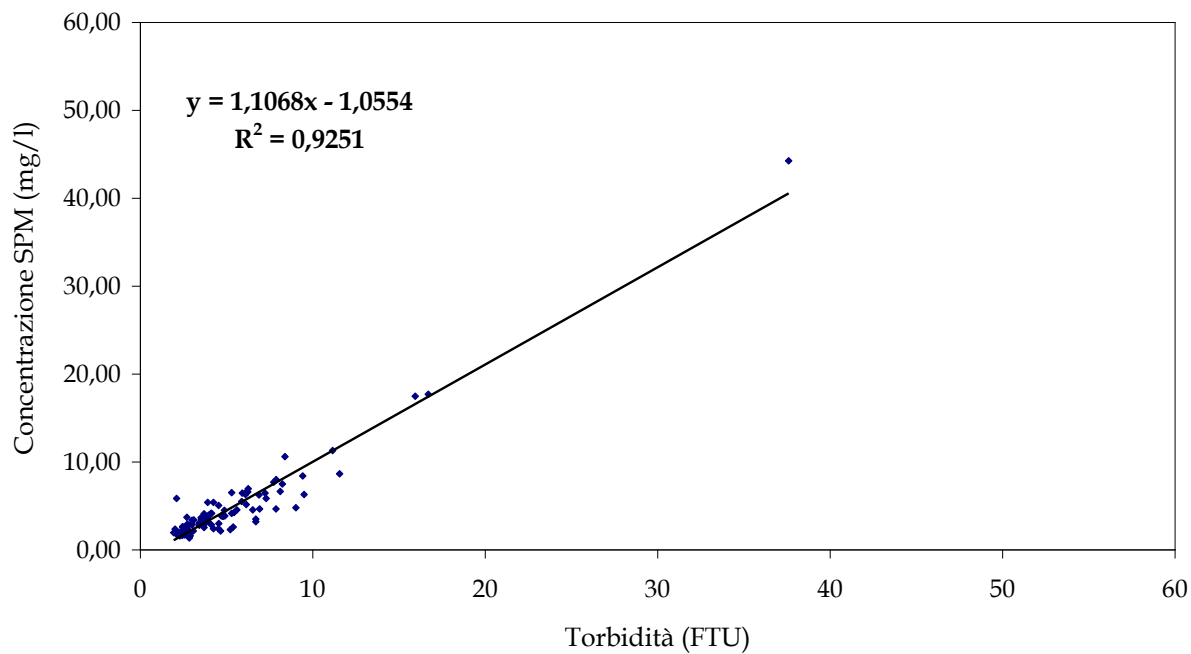
CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

**Stazione LTP**



(f)

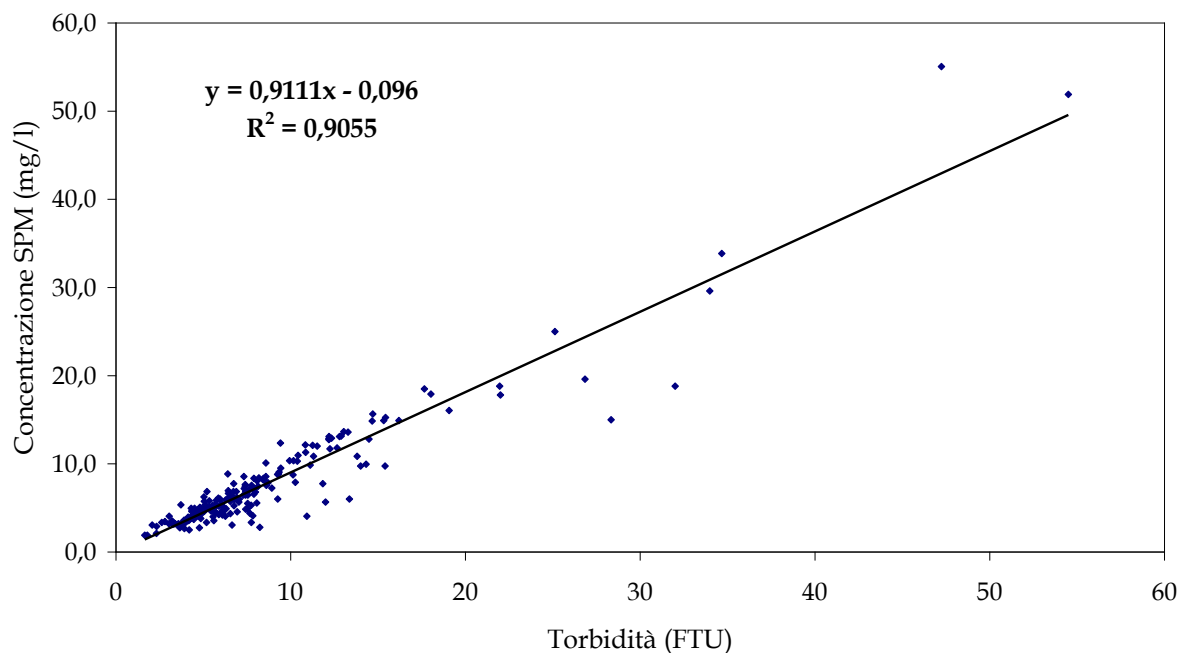
**Stazione MAM**



(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, fino ad Agosto 2008.

## 2.1 Serie temporali della torbidità/SPM

Le serie temporale del periodo maggio-agosto 2008 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 BOCCHE LAGUNARI

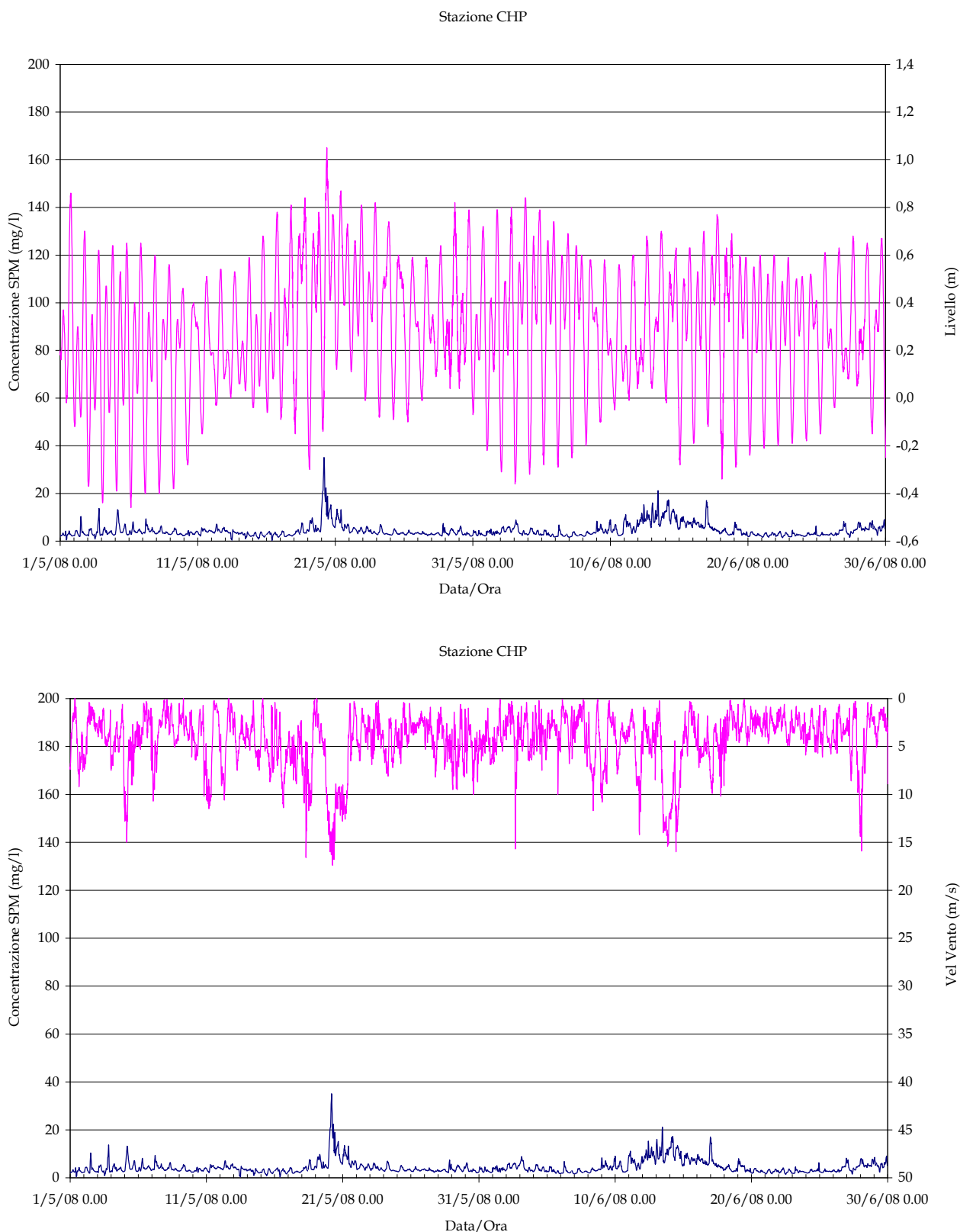


Figura 2.3 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Maggio-Giugno 2008.

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

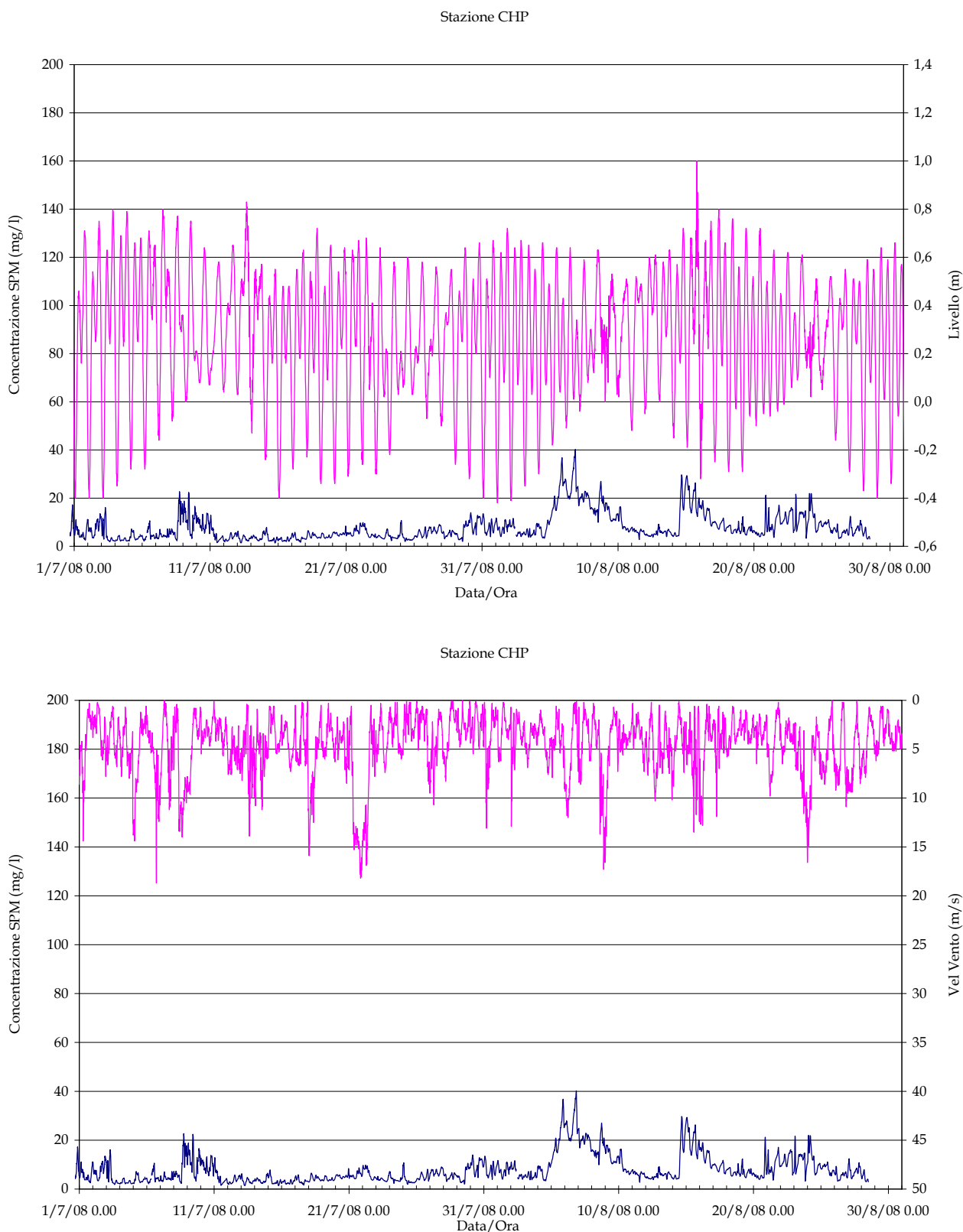


Figura 2.3 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Luglio-Agosto 2008.

