



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/7**

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

Documento **MATRICE: ACQUA**

**MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA
TORBIDITÀ IN CONTINUO**

I RAPPORTO DI VALUTAZIONE

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA MAGGIO AD
AGOSTO 2011**

Versione **2.0**

Emissione **29 Novembre 2011**

Verifica

Dott. Luca Zaggia
(ISMAR-CNR)

Verifica

Prof. Giampaolo Di Silvio

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

1. INTRODUZIONE.....	3
2. METODOLOGIA	4
2.1 Descrizione della rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.....	4
2.2 Strumentazione per la misura della torbidità.....	9
2.3 Gestione della rete di stazioni fisse,attività in campo e di laboratorio	10
2.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati.....	13
2.4.1 <i>Correzione per l'accumulo temporaneo di materiale macroscopico</i>	13
2.4.2 <i>Correzione per il fouling</i>	13
2.4.3 <i>Calibrazione dei sensori di torbidità</i>	15
3. ANALISI e TRATTAMENTO DEI DATI.....	17
3.1 Validazione dei dati e calibrazione	17
3.2 Serie temporali della concentrazione del particolato solido sospeso (SPM)	23
3.3 Analisi degli eventi meteo e dei picchi di torbidità	37
3.4 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche.....	42
3.5 Struttura dell'archivio dei dati.....	43
4. BIBLIOGRAFIA.....	44

Alla realizzazione del presente rapporto hanno contribuito:

C. Dabalà (CORILA)

C. Dall' Angelo (CORILA)

G. Di Silvio (IMAGE - UNIPD)

R. Fiorin (LagunaProject)

G. Lorenzetti (ISMAR - CNR, Venezia)

M. Morgantini (CORILA)

F Riccato (LagunaProject)

L. Zaggia (ISMAR - CNR, Venezia)

1. INTRODUZIONE

I programmi di monitoraggio ambientale dei cantieri ove sono previste operazioni di scavo e dragaggio di fondali prevedono ormai abitualmente la determinazione del particolato solido in sospensione (Suspended Particulate Matter - SPM) e della torbidità nella colonna d'acqua: variabile 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/7, come i precedenti, prevede specifiche attività per la misura della concentrazione e del flusso di particolato solido sospeso generato dalle attività di cantiere all'interno e all'esterno del canale di bocca. Tali attività intendono monitorare la torbidità generata dalle operazioni di scavo nei seguenti casi:

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

B) variabilità spaziale e temporale del particolato sospeso in condizioni naturali, cioè in assenza di dragaggio. In questo caso si misura la torbidità in continuo mediante strumenti fissi (torbidimetri) opportunamente posizionati nelle aree di pertinenza dei tre canali di bocca, sia entro la laguna sia in mare in modo da caratterizzare tutta l'area di interesse.

Il presente Rapporto riguarda le misure in continuo (caso B).

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 (funzione del vento); gli eventi naturali si succedono, infatti, in maniera irregolare dando luogo ad una variabilità spaziale e temporale delle condizioni naturali. La misura della torbidità in continuo alle bocche di porto permette di monitorare i valori di torbidità naturale e l'analisi di serie temporali permette di definire i valori di riferimento ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio e delle componenti biologiche (avifauna, vegetazione terrestre, insetti, fanerogame, teggue, benthos).

La misura della torbidità in continuo è inoltre utile per valutare l'eventuale diffusione del *plume* di torbida generato dalle operazioni di dragaggio e quindi gli effetti a breve termine delle attività di cantiere. Le stesse misure possono però risultare funzionali anche alla conoscenza degli effetti a lungo termine indotti dalla presenza delle opere le quali, modificando la morfologia dell'area prossima alle bocche porto, potrebbero avere degli effetti anche sull'idrodinamica e il trasporto di sedimenti.

Come messo in evidenza nei precedenti rapporti, infine, il monitoraggio continuo della torbidità può dare utili indicazioni (soprattutto quando messo in relazione con la contemporanea fase di marea e con le vigenti condizioni meteo marine) sulla dinamica dei sedimenti in sospensione e sul loro bilancio a lungo termine.

Nel Cap.2 viene descritta la rete di misura della torbidità in continuo e la metodologia utilizzata per il trattamento dei dati.

Nel Cap.3 invece si riportano in forma grafica sia dati relativi alle acquisizioni nel periodo Maggio-Agosto 2011 sia i risultati dell'analisi statistica. Le serie temporali della torbidità vengono inoltre analizzate sia in relazione alle condizioni meteorologiche sia in relazione alle attività di scavo con lo scopo di individuare le cause di eventuali superamenti del valore di soglia.

2. METODOLOGIA

2.1 Descrizione della rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo

L'attività di rilevazione della torbidità in continuo è iniziata a Maggio 2005 in otto stazioni di misura opportunamente posizionate nei canali delle tre bocche o nelle immediate vicinanze (sia all'interno della laguna che in mare) ed è proseguita quasi ininterrottamente insieme all'acquisizione dei parametri chimico-fisici dell'acqua e delle variabili meteo marine.

A differenza degli ultimi due anni e come previsto dal disciplinare tecnico dello Studio B.6.72 B/7, la rete di monitoraggio è ora costituita da stazioni fisse non solo nella bocche di Malamocco e Chioggia ma anche nella bocca di Lido.

La Figura 2.1 mostra la localizzazione di tutte le stazioni di misura della torbidità nelle aree dei cantieri alle bocche di porto; in rosso le stazioni utilizzate nel corrente anno di monitoraggio; esse coincidono con quelle utilizzate nel corso del precedente Studio B.6.72 B/6 e in aggiunta comprendono 4 stazioni alla bocca di Lido.

Nella Tabella 2.1 si riportano le caratteristiche delle stazioni e il loro periodo di utilizzo, le coordinate geografiche espresse nel sistema UTM WGS 84, le coordinate piane espresse nel sistema 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.

CORILA

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



Figura 2.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel periodo 2010-2011.

CORILA

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

Tabella 2.1 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
CHM1	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	289952 E 5011996 N	2311697.67 5011917.71	Studio B.6.72 B/1
CHM2	CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CVN-MAV	13.5	0289792 E 5012068 N	2312244.76 5013024.91	Studio B.6.72 B/1
CHP	CHIOGGIA Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.1	286559 E 5012376 N	2306695.73 5012490.85	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5 Studio B.6.72 B/6 Studio B.6.72 B/7
LIM	LIDO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	9.0	300744 E 5033387 N	2321595.15 5033110.08	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/7
LMR	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/7
LMR-2	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/7
LSA	LIDO Canale S. Nicolò	Meda Bianco- Nera	Capitaneria Porto - Marifari	5	295870 E 5034915 N	2315918.06 5034973.54	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
LSN	LIDO Canale S. Nicolò	Postazione mareografica	MAV	7.0	295624 E 5034542 N	2315566.36 5034465.53	Studio B.6.72 B/1

CORILA

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

Sigla Identificativa	Località	Tipo postazione	Ente	Fondale (m)	Coordinate UTM WGS 84	Coordinate Gauss Boaga	Periodo di utilizzo
LTP	LIDO Canale Treporti	Postazione mareografica	MAV	2.0	299083 E 5036390 N	2318835.86 5036184.94	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/7
MAM	MALAMOCCO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	11.0	292432 E 5024099 N	2312635.53 5024136.00	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5 Studio B.6.72 B/6 Studio B.6.72 B/7
MAP	MALAMOCCO Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.7	288410 E 5024129 N	2308923.15 5024591.90	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/5 Studio B.6.72 B/6 Studio B.6.72 B/7

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

La rete è attualmente costituita da sette stazioni.

Per le stazioni LIM e MAM, posizionate in mare, è stata utilizzata una struttura già esistente impiegata come mareografo, ma con caratteristiche tecniche completamente diverse da quelle delle postazioni mareografiche in laguna (Figura 2.2); per queste stazioni caratterizzate da un elevato fondale (LIM 9 metri e MAM 11 metri circa), infatti, è stato progettato un sistema di posizionamento ed ancoraggio al fondo della strumentazione di misura [Simionato, 2006] per consentire un agile recupero della sonda per le operazioni di scarico dati, manutenzione, pulizia e riposizionamento alla quota di misura. Nella Figura 2.5 è mostrato uno schema tipico di posizionamento e ancoraggio.

Per la stazione che ospita le due sonde 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 2.3).

Le stazioni LTP, MAP, CHP, posizionate all'interno della laguna, sono state allestite utilizzando le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 2.4). Le stazioni coincidono con le postazioni utilizzate nello Studio B.6.78/I.



Figura 2.2. Stazione MAM.



Figura 2.3. Stazione LMR.



Figura 2.4. Stazione CHP.

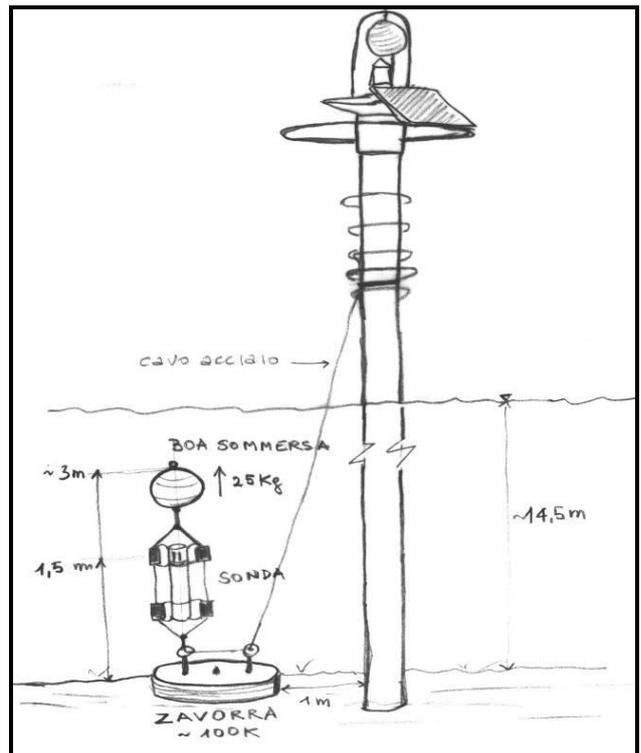


Figura 2.5. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare.

2.2 Strumentazione per la misura della torbidità

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

A seconda del grado di sensibilità di cui si vuole disporre e delle condizioni più frequentemente incontrate nei periodi precedenti, si imposta per lo strumento un appropriato intervallo di misura, come indicato nella Tabella 2.2 dove sono riassunte le caratteristiche tecniche di tutti i sensori utilizzati nelle stazioni fisse (temperatura, conducibilità e pressione).

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

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

Tabella 2.2. 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.

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

La qualità dei dati registrati dallo strumento è fortemente condizionata dalle caratteristiche ambientali del corpo idrico. Sia i sensori che l'armatura di protezione degli stessi sono soggetti infatti a frequenti fenomeni di accumulo di materiale macroscopico, quale residui di piante acquatiche e macroalghe o breve stazionamento di organismi marini che, nella maggior parte dei casi, si distacca dall'apparecchiatura spontaneamente all'inversione della marea.

Spesso inoltre si presenta il problema del fouling, cioè una crescita progressiva di alghe e organismi risolvibile soltanto con un'accurata pulizia, sia dei sensori che del corpo della sonda, che viene effettuata a bordo di un'imbarcazione contemporaneamente allo scarico dei dati. Tali operazioni sono effettuate con cadenza circa settimanale per le sonde all'interno della laguna e delle bocche di porto e ogni due settimane per le sonde in mare. Talvolta non è possibile rispettare tali scadenze a causa delle condizioni meteo-marine avverse.

Nella Figura 2.6 si riporta un esempio di fouling nella sonda della stazione LTP mentre nella Figura 2.7 si vede la stessa sonda dopo le operazioni di pulizia.

In aggiunta alla pulizie settimanali effettuate in campo, per ogni sonda viene effettuata in laboratorio, in periodi prestabiliti, una procedura di pulizia chimica approfondita e una ricalibrazione aggiuntiva. Questo perché il prolungato stazionamento delle sonde in acqua determina la presenza di organismi incrostanti di composizione calcarea sulla superficie dei sensori e negli spazi ristretti fra un sensore e l'altro; la loro rimozione meccanica in campo sarebbe critica per la possibilità di danneggiamento della finestra ottica del torbidimetro.

Le attività in campo ed in laboratorio per la manutenzione e pulizia di tutta la strumentazione sono indispensabili in quanto, trattandosi di una misura ottica, qualsiasi ostacolo che si trovi nella regione spaziale investigata dal sensore di torbidità è in grado di produrre perturbazioni significative che si traducono nell'impossibilità pratica di utilizzare le informazioni registrate.

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



Figura 2.6. Sonda LTP prima delle operazioni di pulizia (07/09/11)



Figura 2.7. Sonda LTP dopo le operazioni di pulizia (07/09/11)

Contestualmente alle operazioni di pulizia si prelevano campioni d'acqua per mezzo di una "bottiglia a sifone" da 1000 cc, alla quota di posizionamento del sensore OBS di ciascuna sonda. In laboratorio vengono analizzati i campioni d'acqua ed eseguite le determinazioni dei solidi sospesi (mg/l) utilizzando la metodica IRSA (Quaderno 100/2050/94).

La metodica prevede, per la filtrazione, l'utilizzo di membrane in policarbonato (Millipore HTTP04700) con porosità di 0.4 μm e diametro di 47 mm. Le membrane, attraverso le quali viene

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

filtrato un determinato volume d'acqua (200 ml), vengono pesate prima dell'uso e riposte in scatole Petri.

La scelta di filtrare un volume di 200 ml deriva da un compromesso fra le diverse condizioni che si possono incontrare nella colonna d'acqua al variare delle caratteristiche del particolato sospeso nelle diverse stagioni. In condizioni estive, quando la frazione organica del particolato in sospensione aumenta significativamente, è spesso molto difficile filtrare volumi superiori a 200 ml, specialmente per le stazioni localizzate all'interno delle bocche di porto. In questi casi infatti può succedere che il filtro si intasi prima che tutto il campione sia stato filtrato, nel qual caso bisogna recuperare il campione dal bicchiere e filtrarlo in un'altra membrana. L'esperienza dimostra che questa procedura di recupero comporta un errore superiore all'errore che si potrebbe compiere filtrando meno campione. Si preferisce quindi limitarsi ad un volume che viene sicuramente filtrato per intero piuttosto che rischiare di arrestare l'operazione prima che l'aliquota di campione versata nel sistema sia stata completamente filtrata. Nel periodo invernale, invece, l'acqua, specialmente per le stazioni a mare, è molto limpida e consentirebbe di filtrare volumi decisamente superiori a 200 ml; dovendo però utilizzare lo stesso metodo di analisi per tutti i campioni si filtrano comunque 200 ml.

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 tra il peso finale e iniziale della membrana rapportata al volume d'acqua filtrato. Tutte le operazioni di pesatura sono effettuate mediante l'utilizzo di una bilancia analitica.

Il prelievo dei campioni d'acqua e la successiva determinazione della concentrazione del particolato solido sospeso (in mg/l) sono indispensabili per convertire i dati grezzi di torbidità come descritto nel paragrafo 12.12.4.3.

Tutte le operazioni in campo (manutenzione e prelievi) sono registrate dagli operatori, su apposite schede, in occasione di ciascuna operazione di scarico dei dati (Figura 2.8).

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

prelevati durante gli interventi di pulizia, presenta comunque un certo grado di soggettività. Si individua una polinomiale (generalmente di grado 1 o 2) interpolando i valori della linea di base della funzione originaria nel tratto interessato dal fenomeno, prendendo come punto di partenza il valore più basso prima dell'inizio della deriva (si presuppone quindi che sia un valore corretto e non affetto da fouling). Ai valori originari si sottrae quindi la polinomiale, con l'obiettivo di ottenere come risultato l'allineamento dei punti della linea di base con il punto di partenza e controllando che il valore finale non sia troppo dissimile dal valore del campione d'acqua prelevato. Purtroppo in alcuni casi rimane una deriva residua nel tratto terminale: se è possibile ottenere un buon risultato, si può applicare una seconda volta la procedura correttiva, altrimenti è necessario eliminare i dati.