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

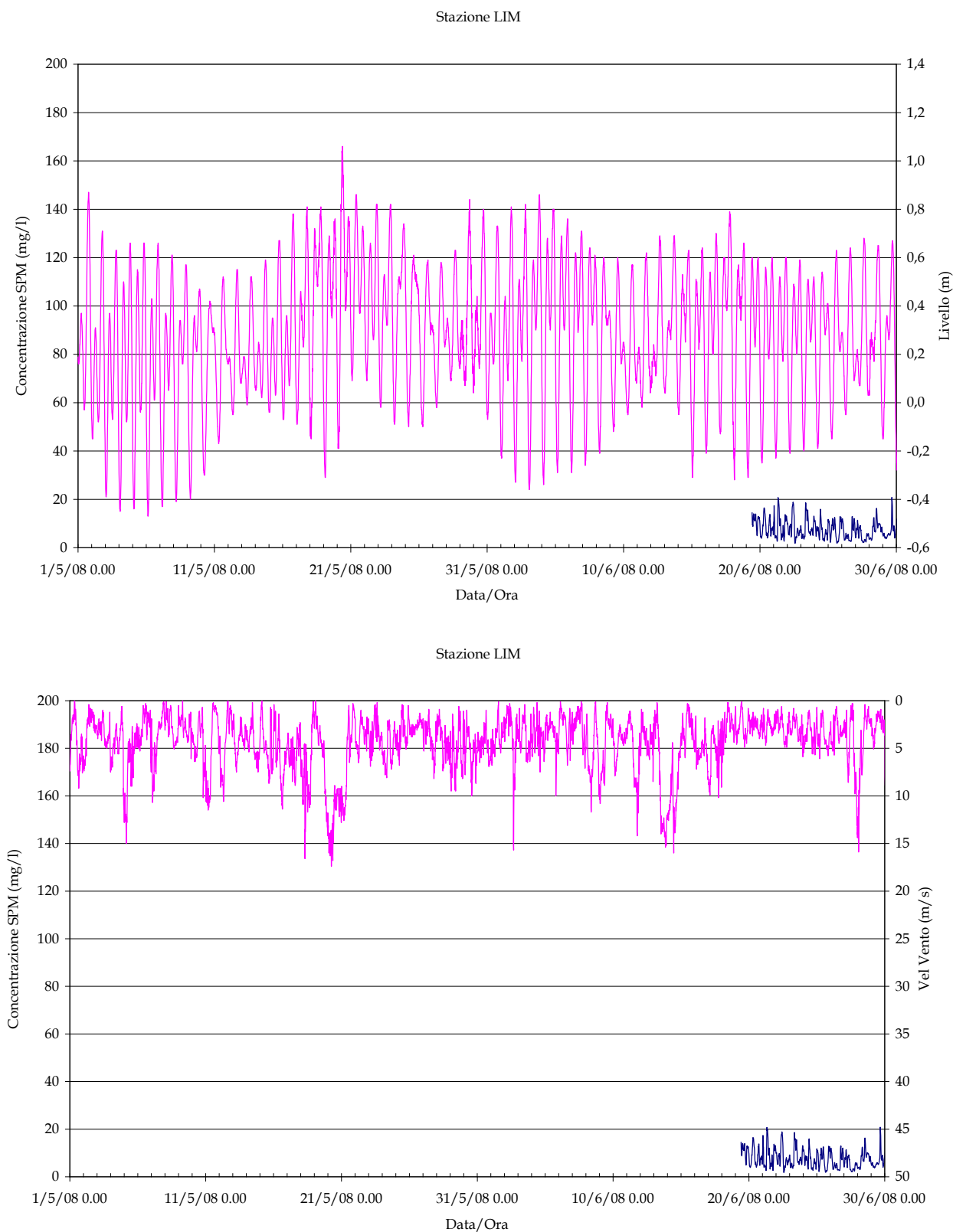
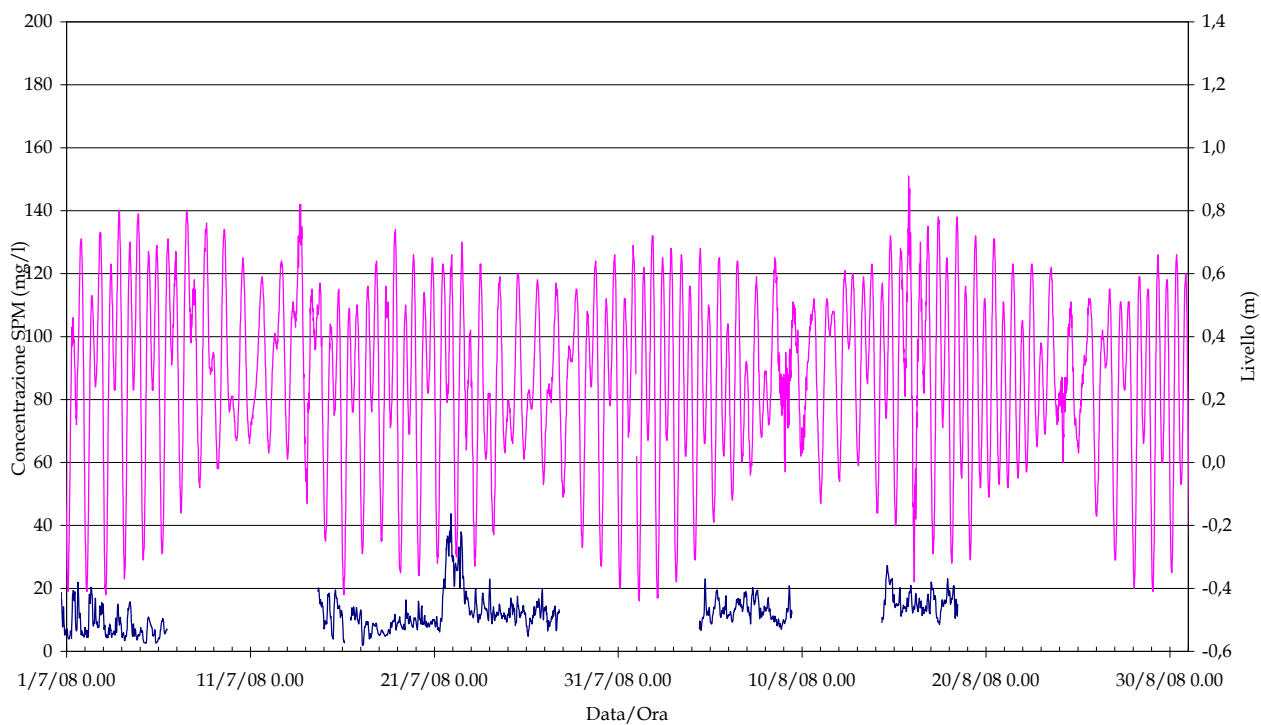


Figura 2.4 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo Maggio-Giugno 2008.

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

Stazione LIM



Stazione LIM

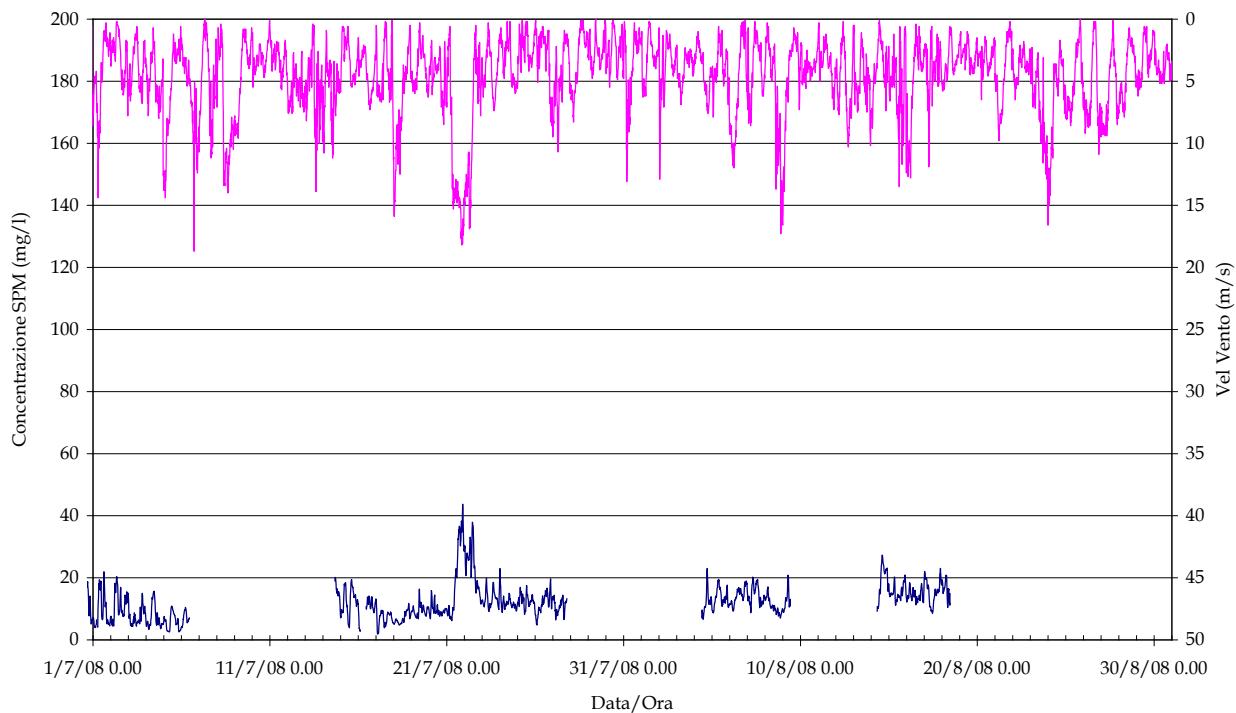


Figura 2.4 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LIM nel periodo Luglio-Agosto 2008.

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

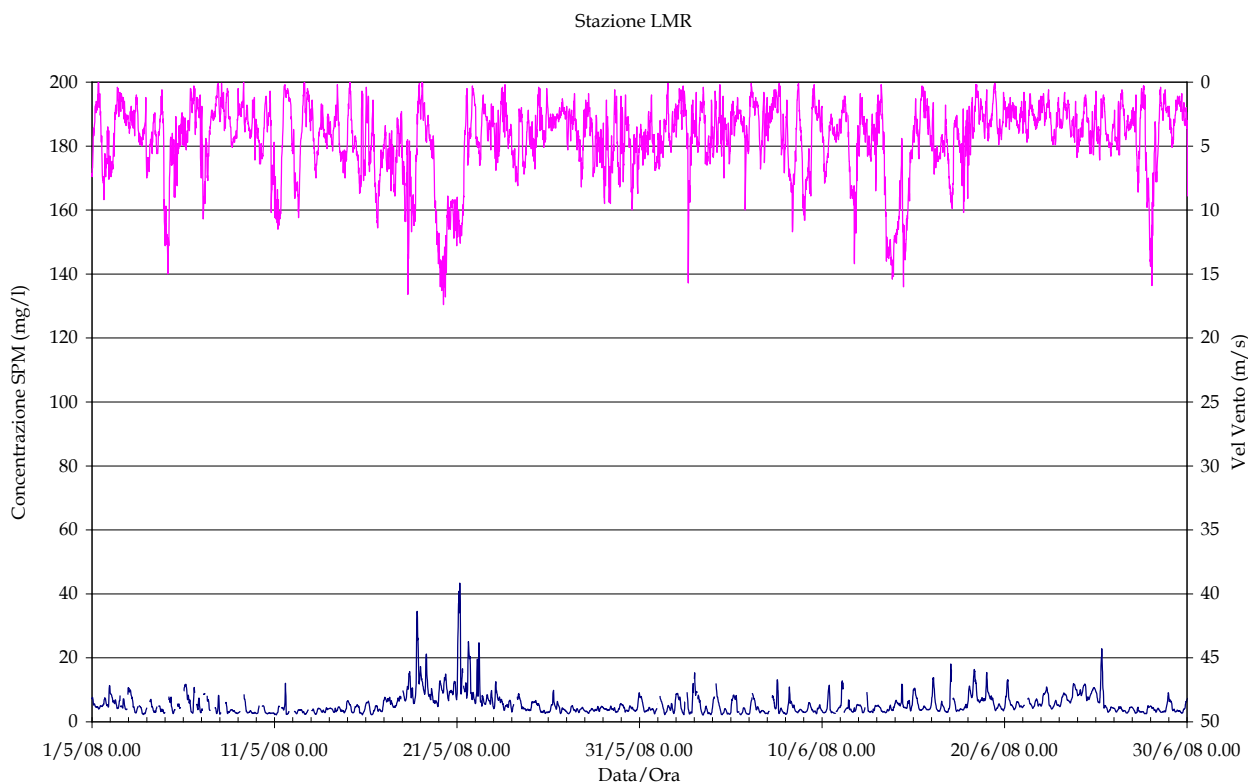
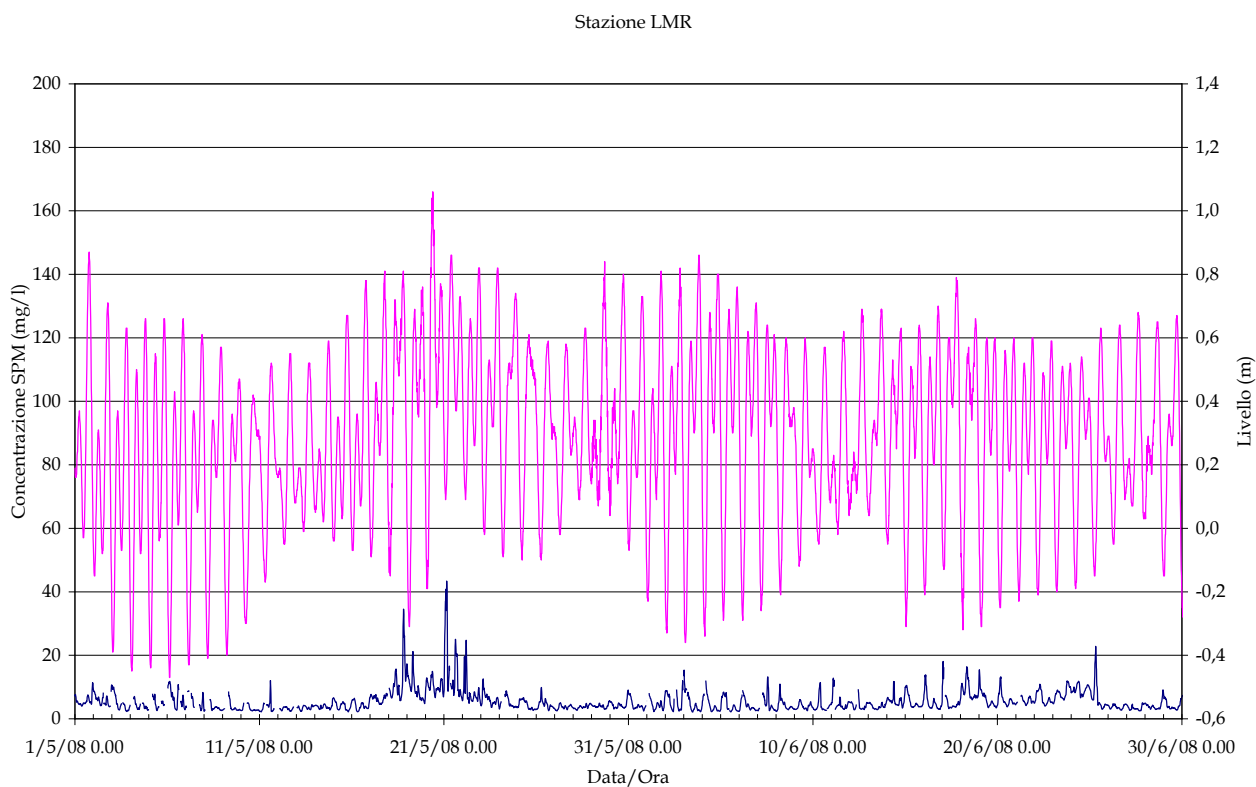


Figura 2.5 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR nel periodo Maggio-Giugno 2008.

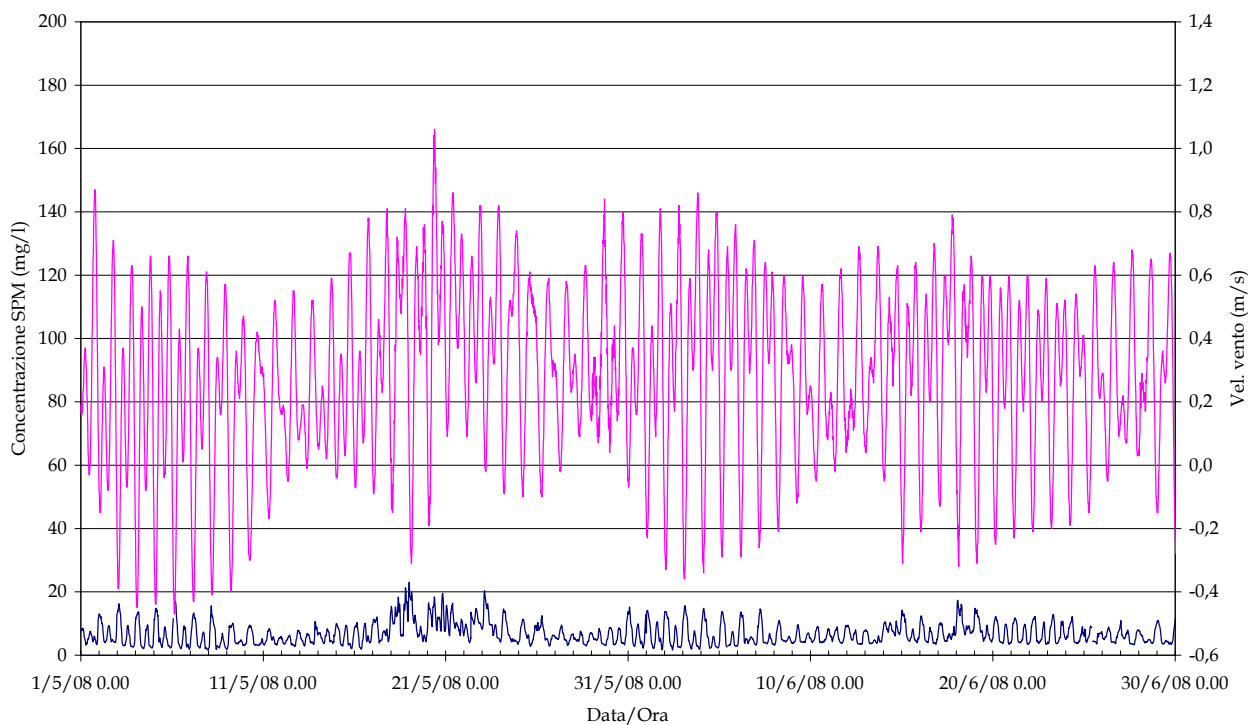
CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



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 Luglio-Agosto 2008.

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

Stazione LMR-2



Stazione LMR-2

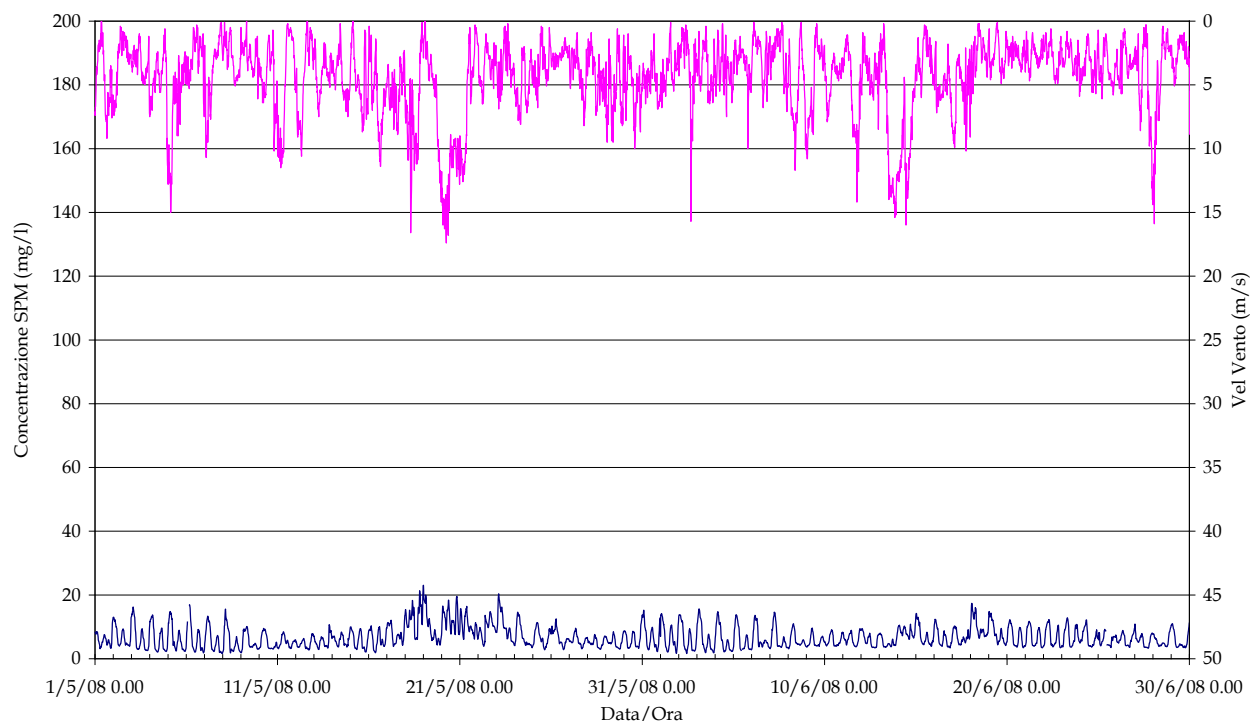


Figura 2.6 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo Maggio-Giugno 2008.