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

Numerosi esempi di deriva dovuta al fouling e la presenza di un picco istantaneo sono rappresentati nella Figura 2.9 dove si riporta la serie temporale della torbidità dopo l'applicazione della procedura automatica di filtrazione e di media mobile. In tutti questi casi è stata effettuata una correzione sottraendo una polinomiale di secondo grado che ha permesso di correggere le derive; è stato poi necessario eliminare alcuni dati dal 7 al 9 Giugno poiché si discostavano troppo sia dal valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua (pallino rosso) sia dalla torbidità misurata dopo l'intervento di manutenzione. È stato inoltre eliminato manualmente il picco del 10 Giugno. Il risultato dopo la correzione è visibile nella Figura 2.10.

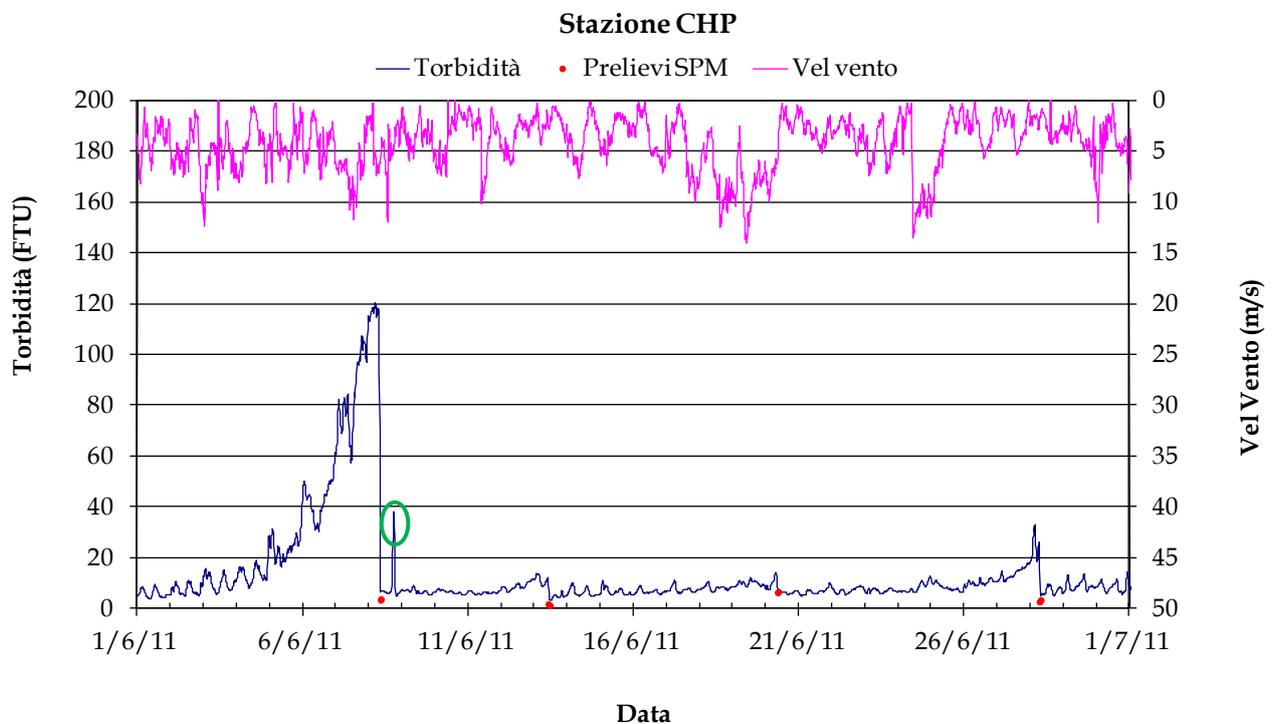


Figura 2.9. Esempio della presenza di derive progressive dei valori di torbidità dovute al fouling e di un picco nella stazione CHP evidenziato con un cerchio verde. Con un pallino rosso è rappresentato il valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua prelevato durante l'intervento di manutenzione.

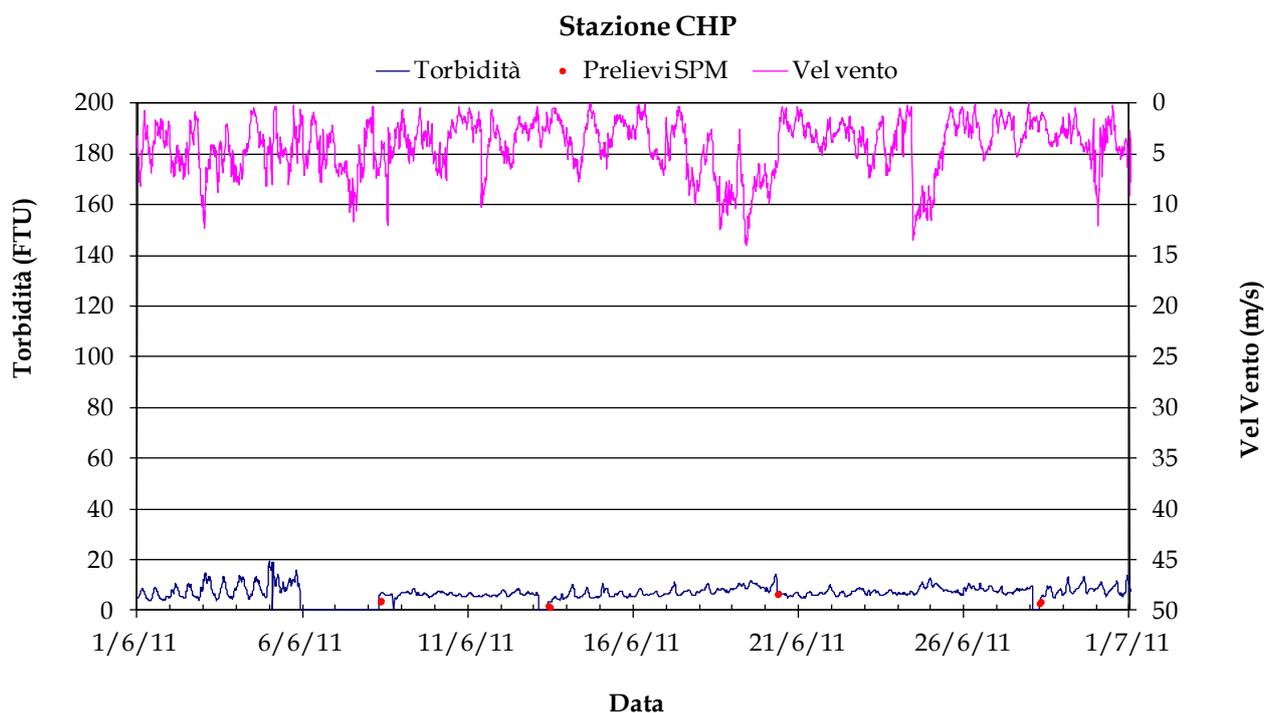


Figura 2.10. Risultato finale dopo l'applicazione della procedura correttiva, l'eliminazione dei dati nel tratto 7-9 Giugno 2011 e del picco del giorno 10 Giugno 2011. Con un pallino rosso, è messo rappresentato il valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua prelevato durante l'intervento di manutenzione.

2.4.3 Calibrazione dei sensori di torbidità

Nelle reti di misura in continuo viene rilevata la torbidità che è la riduzione della trasparenza dell'acqua dovuta alla presenza di sostanze in sospensione. La misura della torbidità infatti 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 FTU (Formazine Turbidity Units), viene determinata misurando la luce dispersa rispetto ad un angolo formato dal raggio incidente (backscattering).

Il particolato solido in sospensione (Suspended Particulate Matter - SPM) che include sia la frazione organica che inorganica consiste invece nella 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).

I valori di torbidità, registrati come dati grezzi espressi in FTU dovranno essere convertiti in valori di concentrazione del particolato solido sospeso (mg/l). Non è tuttavia possibile stabilire una correlazione diretta tra questi due parametri poiché 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 e dipende anche dalla lunghezza d'onda del raggio incidente.

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 sia a fattori strumentali dovuti alla diversa risposta dei sensori sia alla variabilità intrinseca delle diverse componenti della frazione sospesa nell'ambiente naturale. Per quanto riguarda l'ambiente lagunare esistono sia variazioni stagionali principalmente legate alla quantità e qualità della frazione organica, sia variazioni della

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

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. Si utilizzano quindi relazioni sito-specifiche, che descrivono il comportamento delle due variabili in una singola stazione. La relazione di regressione sito-specifica è determinata quindi per ogni stazione correlando le concentrazioni determinate nei campioni d'acqua ed il valore della torbidità registrata dallo strumento nello stesso istante del prelievo. Viene calcolata però successivamente alla procedura di filtrazione e alle correzioni effettuate per rimuovere l'effetto del fouling pertanto per la calibrazione si utilizza solo un sottoinsieme delle coppie di valori di torbidità e concentrazione di SPM disponibili.

Nel paragrafo 3.1 sono riportati, per ogni stazione di misura, i diagrammi sperimentali e le specifiche rette utilizzate per la conversione.

3. ANALISI E TRATTAMENTO DEI DATI

3.1 Validazione dei dati e calibrazione

Per facilitare la comprensione del grado di copertura delle registrazioni, nella Figura 3.1 viene visualizzata l'estensione temporale delle acquisizioni effettuate dai singoli strumenti:

- in arancione si indicano i giorni in cui sono state effettuate senza problemi le registrazioni dei dati di torbidità e dei parametri fisici dell'acqua;
- in azzurro si indicano i giorni in cui mancano i soli dati di torbidità;
- in grigio si indicano i giorni in cui mancano sia i dati di torbidità che i dati dei parametri fisici dell'acqua per malfunzionamento dello strumento o per sua assenza.

Si elencano inoltre di seguito per ogni stazione i motivi della mancanza dei dati o delle sonde nei giorni indicati in azzurro o grigio in Figura 3.1:

- stazione LTP: la registrazione inizia il giorno 8 Agosto 2011 in quanto la sonda era precedentemente in manutenzione; inoltre la registrazione dei dati non è avvenuta dal giorno 15 al giorno 22 Agosto 2011 per un'anomalia, ora risolta, della sonda stessa.
- stazione LMR: la sonda non ha registrato dal 25 al 28 Giugno 2011 per un esaurimento prematuro delle batterie che sono poi state sostituite il giorno 28 Giugno in contemporanea all'intervento di pulizia.
- stazione LMR-2: la sonda è tuttora in manutenzione; si presume che possa essere ricollocata in loco per la metà del mese di Settembre 2011.
- stazione MAP: la sonda non ha registrato dall'8 al 30 Maggio 2011 probabilmente a causa di un esaurimento prematuro delle batterie.
- stazione MAM: il palo a cui era ancorato lo strumento è stato abbattuto nel Dicembre 2010 e la sonda è stata riposizionata il 15 Giugno 2011. A causa di problemi nel posizionare il sistema di ancoraggio della sonda, l'acquisizione dati nel periodo 15 Giugno 2011 ore 10:30 - 16 Giugno 2011 ore 11:00 è avvenuta ad una profondità di 1.2 m dal pelo dell'acqua. La quota dello strumento è stata poi corretta in data - 16 Giugno 2011 alle ore 11:00. Pertanto i dati risultano non utilizzabili nei primi due giorni di misura.

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

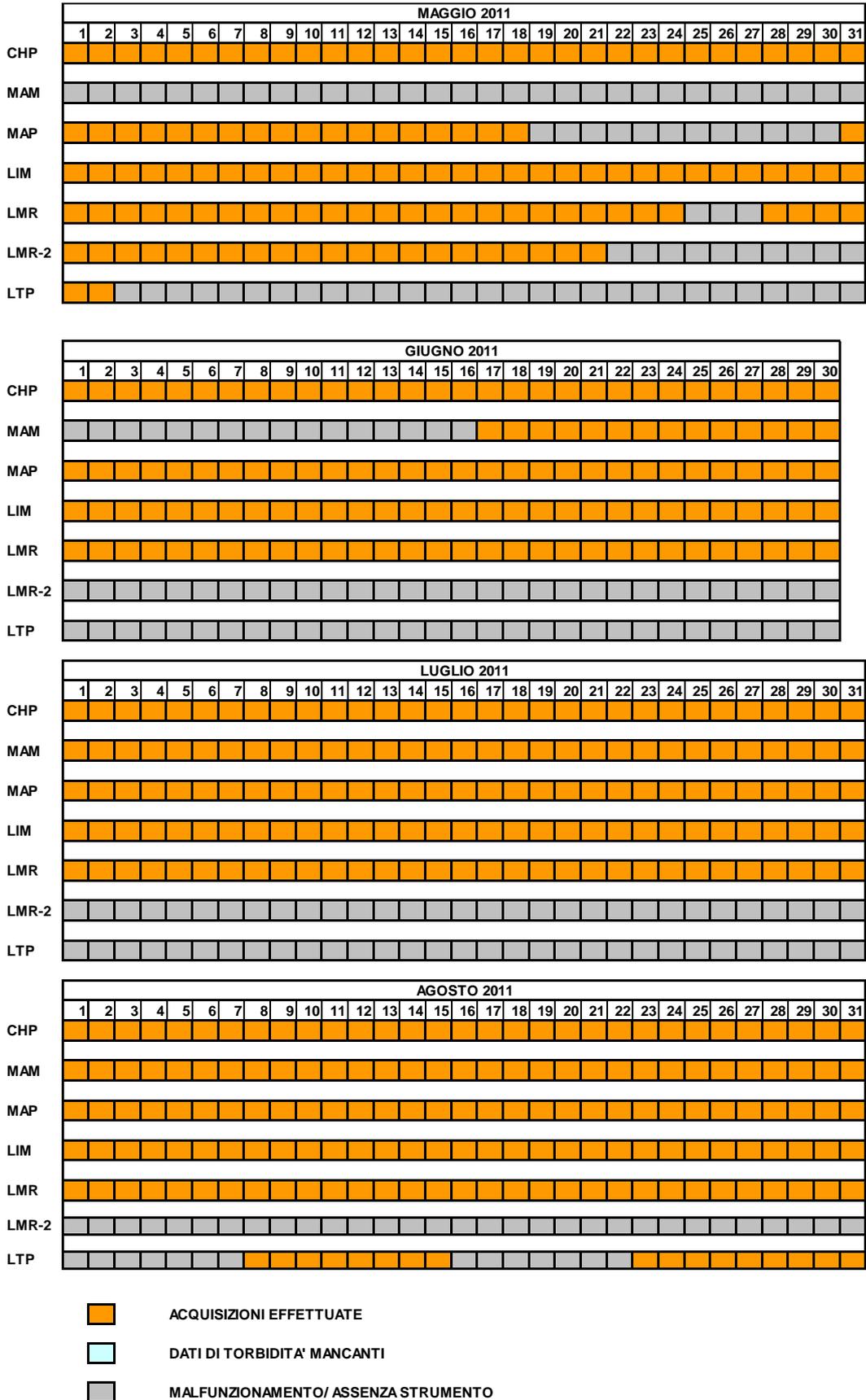


Figura 3.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle stazioni oggetto del monitoraggio nel periodo Maggio-Agosto 2011.

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

Di seguito, nella Tabella 3.1, è riportata la percentuale di funzionamento di ogni sonda (numero dei giorni di funzionamento rispetto al numero complessivo dei giorni di impiego) e la percentuale dei dati validati dopo la procedura di filtrazione e correzione del fouling (numero dati validati rispetto al numero di dati complessivo) in tutto il periodo del monitoraggio Maggio-Agosto 2011.

Tabella 3.1. Percentuale di funzionamento (numero dei giorni di funzionamento rispetto al numero complessivo dei giorni) e percentuale dei dati validati (numero dati validati rispetto al numero di dati complessivo) nel periodo Maggio-Agosto 2011.