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

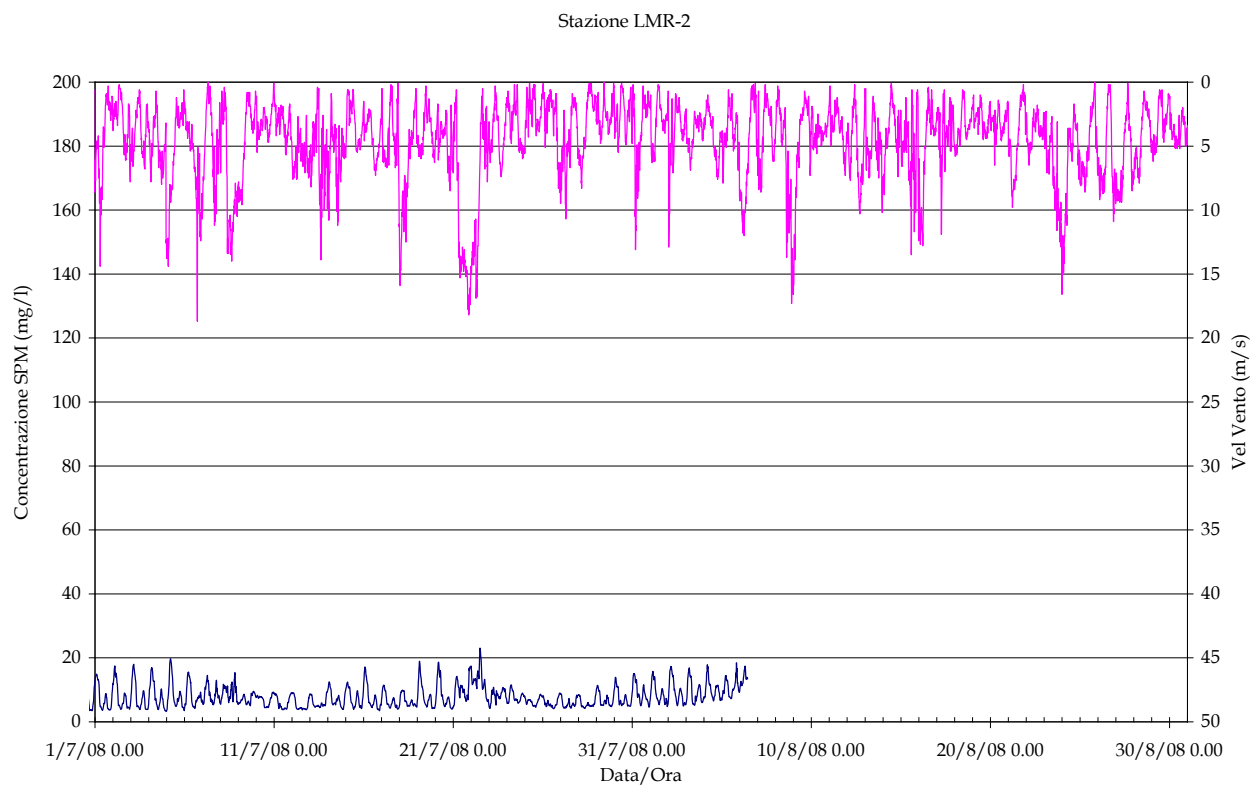
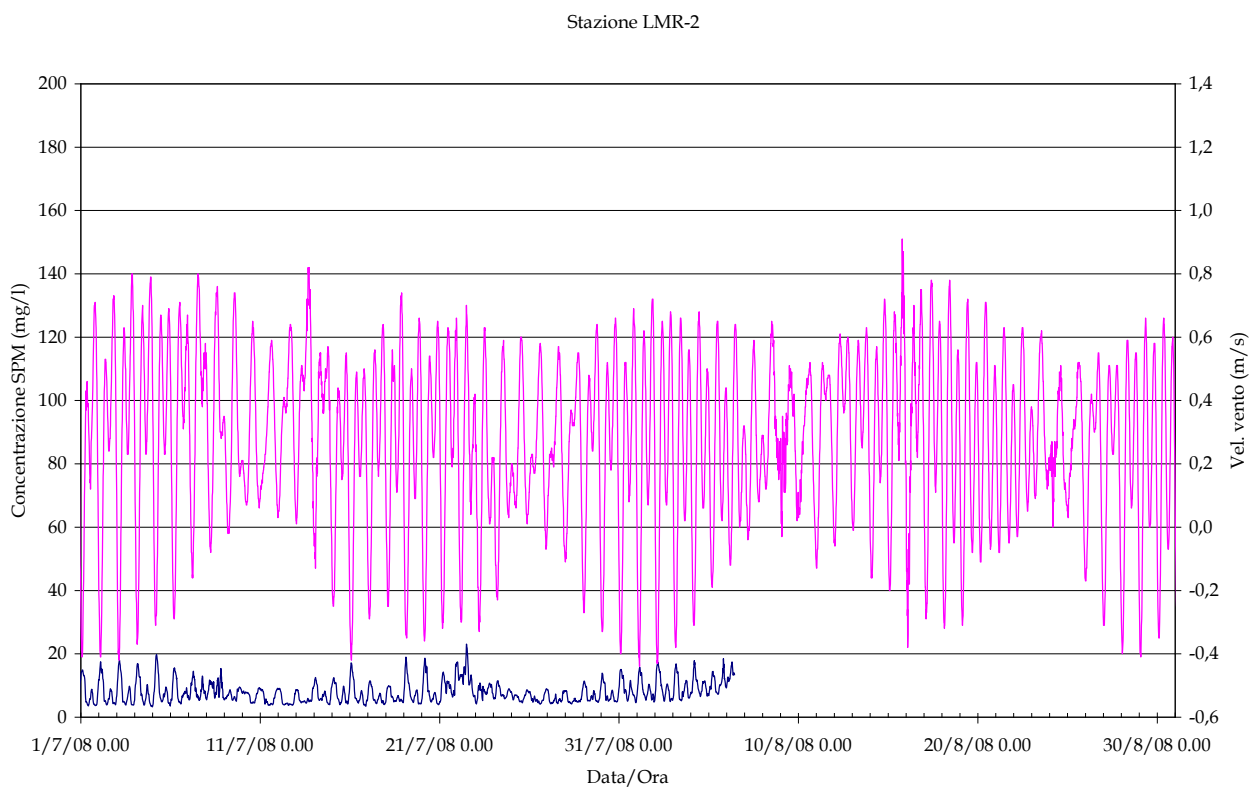


Figura 2.6 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LMR-2 nel periodo Luglio-Agosto 2008.

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

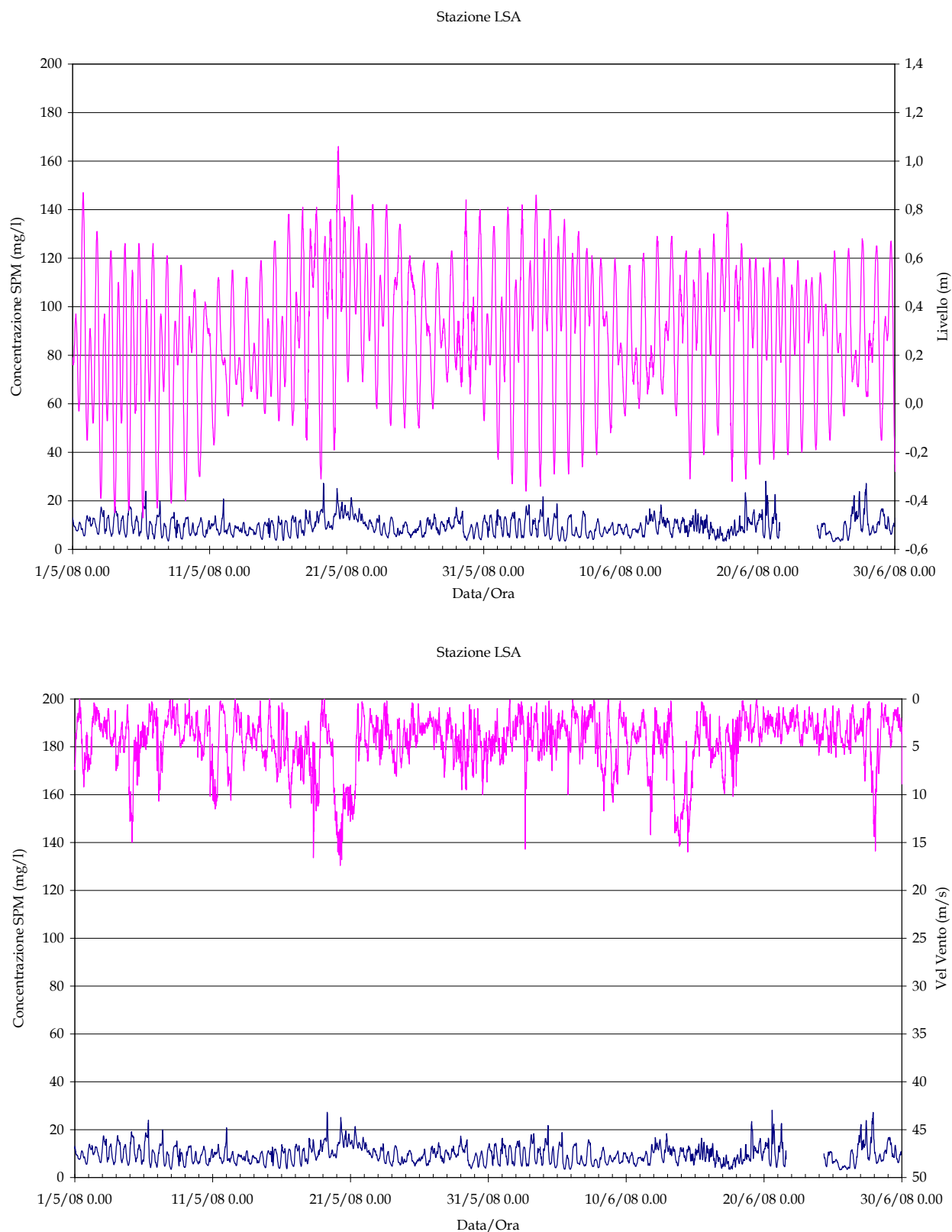


Figura 2.7 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo Maggio-Giugno 2008

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

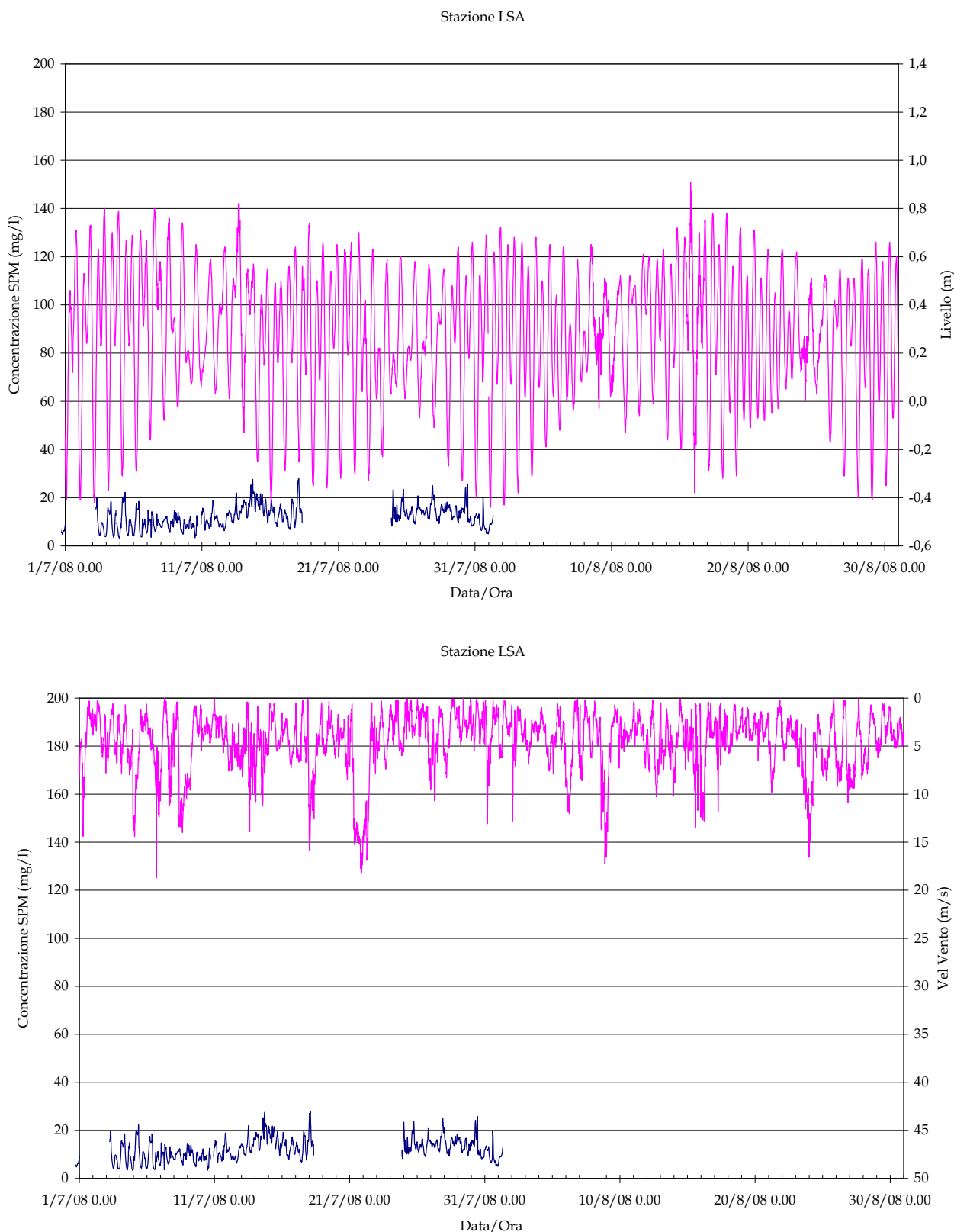


Figura 2.7 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LSA nel periodo Luglio-Agosto 2008.

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

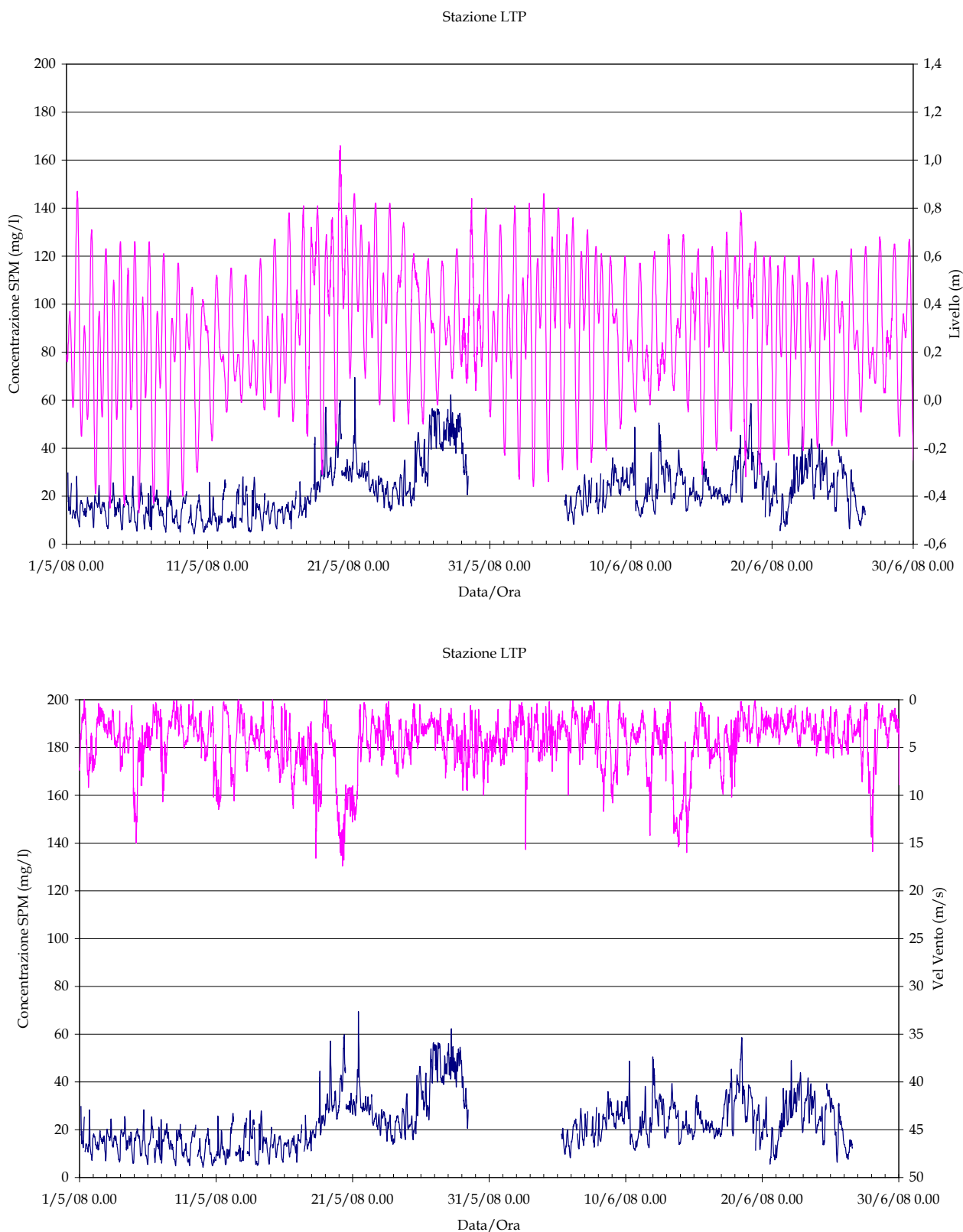


Figura 2.8 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LTP nel periodo Maggio-Giugno 2008.

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

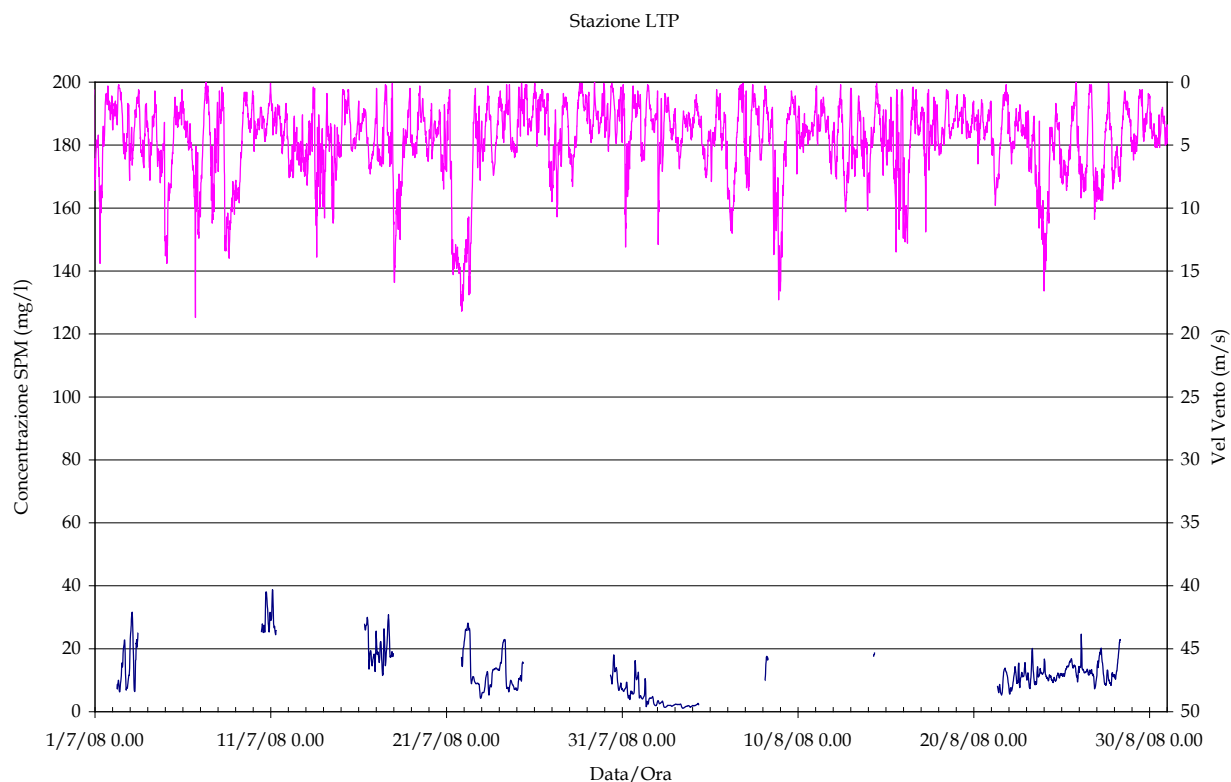
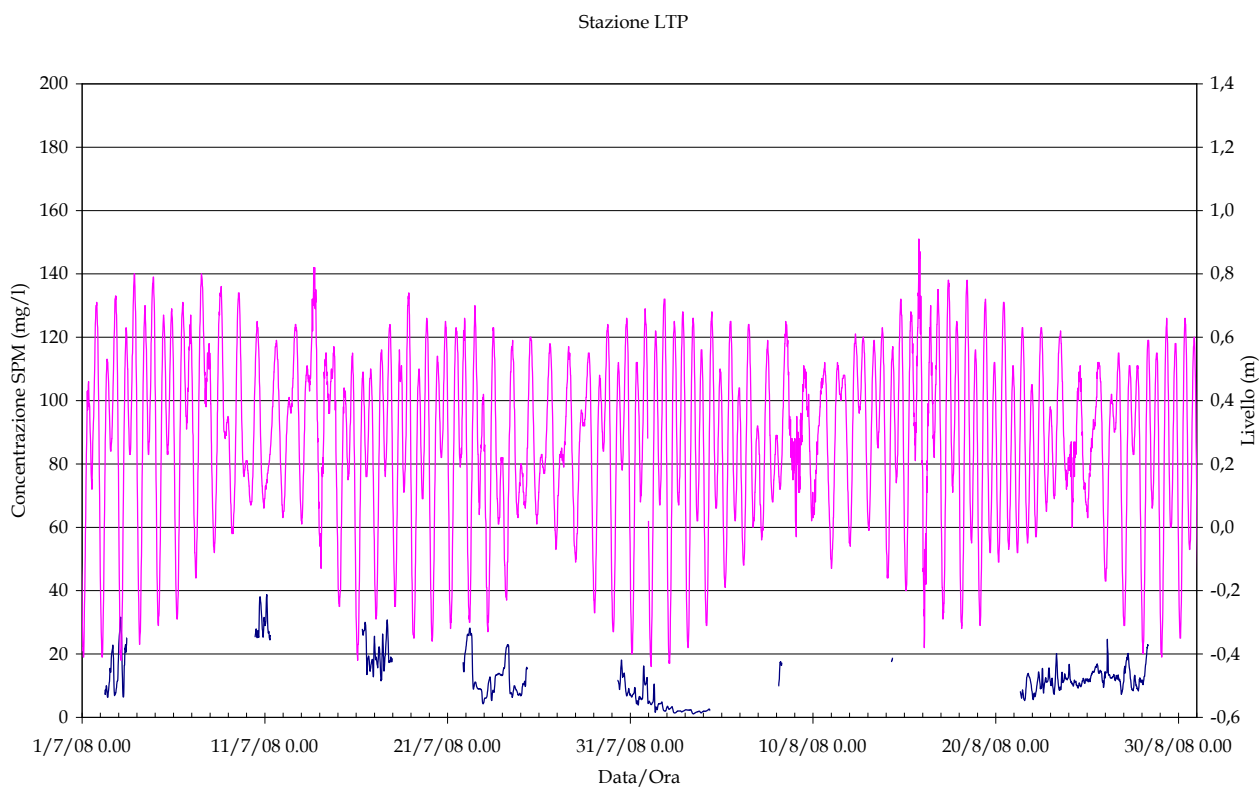