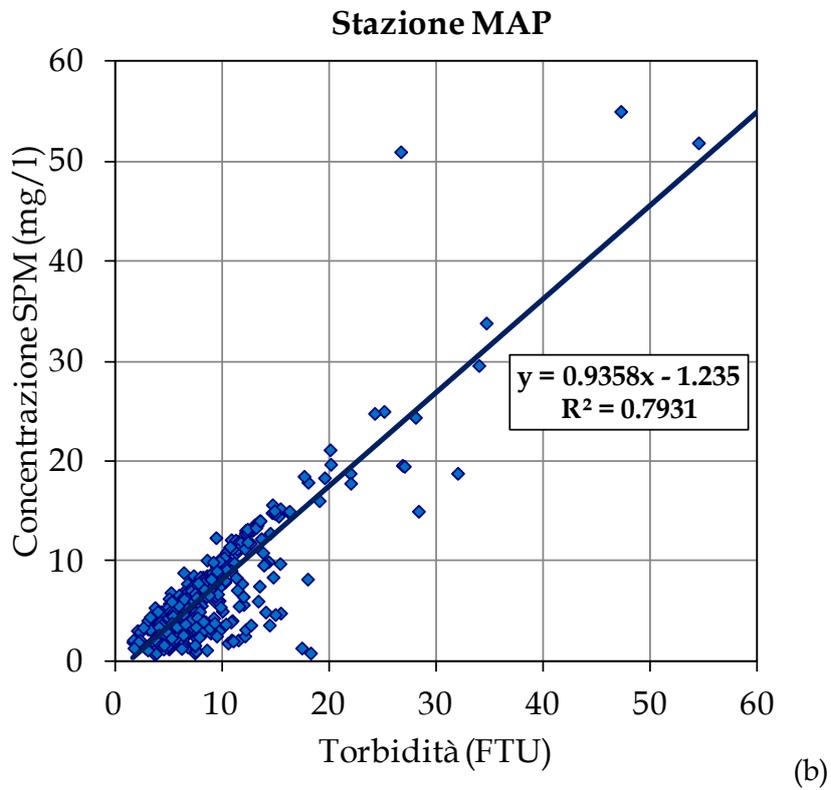
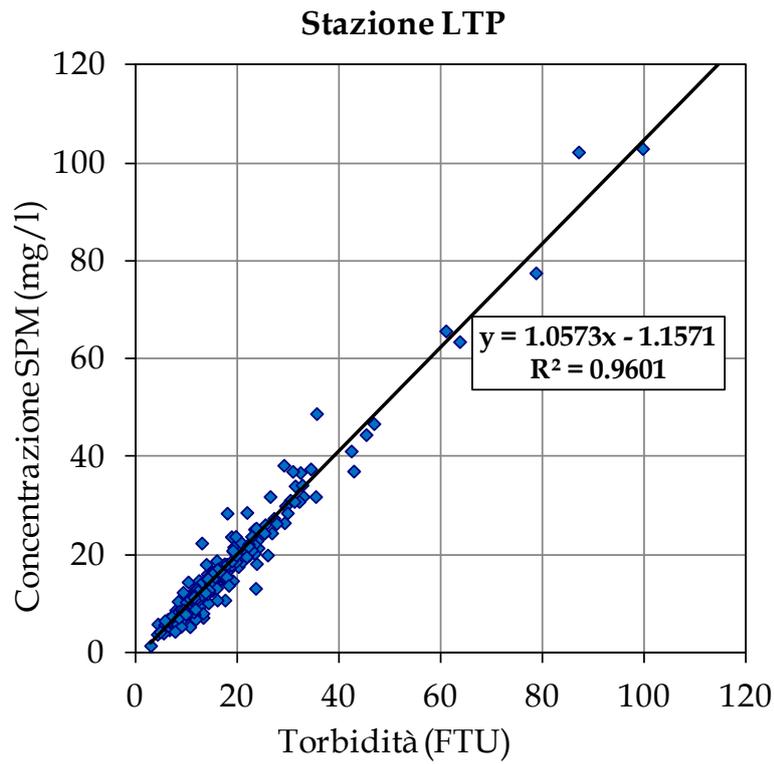
Tipologia	Stazione	Percentuale di funzionamento	Percentuale di dati validati
<i>Stazioni in laguna</i>	LTP	15.45%	13.6%
	MAP	61.79%	79.6%
	CHP	100%	97.5%
<i>Stazioni in bocca di porto</i>	LMR	97.56%	89.3%
	LMR-2	17.07%	16.1%
<i>Stazioni a mare</i>	LIM	100%	83.3%
	MAM	61.79%	61.1%

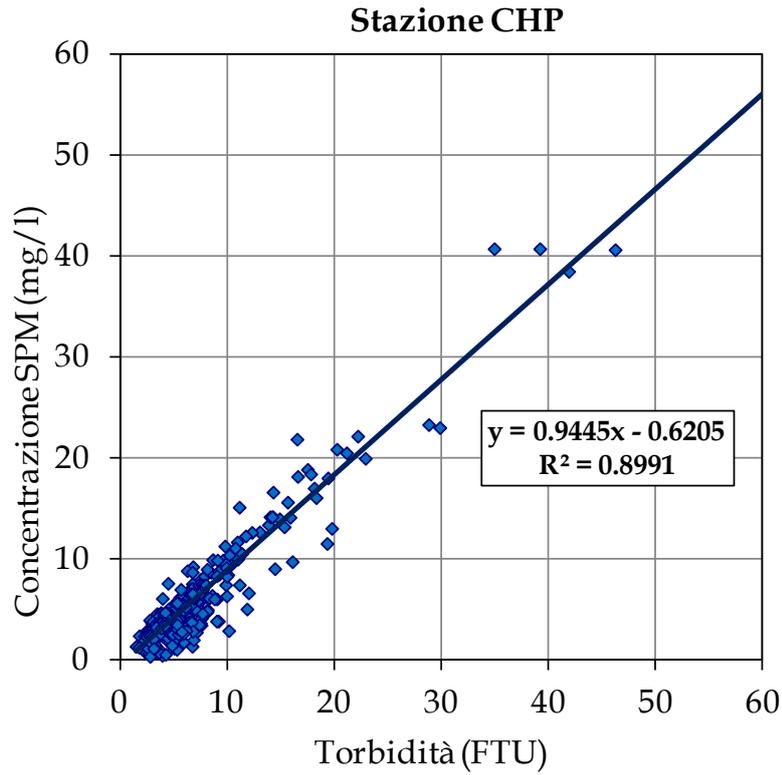
È evidente che, per le sonde il cui funzionamento supera il 90% (LIM, LMR, CHP), la percentuale di dati validati è elevata e supera l'80%, grazie agli interventi di pulizia delle sonde. Per le altre sonde invece tale percentuale è bassa poiché gli strumenti hanno funzionato per brevi periodi.

Correlando per ogni stazione i dati di torbidità corretti (FTU) e i corrispondenti valori di concentrazione di SPM (mg/l) nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione sono state determinate le rette di regressione le cui equazioni sono riportate in Tabella 3.2 e visualizzate nella Figura 3.2 (a-g). Ciascuna di queste relazioni, ricavata utilizzando tutti i dati disponibili relativi ai vari anni di monitoraggio, è stata poi utilizzata per derivare la serie temporale della concentrazione di SPM a partire dalla serie della torbidità opportunamente corretta relativa alla corrispondente stazione (paragrafo 3.2).

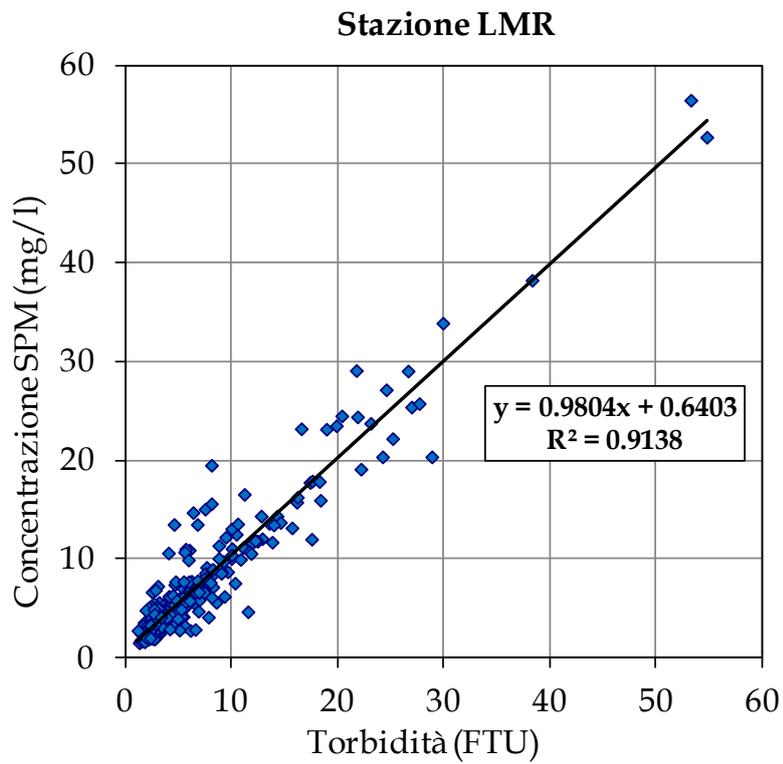
Tabella 3.2 Coefficienti ed equazioni delle rette di regressione utilizzate per la calibrazione dei sensori OBS.

Tipologia	Stazione	Equazione e coefficiente retta di calibrazione
<i>Stazioni in laguna</i>	LTP	$y = 1.0573x - 1.1571$ $R^2 = 0.9601$
	MAP	$y = 0.9358x - 1.235$ $R^2 = 0.7931$
	CHP	$y = 0.9445x - 0.6205$ $R^2 = 0.8991$
<i>Stazioni in bocca di porto</i>	LMR	$y = 0.9804x + 0.6403$ $R^2 = 0.9138$
	LMR-2	$y = 0.9195x + 0.0578$ $R^2 = 0.9309$
<i>Stazioni a mare</i>	LIM	$y = 1.0084x - 1.187$ $R^2 = 0.8749$
	MAM	$y = 1.0234x - 0.9965$ $R^2 = 0.8834$



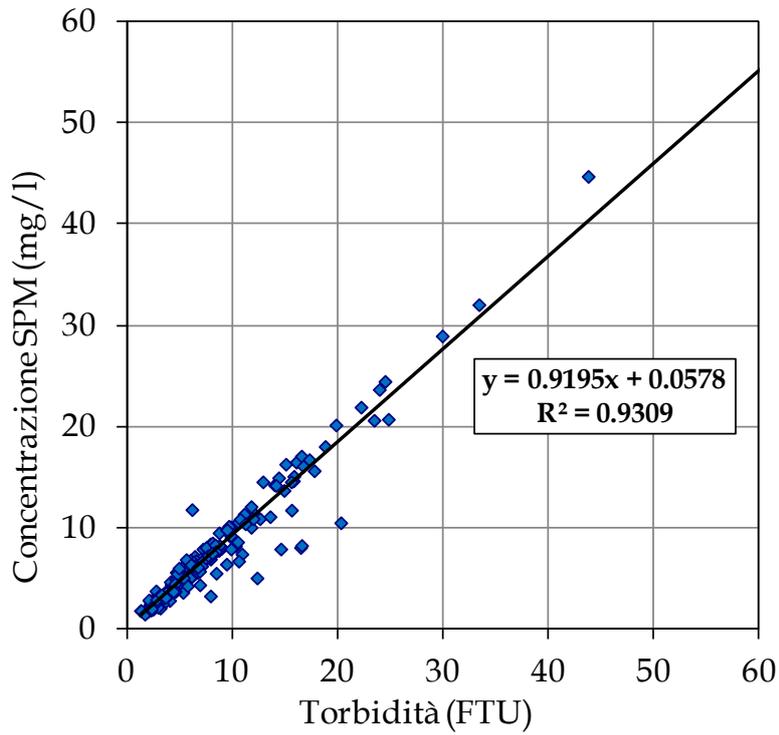


(c)



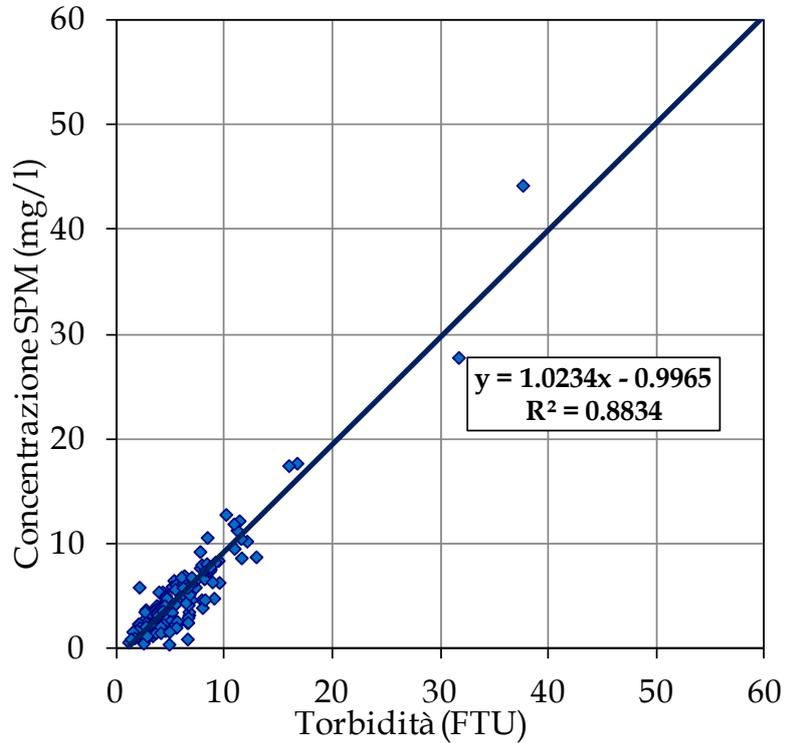
(d)

Stazione LMR-2



(e)

Stazione MAM



(f)

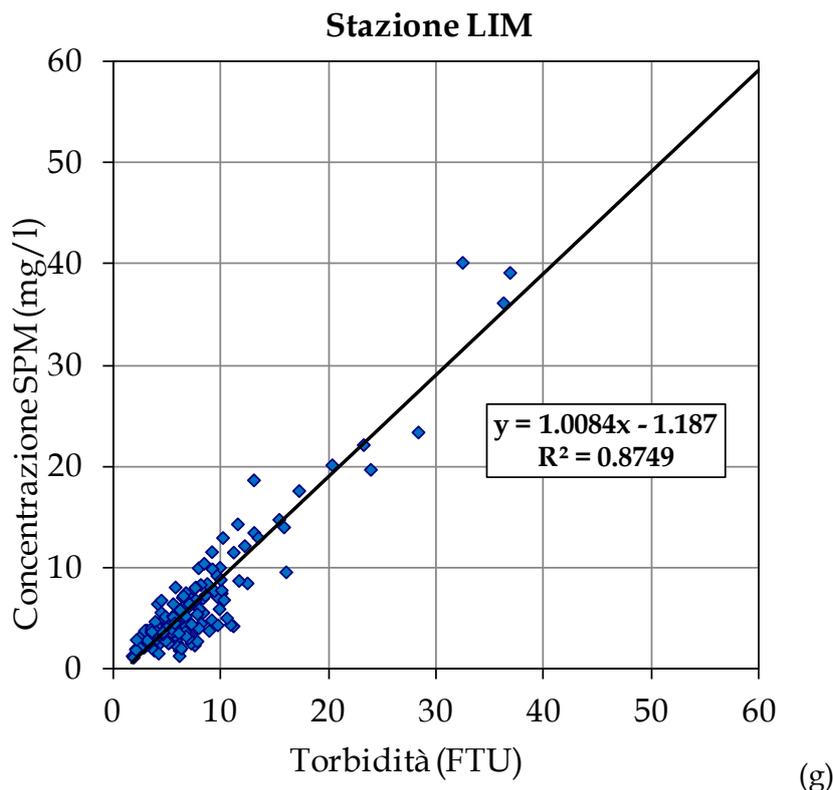


Figura 3.2. Diagrammi di regressione fra la torbidità registrata dalle sonde nelle diverse stazioni considerate ed i corrispondenti valori di concentrazione di SPM nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione. Le rette di regressione sono state calcolate includendo tutti i valori disponibili fino a Agosto 2011.