Figura 2.8 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione LTP nel periodo Luglio-Agosto 2008.

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

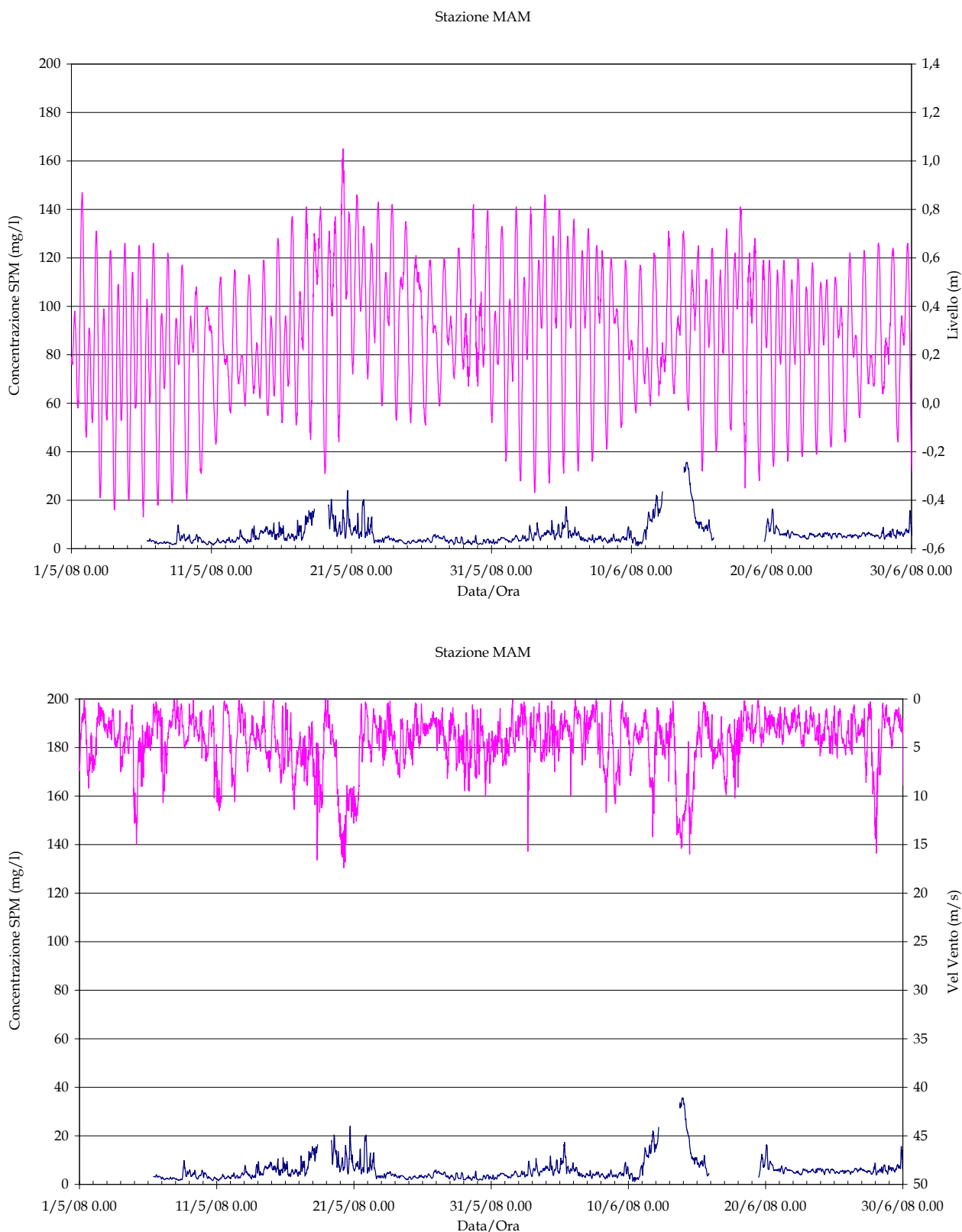


Figura 2.9 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Maggio-Giugno 2008.

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

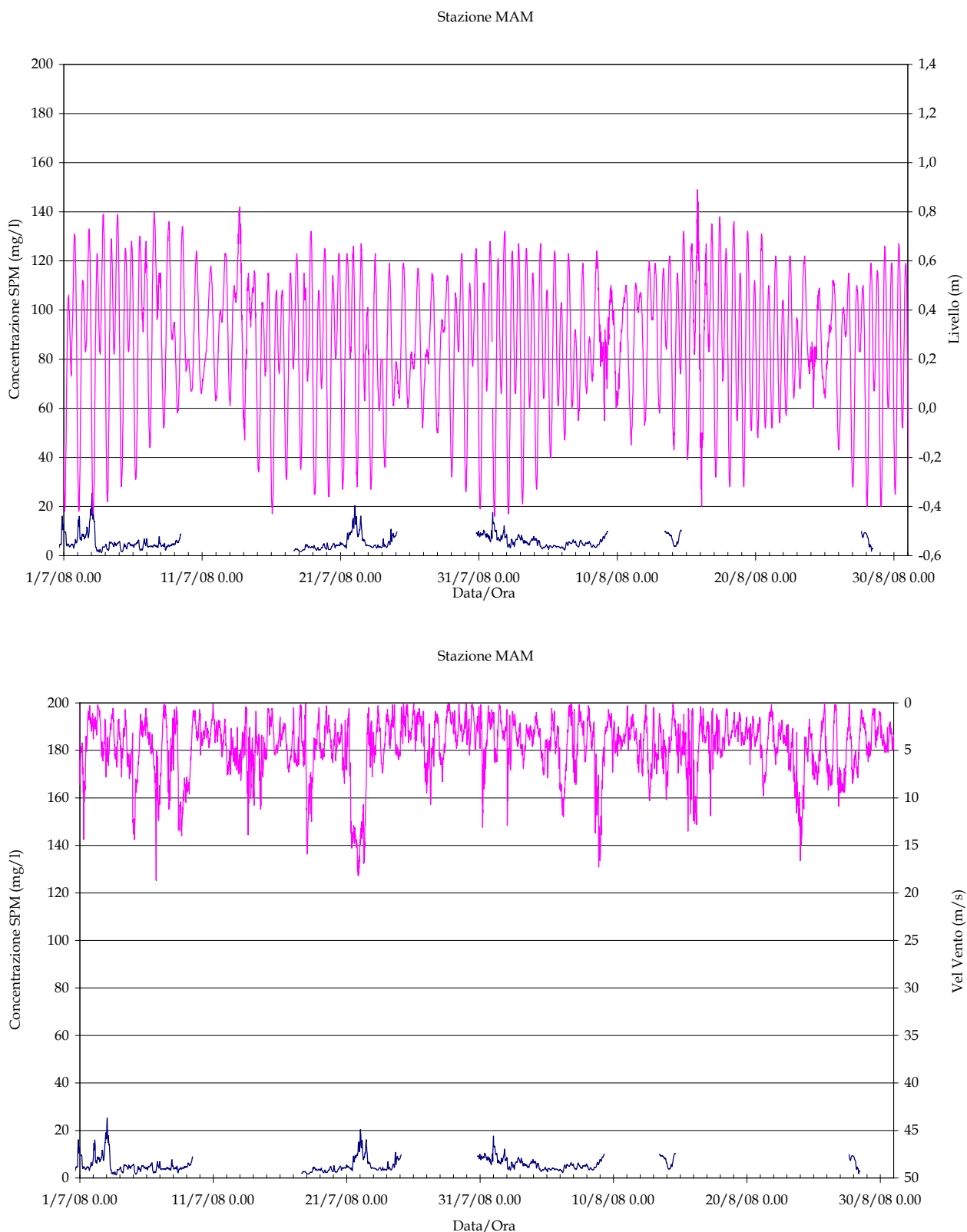


Figura 2.9 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Luglio-Agosto 2008.

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

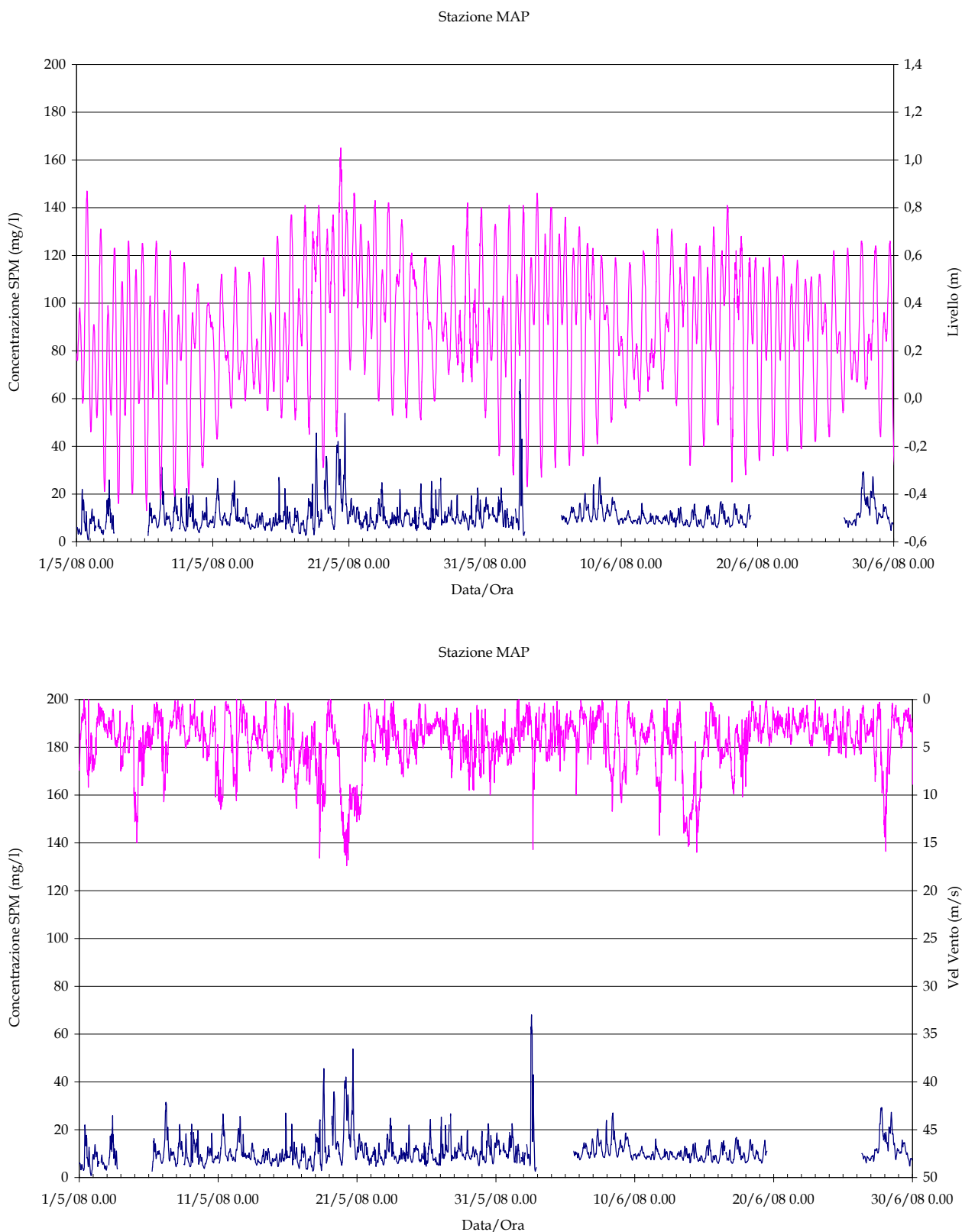


Figura 2.10 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Maggio-Giugno 2008.



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

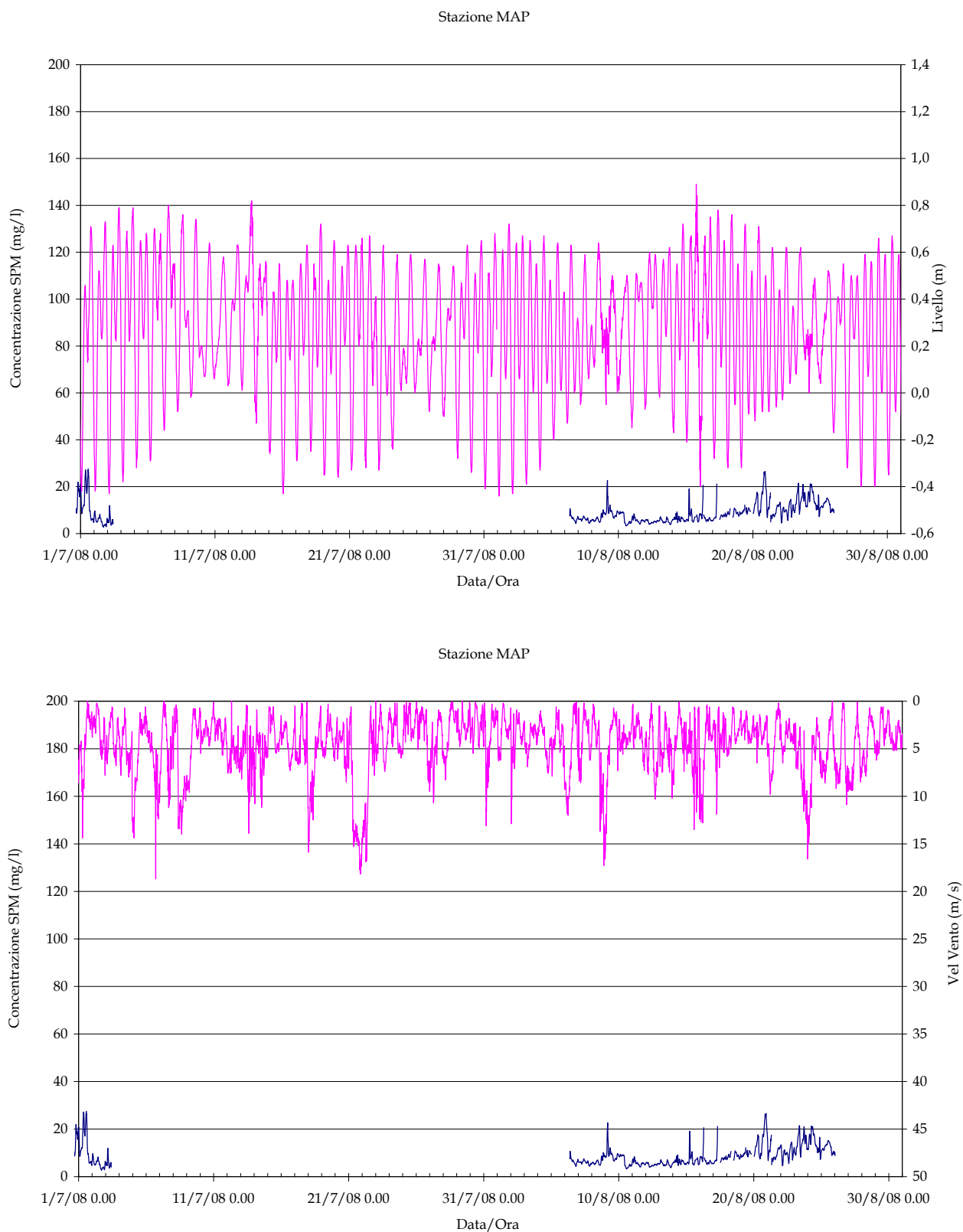


Figura 2.10 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Luglio-Agosto 2008.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE 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   | LMR-2 | LSA  | LTP  | MAM  | MAP  |
|-----------------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| <b>Ntot</b>           | 11439 | 3736 | 11071 | 9336  | 7738 | 5851 | 1833 | 6670 |
| <b>Media</b>          | 6.2   | 11.0 | 6.5   | 7.2   | 10.3 | 17.7 | 5.7  | 10.3 |
| <b>Dev. Std.</b>      | 4.8   | 5.6  | 4.1   | 3.4   | 4.1  | 9.1  | 2.7  | 5.4  |
| <b>Max.</b>           | 40.2  | 43.7 | 46.8  | 23.0  | 28.1 | 58.6 | 20.4 | 68.1 |
| <b>Min.</b>           | 0.3   | 1.8  | 2.1   | 1.6   | 3.2  | 1.1  | 1.6  | 0.7  |
| <b>25° percentile</b> | 3.2   | 6.9  | 3.8   | 4.6   | 7.2  | 7.0  | 3.0  | 7.0  |
| <b>50° percentile</b> | 4.5   | 10.4 | 5.1   | 6.4   | 9.9  | 11.0 | 3.7  | 9.1  |
| <b>75° percentile</b> | 7.3   | 13.8 | 7.9   | 9.1   | 12.8 | 12.1 | 3.9  | 12.0 |
| <b>95° percentile</b> | 15.9  | 20.1 | 14.4  | 14.1  | 17.5 | 16.5 | 4.9  | 19.6 |

Per quanto riguarda il numero totale di dati disponibili, è necessario ricordare che il quadrimestre maggio-agosto 2008 è stato caratterizzato da numerosi eventi di *fouling* sui sensori, nonché da frequenti periodi di manutenzione delle sonde, che hanno diminuito la percentuale di informazioni utili rispetto al passato, specie nelle stazioni a mare MAM e LIM.

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

Per quanto riguarda le medie, è evidente, come per l'anno precedente [I Rapporto Valutazione, Studio B.6.72 B/3] la somiglianza dei valori della stazione CHP, all'interno della bocca di Chioggia, delle stazioni LMR e LMR-2 nel canale di bocca di Lido e della stazione a mare MAM i cui valori risultano 6.2 mg/l, 6.5 mg/l, 7.2 mg/l e 5.7 mg/l rispettivamente. Decisamente più elevati sono, invece, i valori medi della stazione LTP, ubicata in laguna, il cui valore è superiore a 17 mg/l. Le altre stazioni hanno valori medi tutti compresi nell'intervallo 10.3 e 11.0 mg/l.

Dalla tabella 2.3 risulta che i valori di torbidità massimi variano tra 20.4 (stazione MAM, con solo il 38% dei dati validi) e 58.6 mg/l (stazione LTP).

Per quanto riguarda i valori del 25° percentile, che rappresentano con una buona approssimazione le condizioni di assenza di perturbazioni nelle stazioni considerate, le stazioni LSA, LTP e MAP, collocate nelle aree all'interno delle bocche di porto, e la stazione a mare LIM presentano valori nettamente più elevati delle altre stazioni (compresi tra 6.9 e 11.5 mg/l).

Questo stesso raggruppamento è evidente anche dall'osservazione dei valori del 50° percentile, che rappresenterebbe le condizioni più frequentemente incontrate: le concentrazioni relative ai siti in laguna LSA, LTP e MAP si aggirano attorno ai 9-11 mg/l, valori non distanti da quello della stazione a mare LIM (10.4 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. Nel periodo analizzato il valore maggiore si riscontra nella stazione a mare LIM (13.8 mg/l).

Infine, la distribuzione del 95° percentile, rappresentativo dei valori estremi legati al verificarsi di eventi meteo marini 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, permette di suddividere le stazioni in gruppi omogenei: MAP e LIM presentano valori elevati e omogenei (attorno a 20 mg/l); il valore nettamente più basso è stato registrato nella stazione MAM (circa 4.9 mg/l). I valori del 95° percentile delle stazioni LMR e LMR-2 sono praticamente coincidenti (circa 14 mg/l). Le altre stazioni presentano concentrazioni intermedie (16-17 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 i valori di concentrazione relativi allo strumento LMR-2 siano più elevati di LMR (valore medio 7.2 e 6.5 mg/l rispettivamente). Lo stesso comportamento era evidente anche nel corrispondente quadrimestre del 2007 [I Rapporto 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 maggio-agosto 2008

| Stazione                                                               | CHP | LIM | LMR | LMR-2 | LSA | LTP | MAM | MAP |
|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| Numero condizioni eccezionali con C>30 mg/l                            | 3   | 4   | 3   | 0     | 0   | 58  | 1   | 8   |
| Numero di eventi CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento            | 1   | 4   | 3   | 0     | 0   | 3   | 0   | 6   |
| Numero di eventi la cui causa non è legata alla risospensione da vento | 2   | 0   | 0   | 0     | 0   | 55  | 1   | 2   |

Alle tre bocche di porto la maggior parte dei superamenti del limite di 30 mg/l sono dovuti ad eventi di risospensione del materiale a causa del vento, ad eccezione della stazione LTP ove, a partire da metà maggio, al valore "di base", che era già più elevato del precedente periodo (passando da circa 15 mg/l a circa 20 mg/l), si sovrappone un comportamento con oscillazioni di breve periodo più ampie del solito.