Si osserva come le pendenze delle rette di regressione per tutte le stazioni siano piuttosto vicine o pari all'unità, il che significa una quasi corrispondenza tra valori di concentrazione del materiale sospeso e torbidità. Il valore di R^2 tendente all'unità, invece, indica la bassa dispersione dei dati: a tal proposito si nota che in alcune stazioni questo coefficiente assume un valore inferiore a 0.9; è stata infatti qui riscontrata la scarsa correlazione tra valori misurati e campioni prelevati, probabilmente dovuta alla sistematica presenza, davanti alle finestre ottiche del sensore, di incrostazioni dure. Come descritto nel paragrafo 2.3, sono previsti degli interventi di manutenzione in laboratorio per il ripristino delle condizionali ottimali delle sonde (pulizia approfondita, ricalibrazione, sostituzione sensori).

3.2 Serie temporali della concentrazione del particolato solido sospeso (SPM)

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

Di seguito vengono presentate due tipologie di elaborati grafici: nella prima (da Figura 3.3 a 3.16 (a)) vengono rappresentate la concentrazione di SPM (linea nera) e la curva di marea (linea azzurra) del mareografo più vicino alla stazione in questione (Diga Nord di Malamocco, Diga Sud di Chioggia, Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia), mentre nella seconda (da Figura 3.3 a 3.16 (b)) l'SPM è rappresentato insieme all'andamento orario della velocità del vento (diversi colori a seconda del tipo di vento), misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR.

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

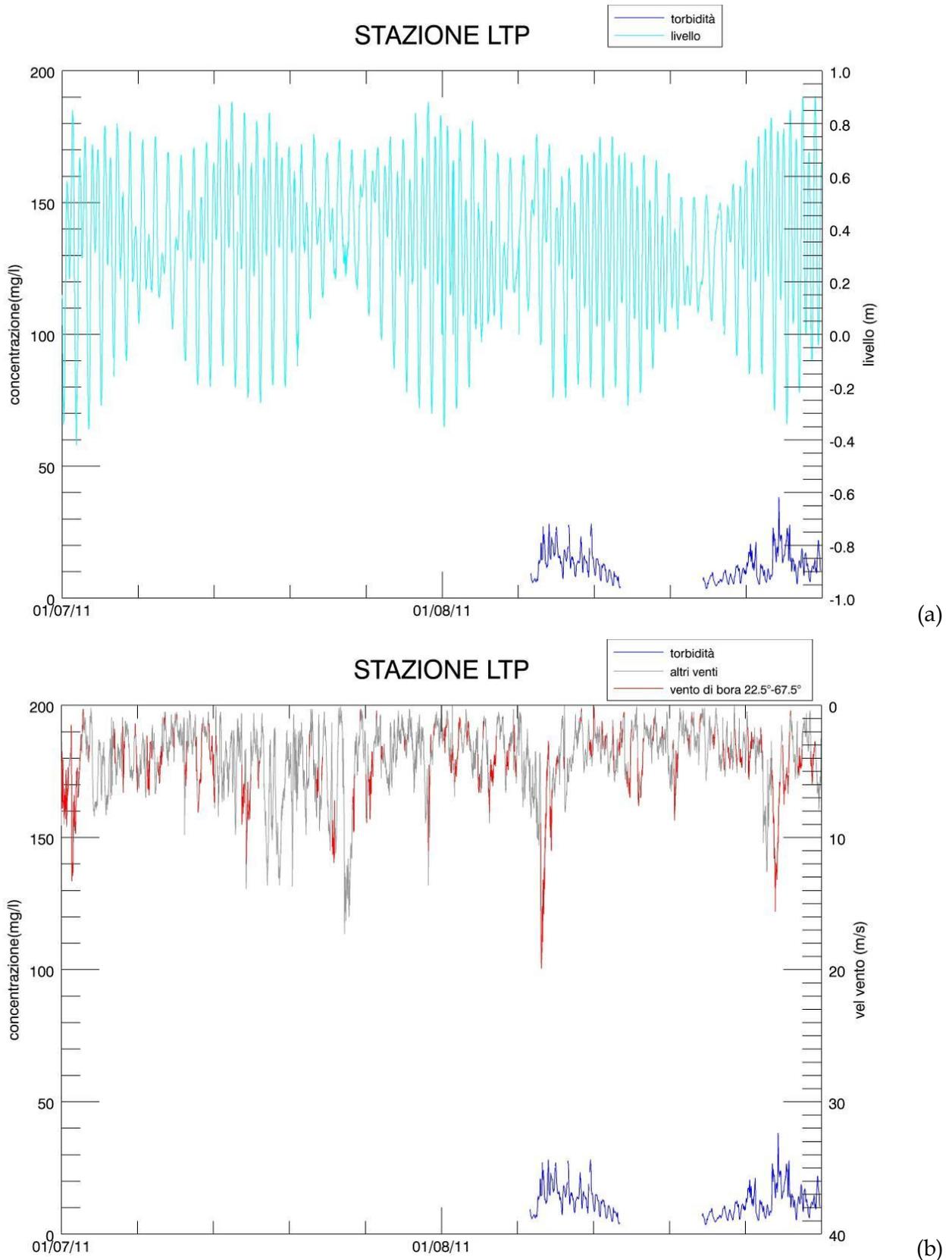


Figura 3.3. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LTP nel periodo Luglio-Agosto 2011.

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

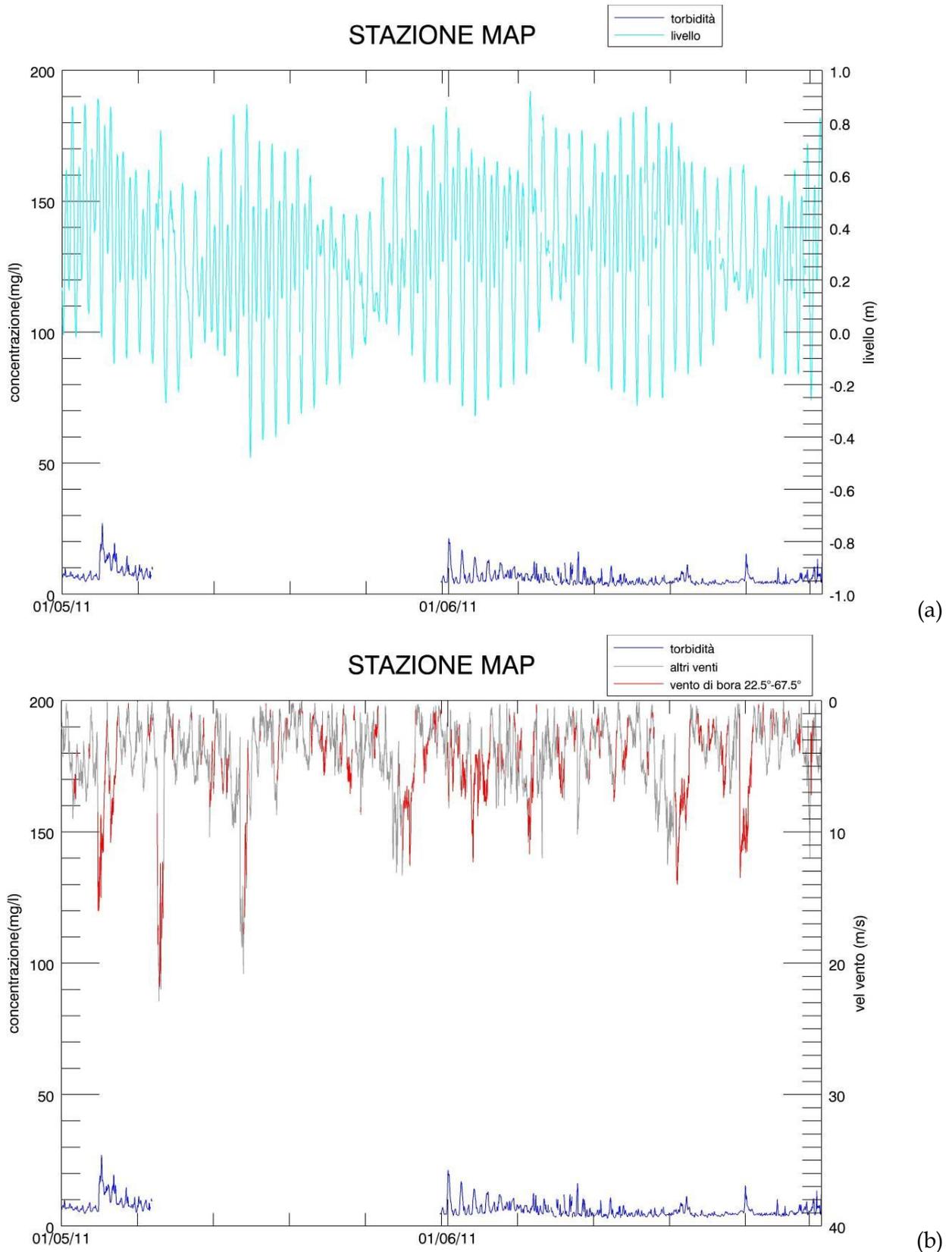
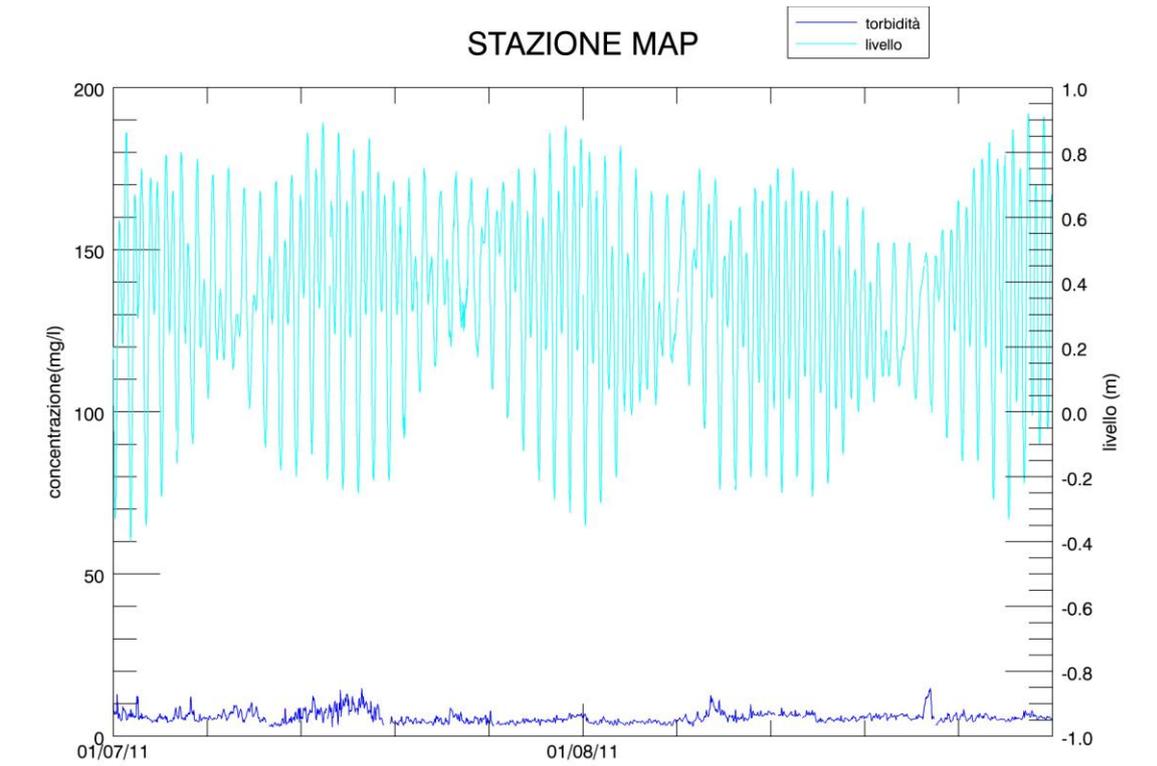
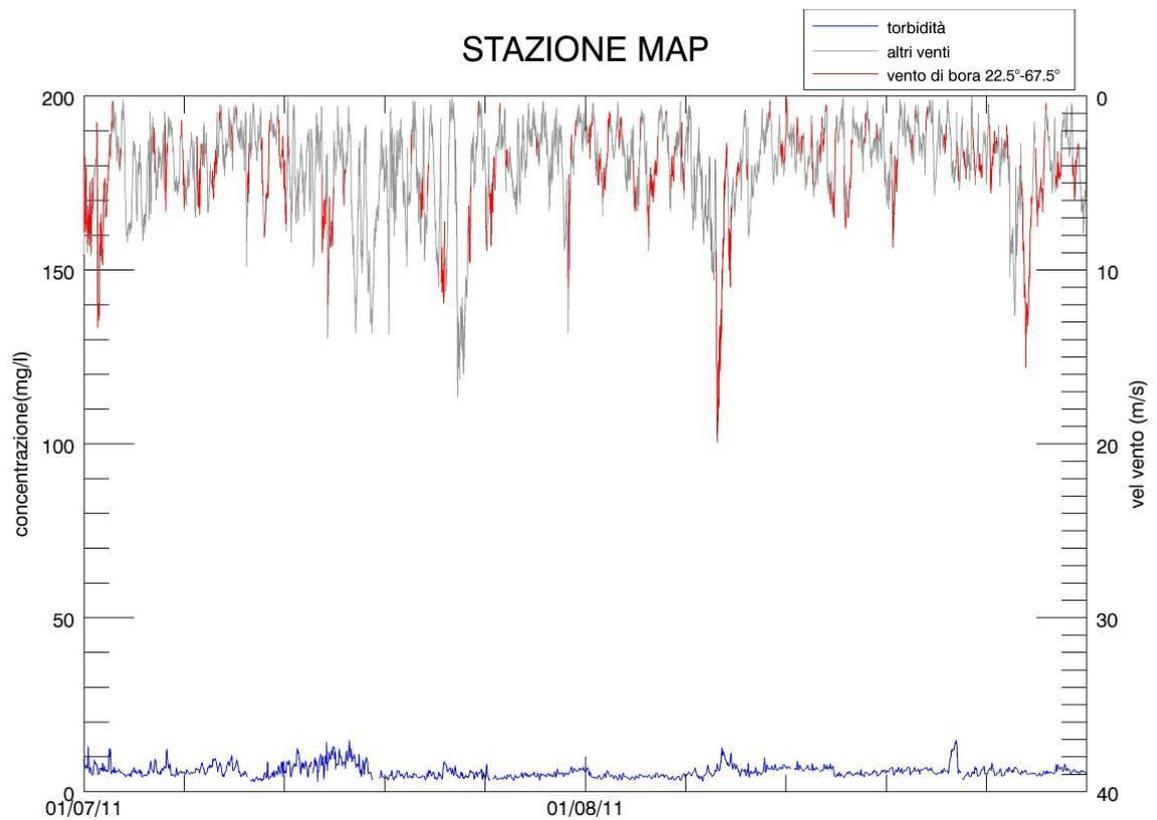


Figura 3.4. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAP nel periodo Maggio-Giugno 2011

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



(a)



(b)

Figura 3.5. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAP nel periodo Luglio–Agosto 2011.

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

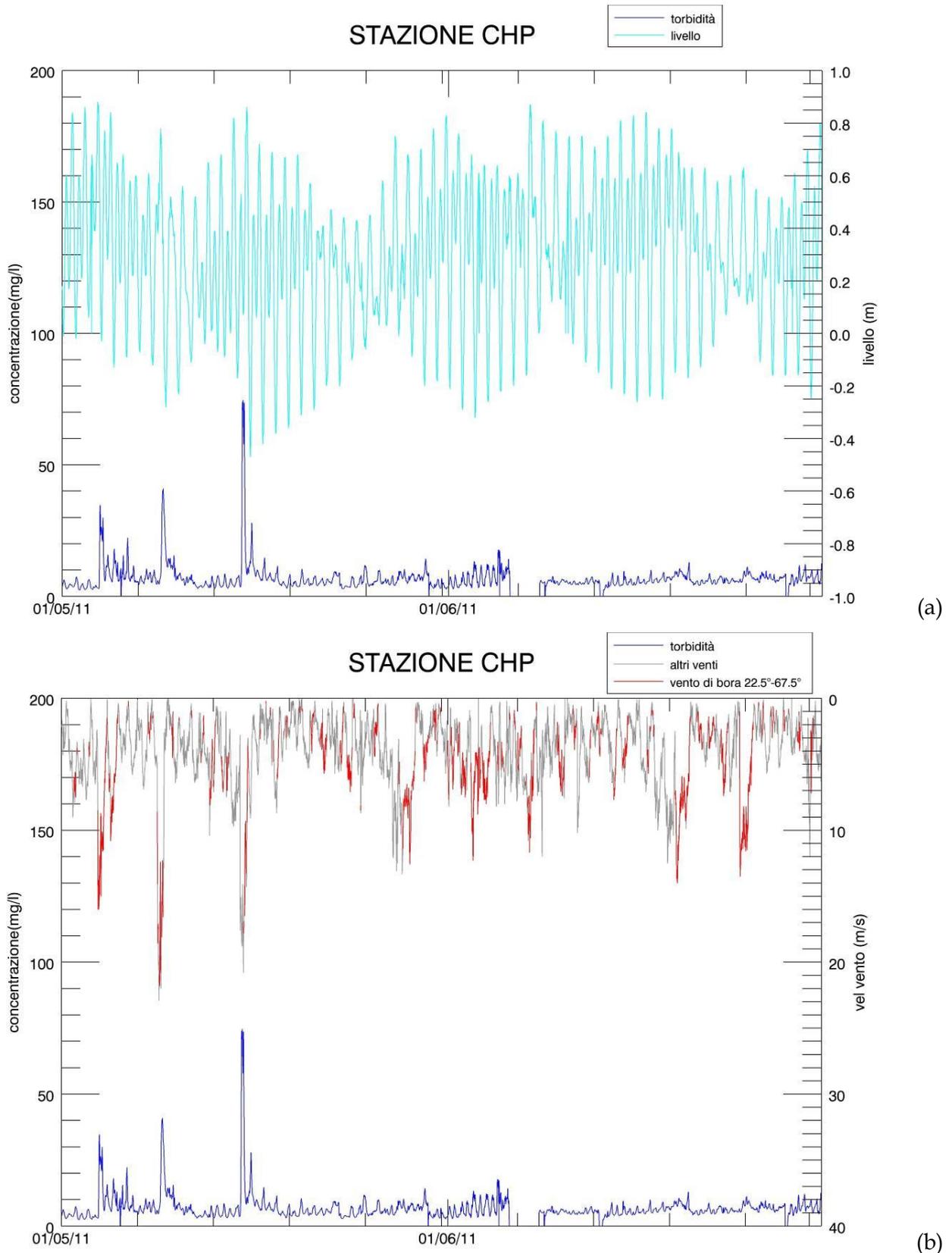


Figura 3.6. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHP nel periodo Maggio-Giugno2011.

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

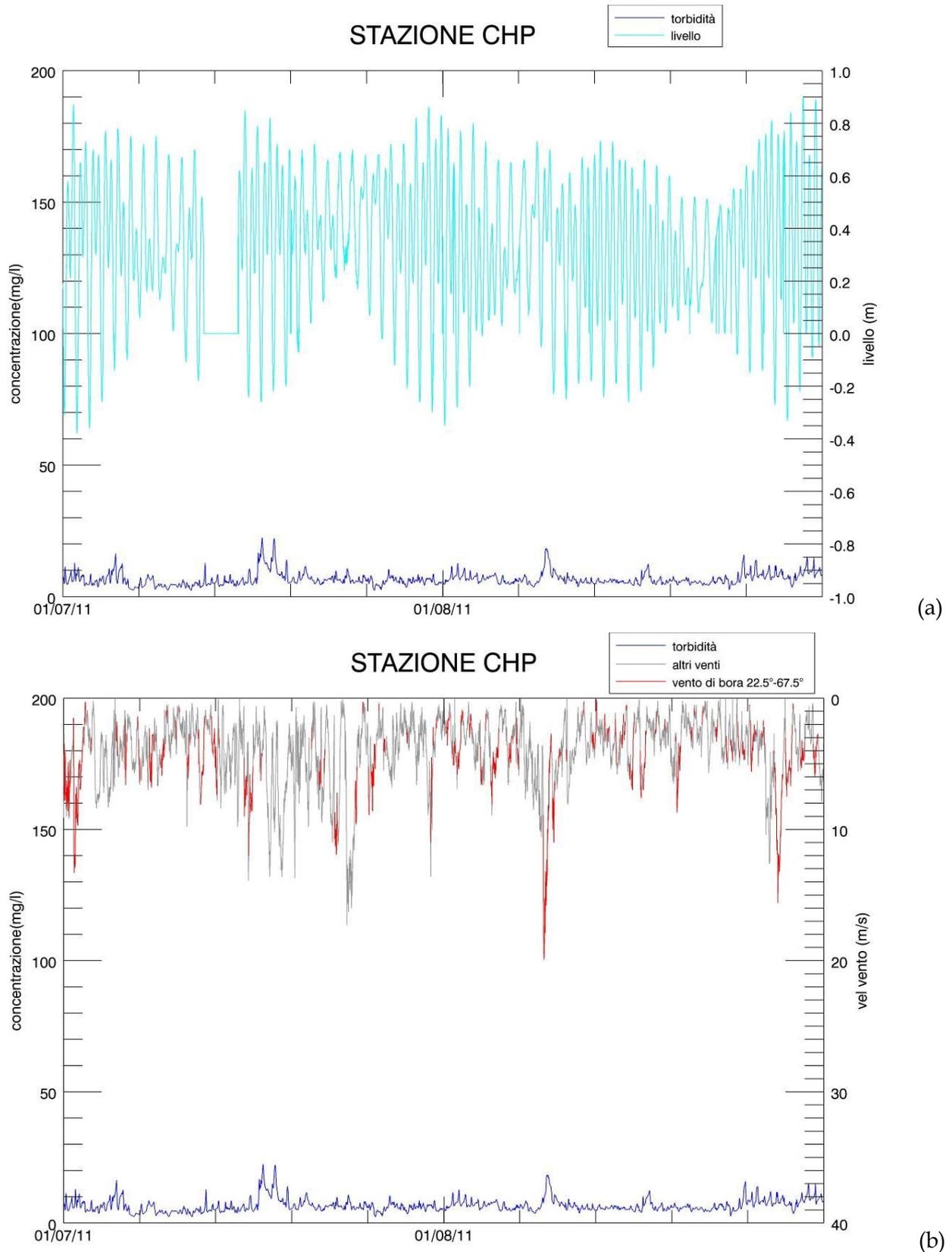


Figura 3.7. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHP nel periodo Luglio-Agosto 2011.

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

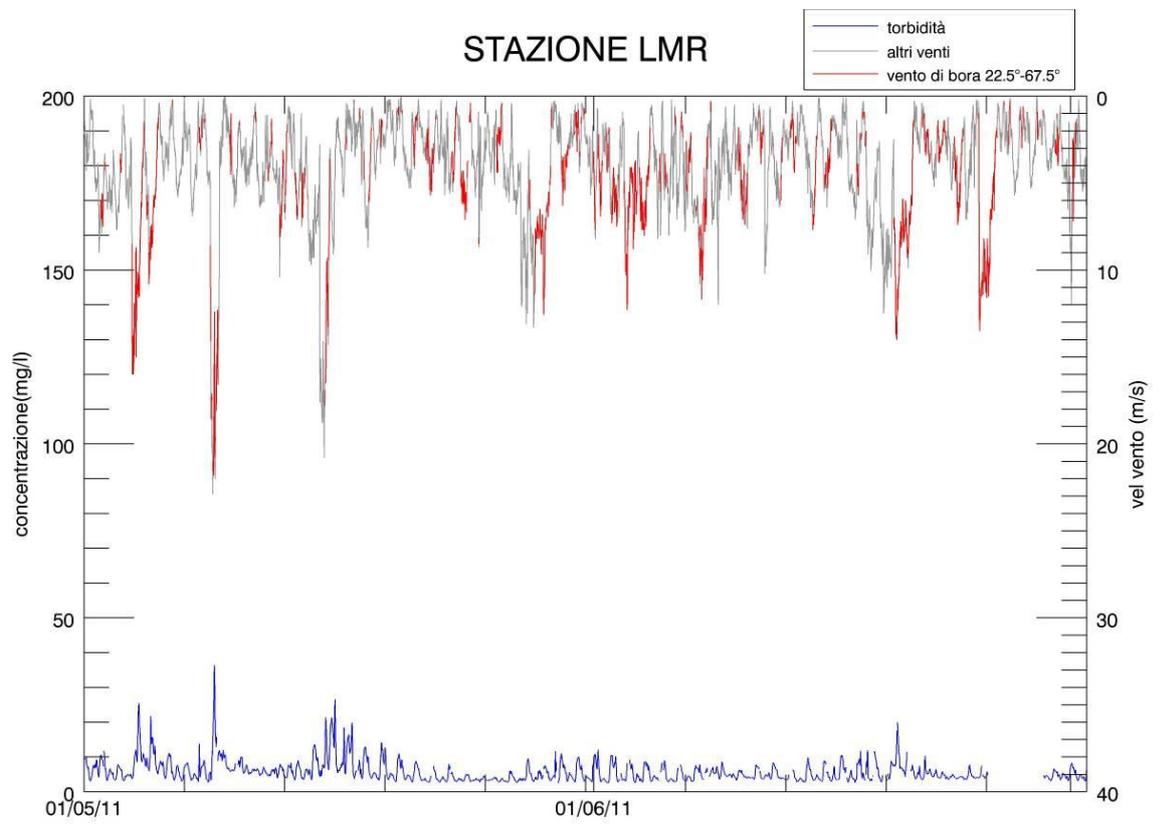
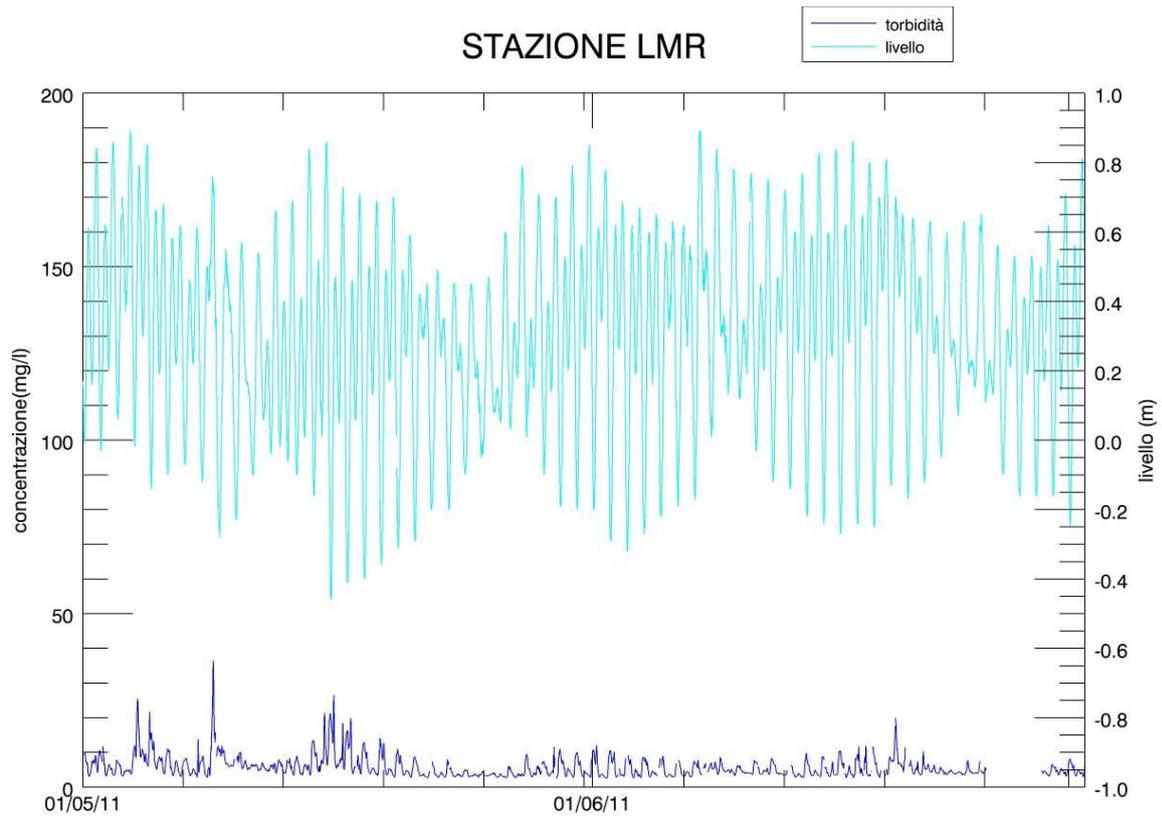


Figura 3.8. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LMR nel periodo Maggio-Giugno2011.

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

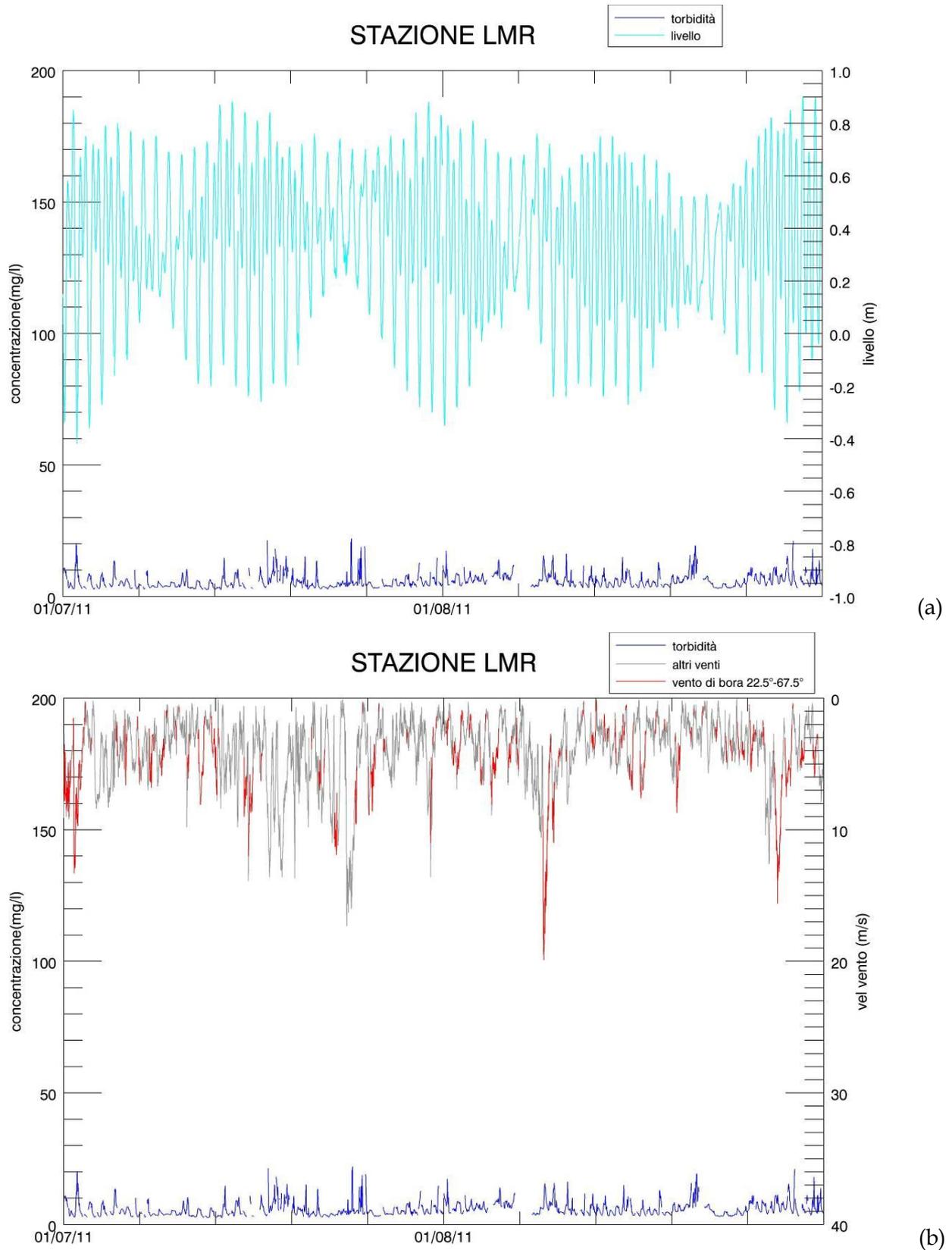


Figura 3.9. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LMR nel periodo Luglio-Agosto 2011.