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:

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

- l'aumento del trasporto litoraneo e quindi del carico, rilevabile anche nei giorni successivi all'evento scatenante di vento sostenuto 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, 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 metomarinari che hanno influenzato maggiormente le concentrazioni della torbidità, in modo peraltro non uniforme in tutta la rete, sono stati:

- 18-21 maggio: condizioni meteorologiche con venti di bora superiori ai 15 m/s per 8 ore consecutive. Effetti sulle stazioni CHP (35.1 mg/l), LMR (34.5 mg/l), MAP (31.5 mg/l);
- 21-22 luglio: condizioni meteorologiche con venti di bora attorno ai 15 m/s per 24 ore consecutive. Effetti sulla stazione LIM (43.7 mg/l);
- 2, 11 e 13 giugno, 15 agosto: eventi estremamente limitati nel tempo e con modeste velocità del vento (massime attorno a 15 m/s).

Il quadrimestre maggio-agosto 2008, come accade spesso nei mesi estivi, è stato caratterizzato da numerosi periodi con formazione di *fouling* sui sensori, che hanno portato ad un innalzamento dei valori registrati. Spesso, infatti, i grafici rappresentativi dei dati registrati evidenziano incrementi improvvisi; questa deriva comporta a volte anche un aumento significativo delle oscillazioni di breve periodo, legate alla presenza di ostruzioni mobili quali alghe uova di diverse specie e lo stazionamento di organismi di dimensioni maggiori (piccoli granchi etc.). Nel caso degli organismi quindi questi possono staccarsi spontaneamente dallo strumento (fig 2.11 in alto, picco B, C e D) prima della periodica fase di pulizia della sonda. In entrambi questi casi, la presenza di *fouling* sul sensore ottico per la misura della torbidità dà luogo ad effetti perturbativi sulla qualità delle informazioni registrate dalla strumentazione che non possono venir in alcun modo corretti o "recuperati": le acquisizioni vengono quindi eliminate completamente dalla serie originaria (Fig. 2.11 in basso).

Esemplificativo è il caso dei valori registrati nel mese di luglio 2008 presso la stazione LTP (Figura seguente). In questo mese, infatti, è stato possibile tenere come validi solamente pochi valori in vicinanza del momento di manutenzione dello strumento. Questi avvenimenti hanno provocato l'abbassamento della percentuale dei dati validi fino al 50%.

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

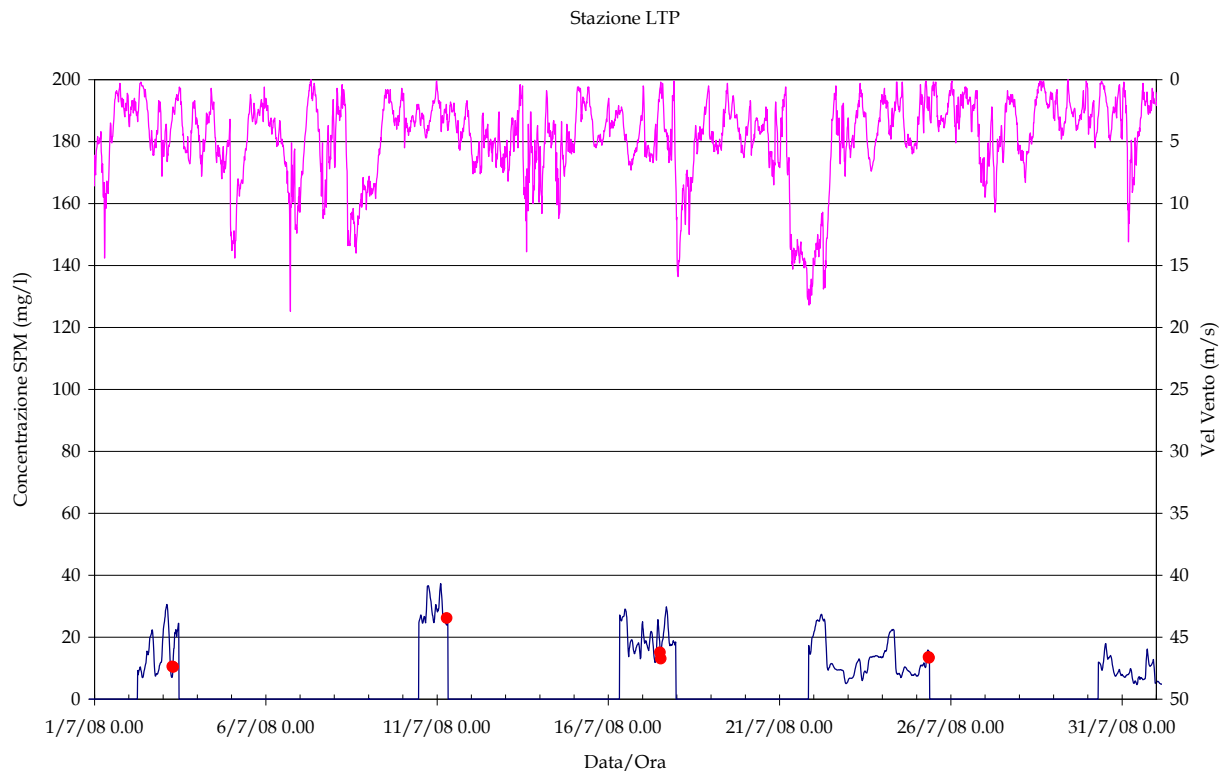
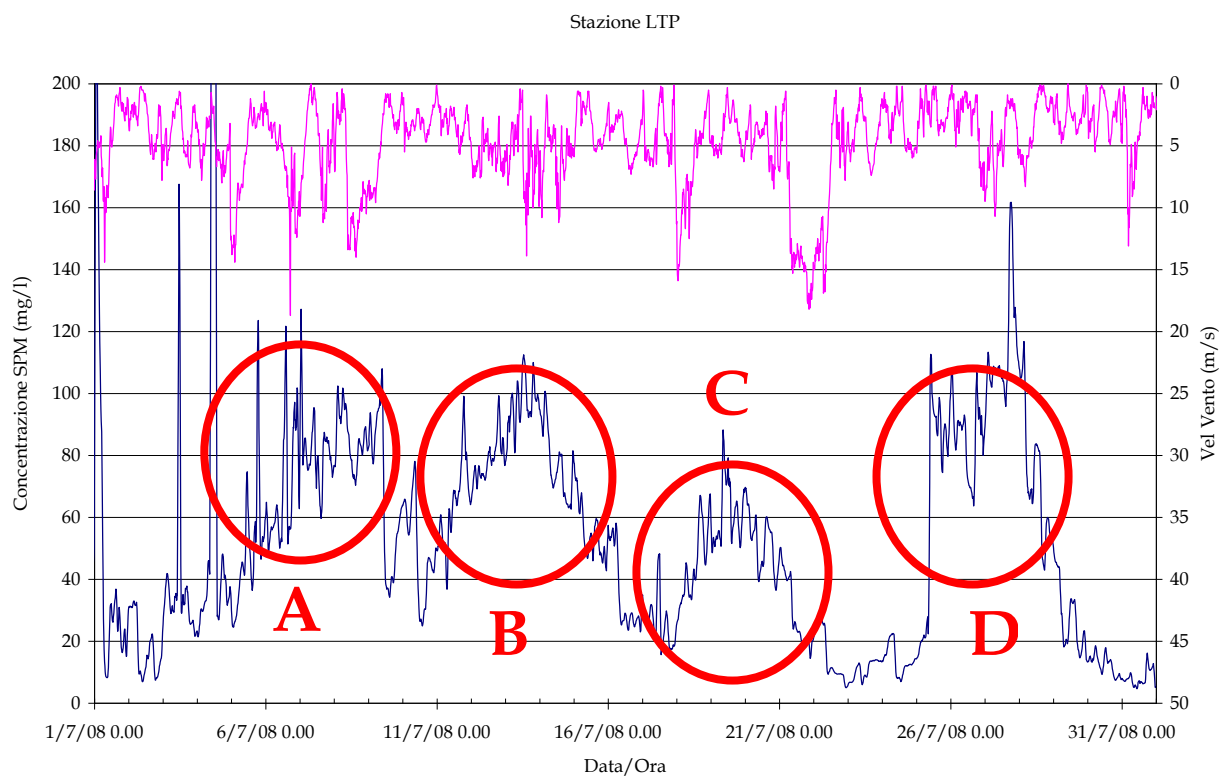


Fig. 2.11. Nel diagramma in alto, che riporta l'insieme dei dati di torbidità del mese di Luglio 2008 per la stazione LTP, sono evidenti i periodi di crescita e calo spontaneo del fouling (picchi evidenziati in rosso). Nel diagramma in basso sono riportati i soli valori ritenuti considerati validi; in rosso le concentrazioni di solidi sospesi misurati nei campioni di acqua.

### **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 un'estensione tale da interessare significativamente le stazioni fisse per la registrazione della torbidità. Il plume generato dalle draghe è stato monitorato dalla strumentazione montata su imbarcazione e segnalato nei rapporti di campagna.

Nel periodo che va da maggio ad agosto 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 il lato nord del canale; 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 barriera. In tutto il periodo del monitoraggio non sono state effettuate attività di dragaggio mediante draga idrorefluente a sfioro.

Presso la bocca di Malamocco le attività in corso erano quelle nel bacino di evoluzione prospiciente all'area di prefabbricazione dei cassoni (Syncrolift).

Presso la bocca di Chioggia, nel periodo indagato, non erano presenti importanti operazioni di scavo; solo una draga con benna a grappo era operante presso la spalla sud.

Per il periodo corrispondente all'intervallo aprile 2008-agosto 2008 sono stati resi disponibili dalla Direzione Lavori i volumi scavati per le seguenti opere:

- Bocca di Lido: OP/388-2: dal 01/04/2008 al 23/05/2008,  
OP/389-1: dal 01/04/2008 al 03/07/2008,  
OP/424-1A: dal 19/04/2008 al 09/05/2008.
- Bocca di Malamocco: OP/413-1: dal 02/04/2008 al 21/06/2008.
- Bocca di Chioggia: OP/443-1: dal 22/04/2008 al 27/06/2008.

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

### 3. BIBLIOGRAFIA

- ANPA. "Le principali metodiche di campionamento e analisi del particolato in sospensione in ambienti acquatici. Rassegna bibliografica", Serie Documenti 9/1999, Settembre 1999.
- Casamitjana, X., Serra, T., Soler, M. and Colomer, J. 2002. A study of the evolution of the particle boundary layer in a reservoir, using laser particle sizing, *Water Research*, 36, 4293-4300.
- Fugate, D.C. and Friedrichs, C.T. 2002. Determining concentration and fall velocity of estuarine particle populations using ADV, OBS and LISST, *Continental Shelf Research*, 22, 1867-1886.
- Gartner, J.W., Cheng, R.T., Wang, P. and Richter, K. 2001. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations, *Marine Geology*, 175, 199-219.
- Hecht, E. 1987. Optics, 2nd edition. Addison Wesley.
- Idronaut Srl. "OceanSeven 304 CTD-T OPERATOR MANUAL", Brugherio (Milan), February 2005
- Idronaut Srl. "Seapoint Turbidity Meter USER MANUAL", Brugherio (Milan), March 2005
- InterOcean Systems Inc. "S4 CURRENT METER USER MANUAL (Rev B)", June 1995
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto di Pianificazione Operativa, Venezia, Novembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto di Variabilità Attesa, Venezia, Novembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Dicembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/2 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2007. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/3 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2008. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.78/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 transmissometry instrument using natural sediments, *Marine Geology*, 159, 355-367.
- Visser, 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.