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

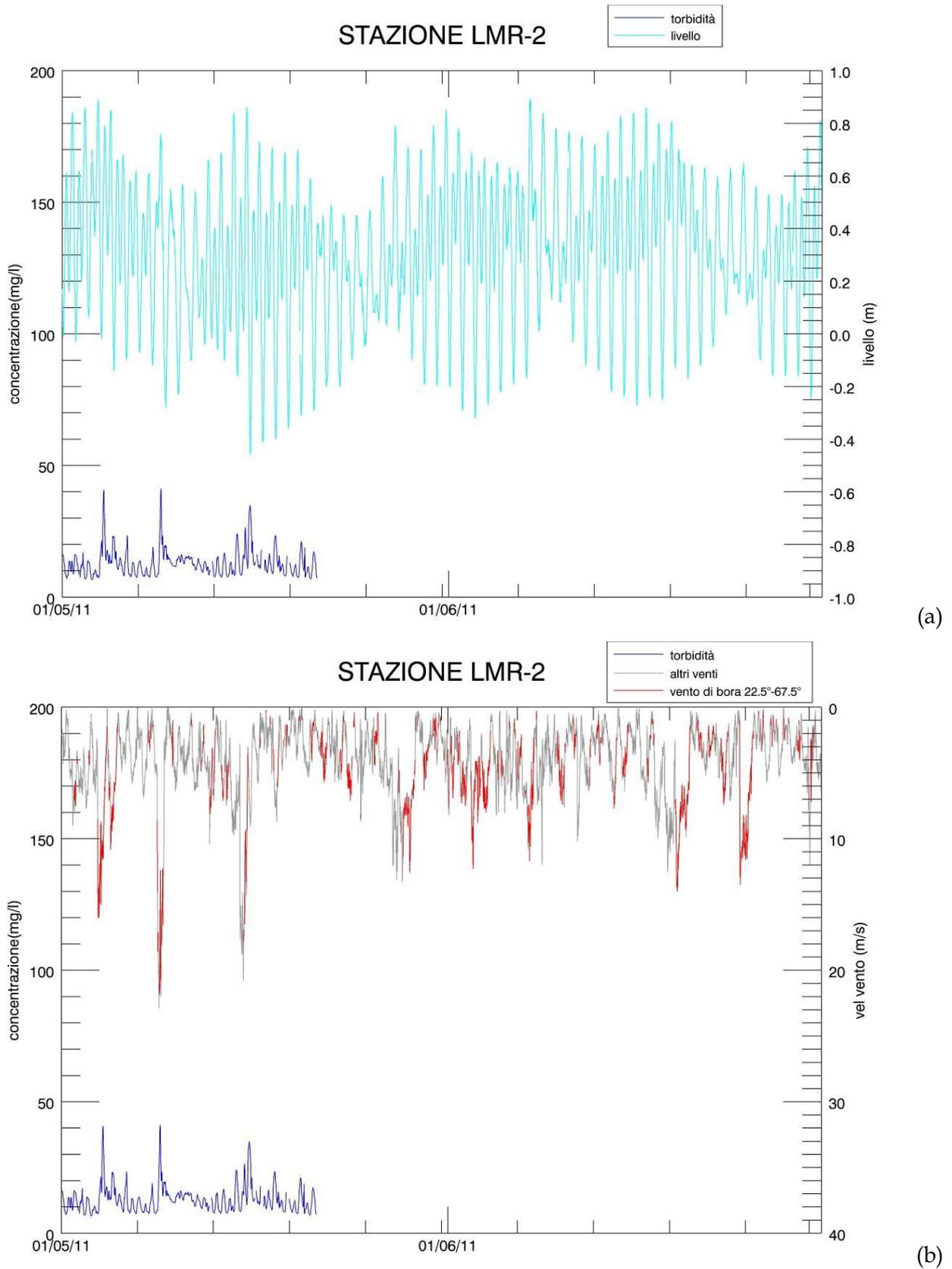
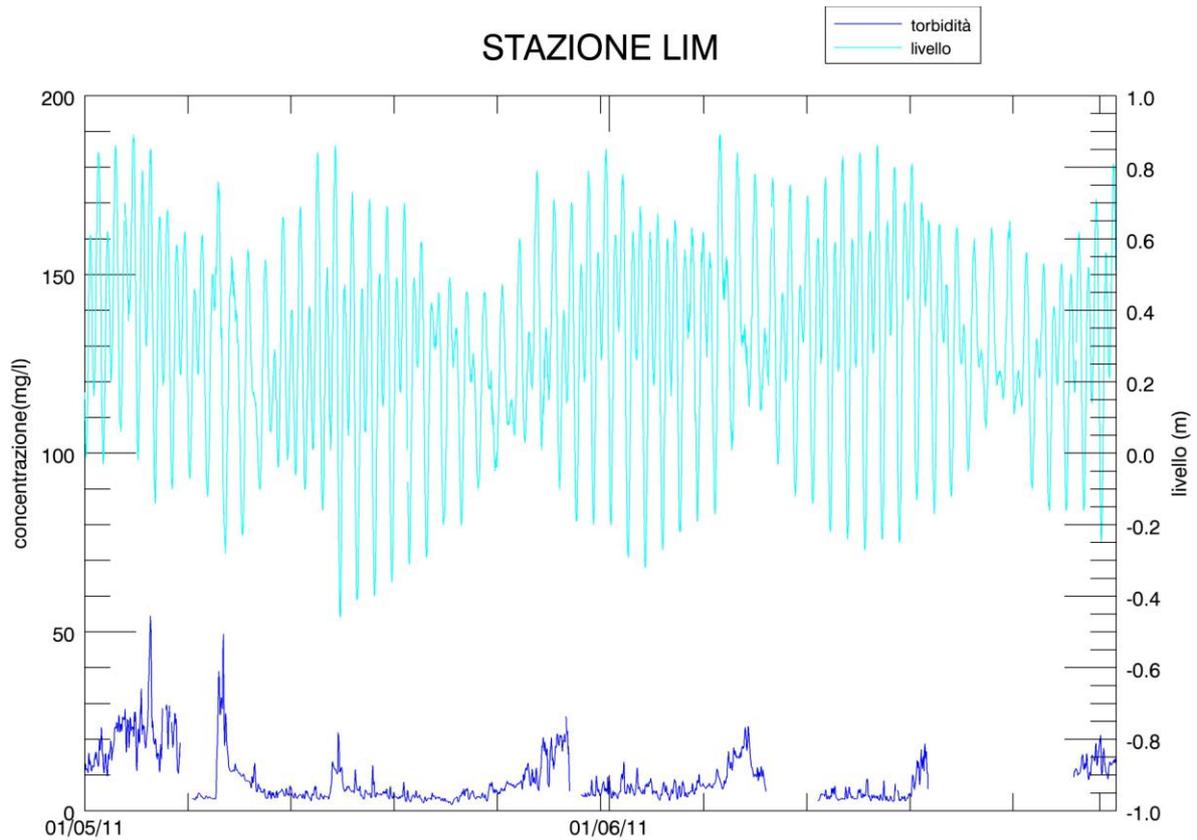
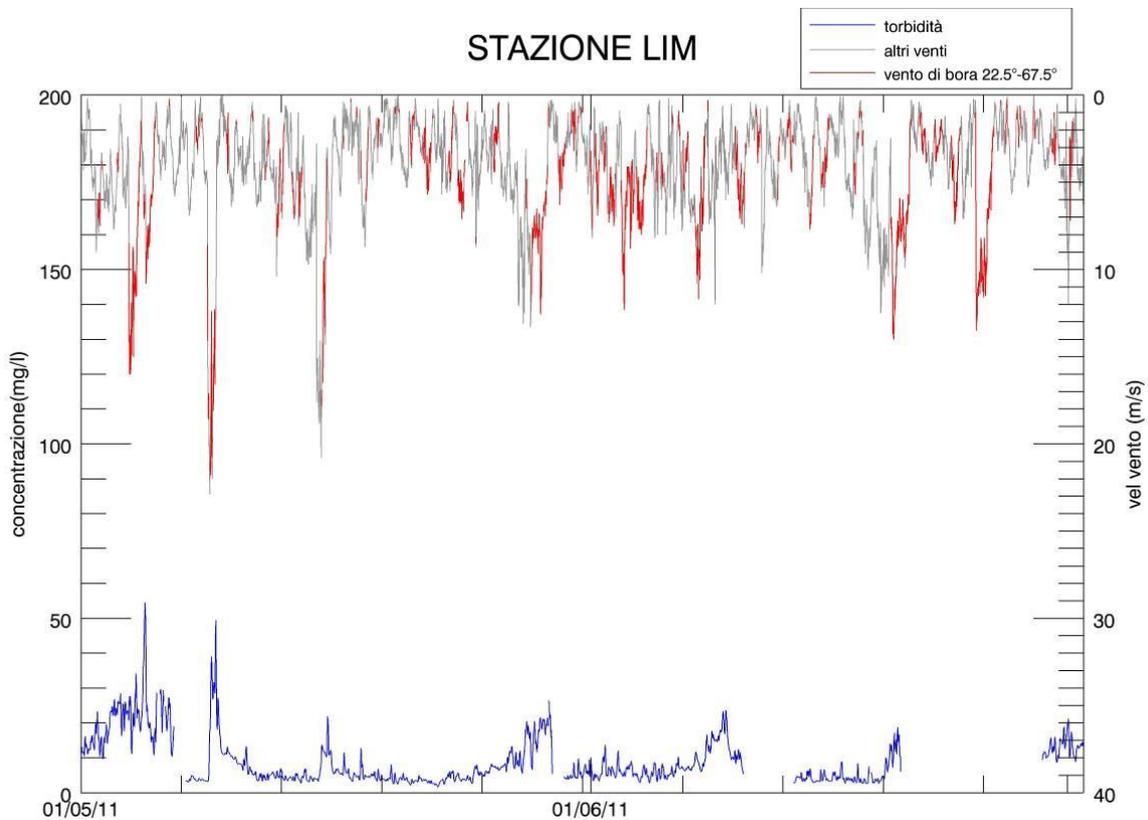


Figura 3.10. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LMR-2 nel periodo Maggio-Giugno2011.

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



(a)



(b)

Figura 3.11. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LIM nel periodo Maggio-Giugno2011.

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

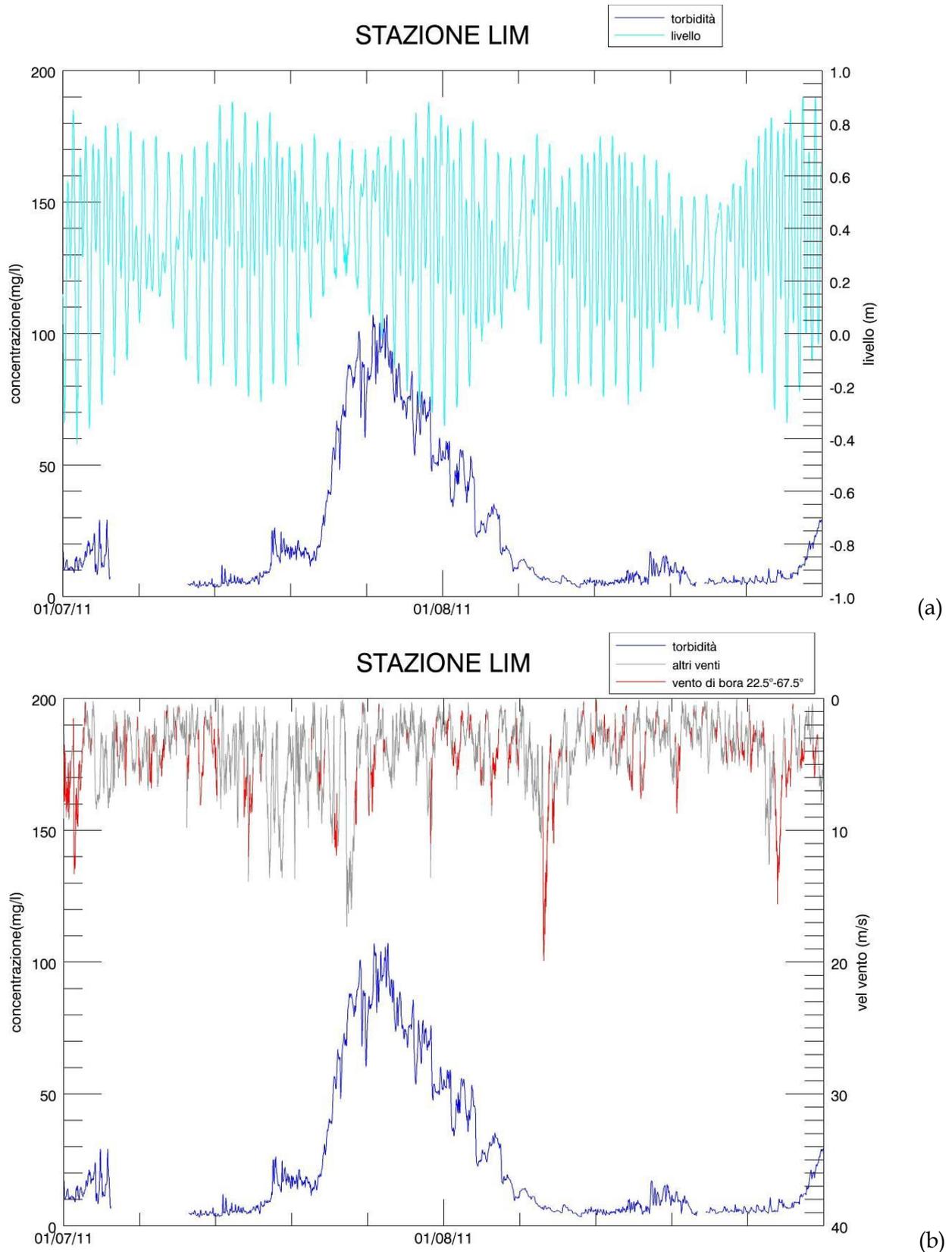
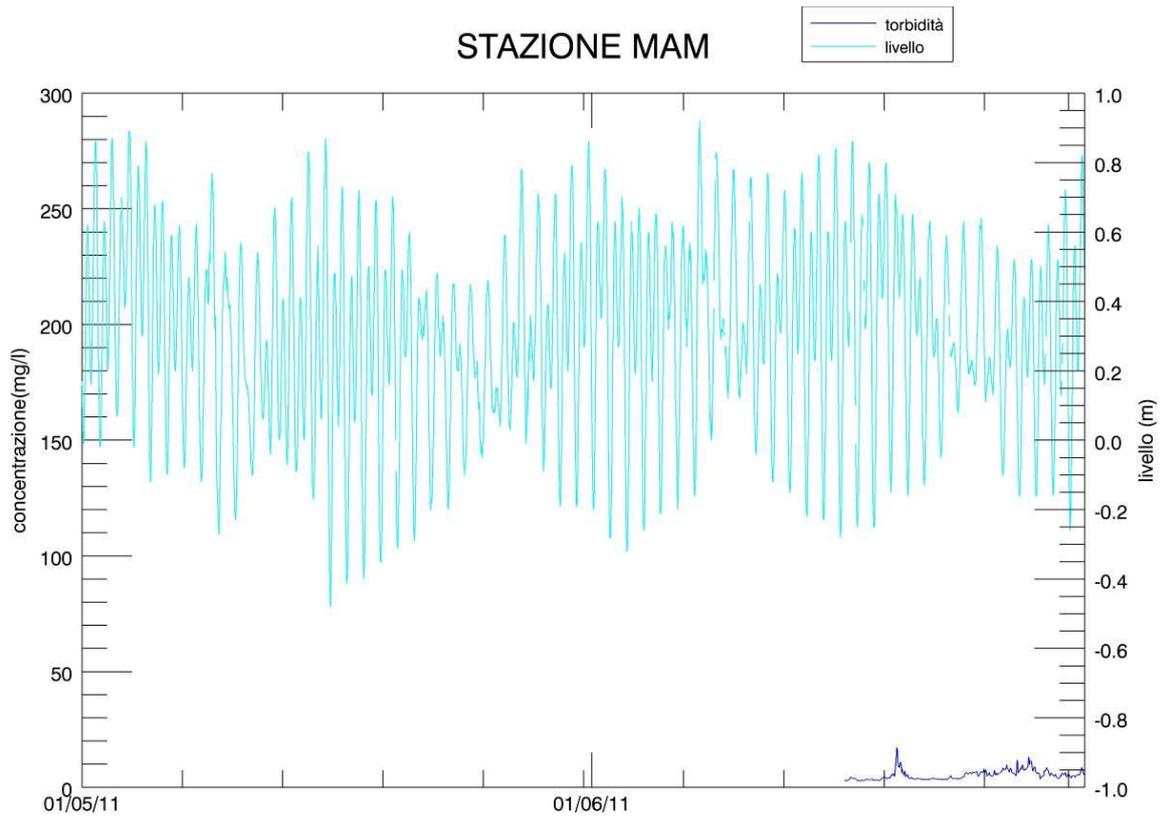
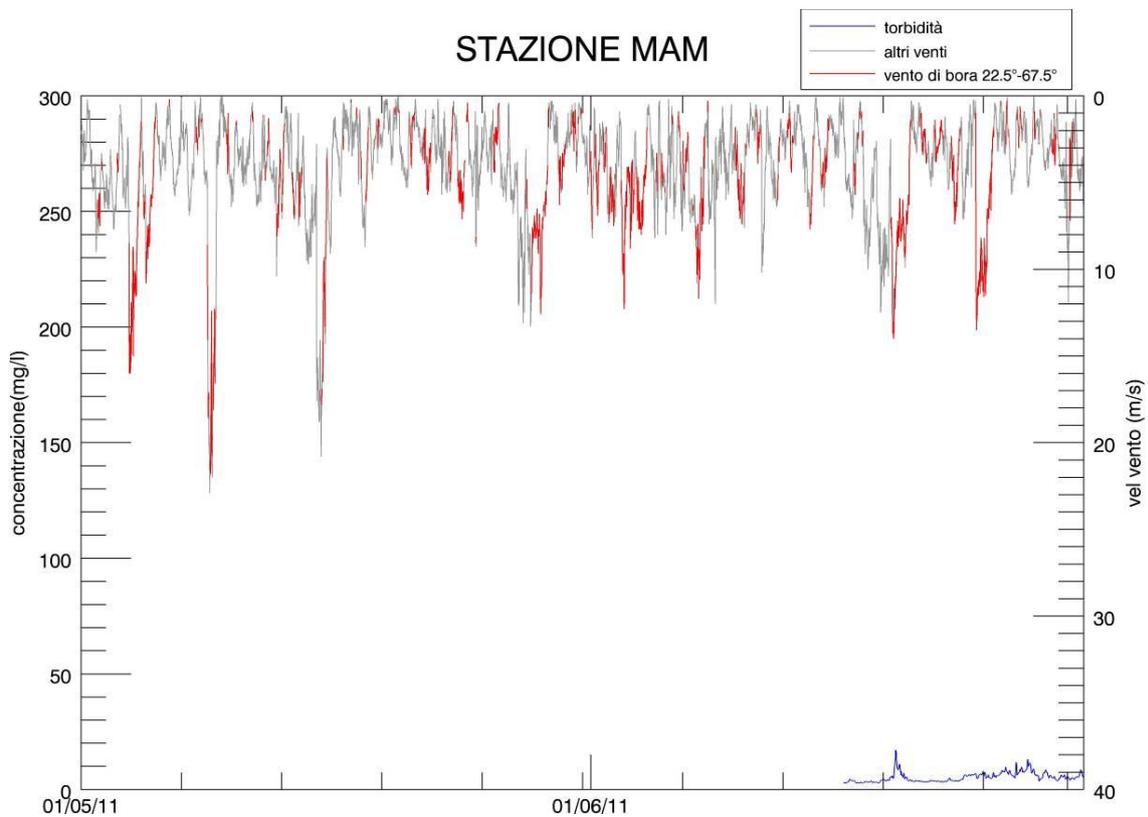


Figura 3.12. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LIM nel periodo Luglio–Agosto 2011.

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



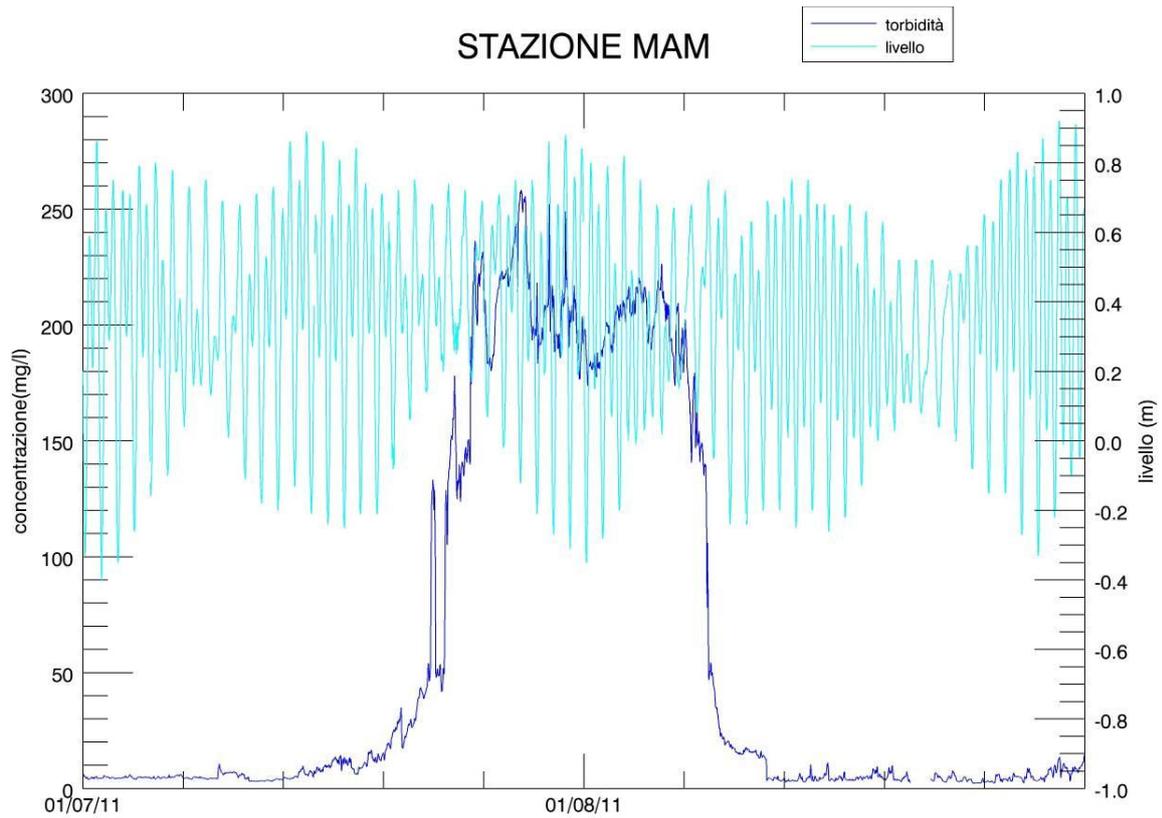
(a)



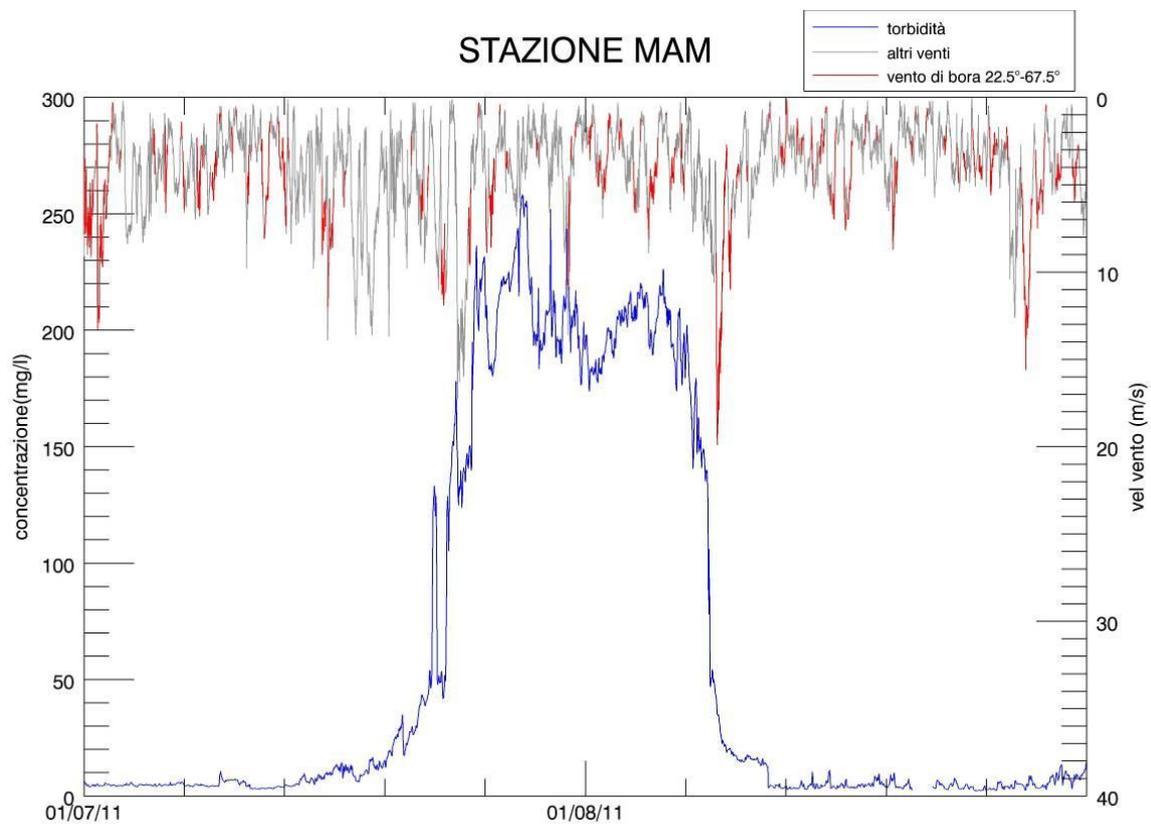
(b)

Figura 3.13. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAM nel periodo Maggio-Giugno2011.

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



(a)



(b)

Figura 3.14. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAM nel periodo Luglio-Agosto 2011.

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

Sulle serie temporali convertite in mg/l è stata svolta un'elaborazione statistica i cui risultati sono riportati nella Tabella 3.3.

Tabella 3.3. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali di concentrazione acquisite nelle stazioni di misura della torbidità. N_{tot} è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione. Le concentrazioni sono espresse in mg/l.

PARAMETRI	Stazioni in laguna			Stazioni in bocca di porto		Stazioni a mare	
	LTP	MAP	CHP	LMR	LMR-2	LIM	MAM
Ntot	1611	9402	11518	10544	1897	9839	7220
Media	12.3	6.0	6.8	5.8	12.9	16.6	48.9
Dev. Std.	5.4	2.2	4.0	2.8	5.1	21.1	78.5
Max.	38.2	27.0	74.6	36.4	41.2	107.2	258.2
Min.	3.5	2.9	2.3	2.5	6.6	1.6	2.2
25° percentile	7.9	4.5	4.9	3.9	9.3	5.1	4.2
50° percentile	8.5	5.5	6.1	5.0	12.2	7.8	6.1
75° percentile	11.6	6.8	7.5	6.9	14.7	14.3	30.2
95° percentile	14.4	10.3	11.6	10.9	22.5	74.1	213.8
Media interquartile	14.5	5.7	6.2	5.4	12.0	11.0	17.2

Vista la scarsa disponibilità di dati misurati in questo quadrimestre alle stazioni LTP e LMR-2, non si ritiene attendibile un confronto con le altre stazioni.

Per quanto riguarda invece le stazioni a mare LIM e MAM si sottolinea la presenza di un comportamento anomalo tra Luglio ed Agosto 2011. È evidente che entrambe le stazioni presentano dei valori molto elevati per tutti i parametri, pertanto non sono confrontabili con le altre stazioni (Vedi paragrafo 3.3).

Media, massimo e minimo, deviazione standard, media interquartile

Un primo confronto può essere fatto tra le due stazioni lagunari MAP e CHP. Si nota subito che i valori minimi (2.3 mg/l per CHP e 2.9 mg/L per MAP), che rappresentano le condizioni di acqua pulita, sono confrontabili; lo stesso vale per la media interquartile (media tra il 25° e il 75° percentile), che rappresenta il valore medio non influenzato dagli outlier cioè dagli eventi estremi (6.2 mg/l per CHP e 5.7 mg/L per MAP).

Il valore medio di CHP (6.8 mg/l) invece è maggiore del valore medio di MAP (6.0 mg/l) per il fatto che risente di valori estremi più elevati; infatti il valore massimo di CHP (74.6 mg/l) è nettamente superiore al valore massimo di MAP (27 mg/l). Questa differenza è spiegabile con il fatto che mancano i dati di MAP nei giorni 8, 9 e 15 Maggio 2011 in cui si sono verificati due eventi meteo intensi (Tabella 3.4).

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

Per quanto riguarda la deviazione standard (e anche il rapporto deviazione standard/media) si vede che nella stazione CHP (4.0 mg/l) è maggiore rispetto a MAP (2.2 mg/l) il che implica una maggior dispersione dei dati.

Per quanto riguarda la stazione LMR, essa presenta valore minimo (2.5 mg/l), media (5.8 mg/l), media interquartile (5.4 mg/l) e deviazione standard (2.8 mg/l) confrontabili con le stazioni lagunari (MAP, CHP). Il valore massimo (36.4 mg/l) si registra in concomitanza con l'evento meteo dei giorni 8-9 Maggio 2011.

Percentili

I valori del 25° percentile rappresentano convenzionalmente le condizioni di assenza di perturbazioni, cioè assenza di moto ondoso e velocità della corrente di marea inferiore a qualche cm/s. È interessante osservare come le stazioni presentano valori simili (4.9 mg/l a CHP, 4.5 mg/l a MAP, 3.9 mg/l a LMR).

Il 50° percentile coincide con il valore mediano e quindi rappresenta le condizioni più probabili. È evidente la similitudine tra i valori delle stazioni MAP con 5.5 mg/l e LMR con 5.0 mg/l mentre CHP con 6.1mg/l è leggermente superiore.

I valori del 75° percentile si possono considerare, invece, come indicatori dei valori di torbidità relativamente elevati dovuti ad un'eccessiva presenza di carico organico, come nei mesi estivi, o a eventi meteo marini di moderata intensità. Anche in questo caso i valori delle stazioni LMR e MAP sono confrontabili (6.8 mg/l per MAP e 6.9 mg/l per LMR) mentre CHP con 7.5 mg/l è ancora una volta superiore.

Infine, la distribuzione del 95° percentile è rappresentativa dei valori estremi legati al verificarsi di eventi meteomarinari intensi, che possono provocare un apprezzabile innalzamento della concentrazione del materiale solido sospeso in laguna, nonché un aumento del trasporto di sedimenti lungo costa con aumenti del carico rilevabili anche nei giorni successivi all'evento. Anche in questo caso CHP (6.2 mg/l) presenta valori superiori a MAP (10.3 mg/l) e LMR (10.9 mg/l).

3.3 Analisi degli eventi meteo e dei picchi di torbidità

Nella Tabella 3.4 si riportano, per il quadrimestre considerato, gli eventi meteo (orari, velocità del vento, direzione media del vento) durante i quali la velocità del vento, misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR, ha superato i 10 m/s ed il valore massimo della concentrazione di solidi sospesi in tutte le stazioni durante ciascun evento.

Nei precedenti Studi (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) si è stabilito il valore di soglia della concentrazione del materiale solido sospeso pari a 30 mg/l, confermato anche dalle recenti elaborazioni riportate nel Rapporto Finale, Studio B.6.72 B/6, Luglio 2011.

Nella Tabella 3.4 pertanto si evidenziano in rosso i valori di concentrazione che superano il valore soglia di 30 mg/l.

CORILA

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

Tabella 3.4 Eventi meteo significativi (velocità del vento superiori a 10 m/s) registrati nel periodo Maggio-Agosto 2011

Giorno	Orario	Velocità del vento (m/s)	Direzione media (°) e tipo di vento	Concentrazione massima (mg/l)						
				LTP	MAP	CHP	LMR	LMR-2	LIM	MAM
3-4 Maggio	22.15-9.00	8.7-16	55° bora		26.97	34.72	25.43	40.71	34.1	
	22.15-23.30	9.0-10.8	59° bora		9.42	6.21	7.24	13.06	26.8	
8-9 Maggio	16.45-5.15	10.1-22.9	67° bora			40.88	36.38	41.19	49.4	
15 Maggio	8.00-16.30	14.4-20.8	340°-17° tramontana			74.59	20.02	26.00	13.7	
	16.30-21.15	9.3-16.5	54° bora			21.18	21.28	26.38	12.7	
27 Maggio	14.15-15.45	9.6-12.1	180° mezzogiorno			4.49	3.64		9.1	
	20.45-23.15	9.0-13.1	195° mezzogiorno			7.61	8.62		12.1	
28 Maggio	8.15-10.00	10.3-13.3	7°-30° tramontana e bora			8.41	3.77		15.7	
	22.15-24.00	10.4-12.3	57°-68° bora			7.79	7.19		21.5	
2-3 Giugno	22.45-1.15	9.1-12.3	55° bora		11.36	12.64	8.23		5.9	
7 Giugno	13.15-15.15	8.8-11.7	65° bora		5.27		4.41		8.8	
8 Giugno	13.30-13.45	11.5-12.0	180° mezzogiorno		4.81	5.00	5.47		15.1	
18 giugno	15.15-17.45	9.8-12.5	145° scirocco		4.65	7.41			4.8	4.28
	20.00-20.30	10.0-11.0	199° mezzogiorno		4.57	6.55	3.43		4.1	4.37
19 giugno	8.30-13.45	10.2-14.0	42° bora		6.30	10.60	19.88		17.1	17.04
24-25 giugno	10.45-16.45	10.1-13.5	39° bora		5.85	8.86	7.50			6.69
	18.45-1.30	8.8-11.3	40° bora		15.35	11.17	5.77			7.95
30 giugno	1.00-1.45	10.8-12.0	313° maestrale		5.43	7.85	8.11		21.1	5.40
1 luglio	20.00-23.00	10.0-13.3	47° bora		6.75	12.85	5.09		10.5	5.20
16 luglio	1.15-2.45	9.5-13.9	15°-30° tramontana-bora		9.20	5.79			5.3	9.69
17 luglio	16.45-21.00	10.0-13.6	150° scirocco		10.70	11.78	14.28		10.2	8.50
18 luglio	13.15-21.55	8.9-13.6	190°-233° mezzogiorno-libeccio		6.44	9.54	12.00		24.6	16.56
19 luglio	19.30-20.45	9.8-13.7	264° ponente		4.65	7.43	4.55		16.4	19.22
22 luglio	21.15-21.45	10.0-11.0	162° mezzogiorno		5.12	6.57	4.02		42.0	50.13
23 luglio	2.00-6.15	8.7-11.9	43° bora		8.72	8.67	3.85		56.5	53.45
	8.30-10.15	9.9-11.2	9° tramontana		7.95	7.20	5.39		66.9	114.89
24 luglio	1.30-16.45	10.4-17.3	340°-13° tramontana		5.69	10.71	21.96		88.2	149.21

CORILA

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

Giorno	Orario	Velocità del vento (m/s)	Direzione media (°) e tipo di vento	Concentrazione massima (mg/l)						
				LTP	MAP	CHP	LMR	LMR-2	LIM	MAM
30 luglio	21.30-22.30	10.2-13.6	75° levante 229° libeccio 9° tramontana 31° bora		5.11	6.83	4.06		74.9	223.80
9 agosto	2.00-11.15	10.0-19.9	43° bora	27.07	12.55	18.33	15.57		7.7	41.53
	23.00-23.30	10.2-11	37° bora	22.04	10.58	7.41	13.84		5.4	20.13
27 agosto	11.30-13.45	10.1-12.6	158 ° mezzogiorno	11.02	7.07	9.85			7.2	6.67
28 agosto	3.00-11.15	9.9-15.6	42° bora	38.02	6.23	11.76	11.24		10.2	8.78

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

Dalla Tabella 3.4 si nota che l'evento meteo più lungo e intenso, avvenuto nei giorni 8-9 Maggio 2011, ha causato una notevole risospensione di sedimenti e il superamento del valore di soglia in tutte le stazioni della rete. L'evento dei giorni 3-4 Maggio, invece, ha causato il superamento della soglia (34.1-40.71 mg/l) solo per alcune stazioni, mantenendosi però le altre comunque attorno a 26 mg/l. L'intenso vento di tramontana del giorno 15 Maggio 2011 ha causato un evidente effetto solo nella stazione CHP.

Per quanto riguarda gli altri eventi di minore intensità, dall'analisi della tabella si vede che tutte le stazioni rispondono in maniera diversa, mettendo in evidenza così la variabilità spaziale della concentrazione.

Nel periodo 21 Luglio 2011 al 10 Agosto 2011 sono presenti numerosi eventi intensi che però hanno effetto solo sulle stazioni a mare LIM e MAM, come evidenziato oltre, nella Figura 3.15 e nella Figura 3.16.

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

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

Nella Tabella 3.5 si riporta per ogni stazione il numero totale di superamenti della soglia di 30 mg/l rilevati nel periodo Maggio-Agosto 2011 e si individuano quelli dovuti o meno al vento.

Tabella 3.5. Numero di superamenti della soglia di 30 mg/l nel periodo Maggio-Agosto 2011

STAZIONE	Stazioni in laguna			Stazioni in bocca di porto		Stazioni a mare	
	LTP	MAP	CHP	LMR	LMR-2	LIM	MAM
Numero condizioni eccezionali con C>30 mg/l	5	0	47	4	37	1307	1808
Numero di eventi CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento	5	0	47	4	37	47	0
Numero di eventi la cui causa non è legata alla risospensione da vento	5	0	0	0	0	1260	1808

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

Per quanto riguarda le stazioni all'interno della laguna (LTP, CHP) e nella bocca di porto di Lido (LMR, LMR-2), tutti i superamenti sono dovuti al vento e agli eventi meteo elencati di seguito e già descritti nella Tabella 3.4:

- LTP: superamenti durante l'evento meteo del 28 Agosto 2011. Inoltre il 28 Agosto 2011 dalle 11.30 alle 11.45, anche se la velocità del vento è inferiore a 10 m/s, la concentrazione assume valori compresi tra 32.12 e 33.38 risentendo ancora del vento delle ore precedenti.
- CHP: superamenti durante gli eventi meteo del 9-15-16 Maggio 2011.
- LMR: superamenti durante l'evento meteo del 8-9 Maggio 2011.
- LMR-2: superamenti durante gli eventi meteo del 4-8-15 Maggio 2011. Inoltre dalle ore 23.45 del 15 Maggio 2011 alle ore 3.45 del 16 Maggio 2011 la concentrazione assume valori compresi tra 30.63 mg/l e 34.9 mg/l; in questo intervallo non è presente vento superiore a 10 m/s ma probabilmente è presente una concentrazione di materiale legata ai fenomeni delle ore precedenti.

Per la stazione a mare LIM si hanno dei superamenti certamente dovuti al vento durante gli eventi meteo 4-5-8-9 Maggio 2011 già descritti nella Tabella 3.4.

Sia per la stazione LIM che per l'altra stazione a mare MAM si evidenzia un comportamento anomalo dal 21 Luglio 2011 al 10 Agosto 2011, durante il quale si registrano numerosi superamenti del valore soglia (Figura 3.15 e 3.16).

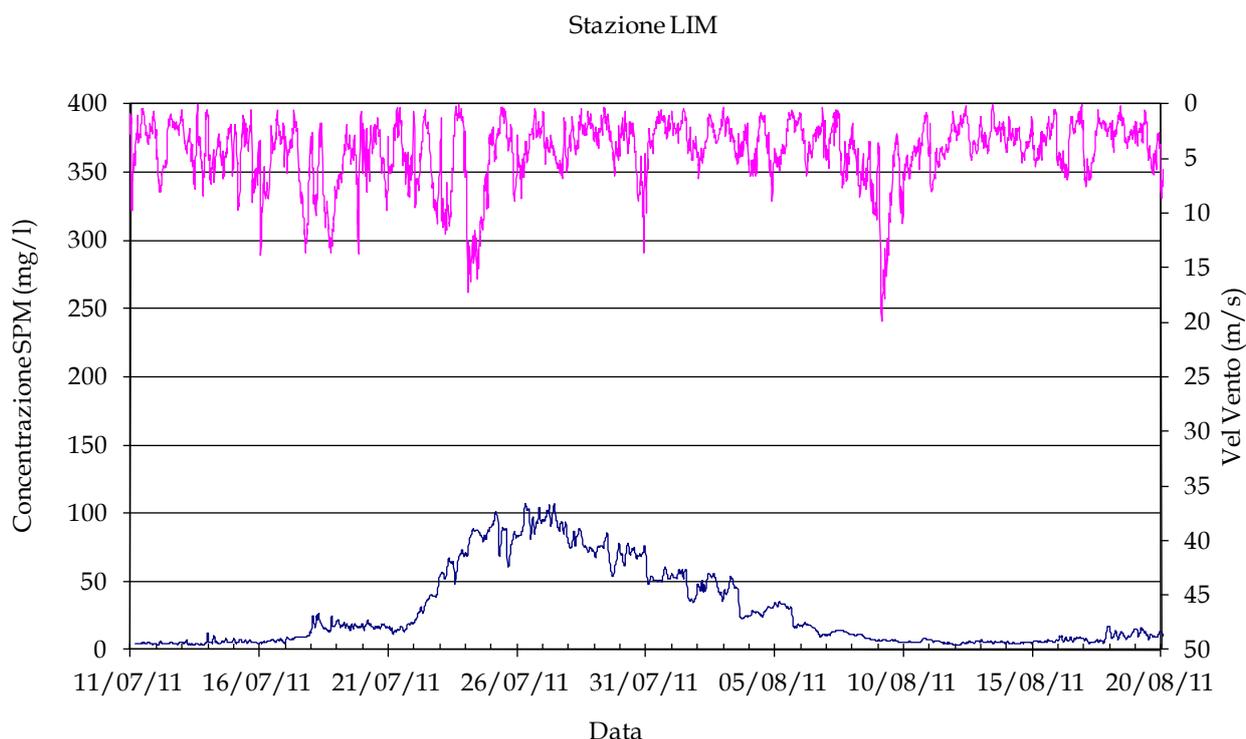


Figura 3.15. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione LIM nel periodo 11 Luglio–21 Agosto 2011.

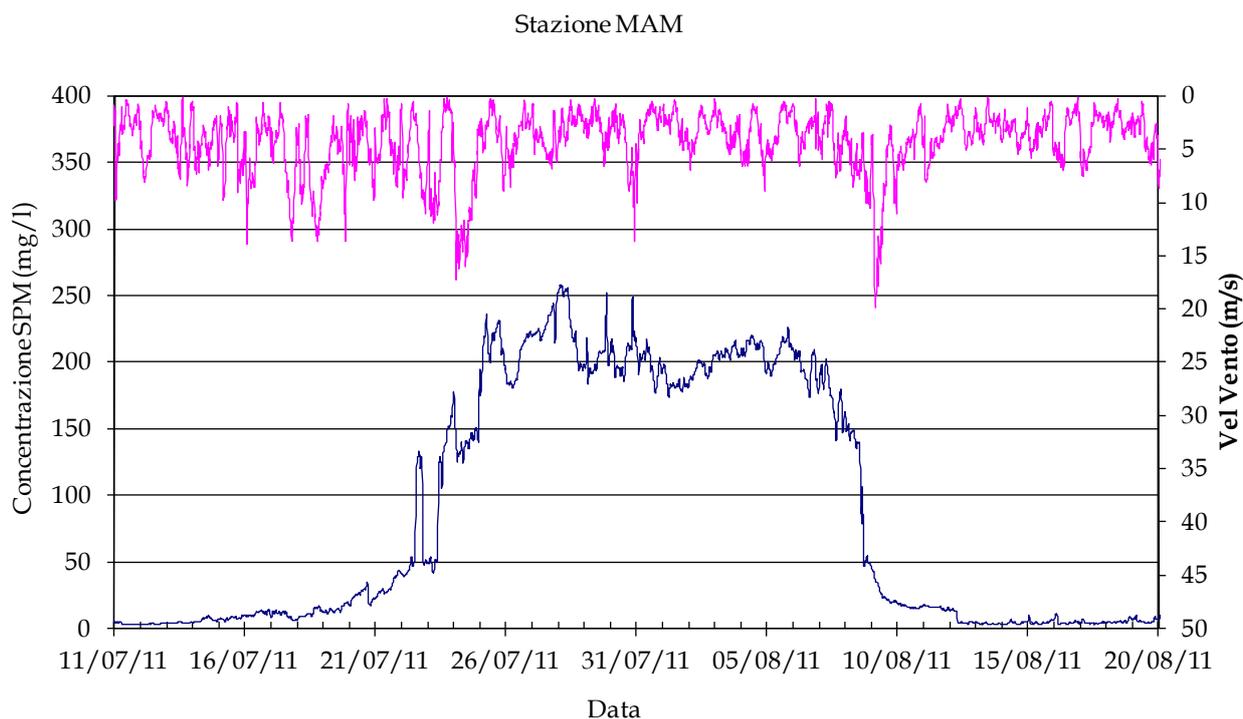


Figura 3.16. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione MAM nel periodo 11 Luglio–21 Agosto 2011.

È interessante vedere come l'andamento della concentrazione sia simile in entrambe le stazioni anche se assume valori notevolmente maggiori nella stazione MAM. Su questo singolare fenomeno sono state fatte diverse ipotesi, ma nessuna, allo stato dei fatti e delle informazioni acquisite, sembra fornire una spiegazione soddisfacente. Non si esclude peraltro che qualche nuova circostanza emergente possa suggerire ipotesi più plausibili.

3.4 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.

Per quanto riguarda il periodo di tempo analizzato in questo Rapporto, come descritto nel paragrafo 3.3, non è stato riscontrato nessun superamento della soglia di torbidità dovuto alle attività di scavo.

Per il periodo corrispondente all'intervallo Maggio-Agosto 2011 sono state rese disponibili dalla Direzione Lavori alcune informazioni relative alle attività di dragaggio, che vengono riportate nella Tabella 3.6, quali periodo dell'attività, effettivi giorni di scavo e i volumi scavati.

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

Tabella 3.6. Localizzazione attività di dragaggio, denominazione dell'opera, inizio e fine del periodo di lavoro, giornate effettive di scavo e metri cubi, secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

	OP	PERIODO	GIORNI SCAVO	m ³
BOCCA DI LIDO	OP/424-4	dal 9/06/11 al 23/08/11	41	36049
BOCCA DI MALAMOCCO	OP/415-3B	dal 2/05/11 al 18/05/11	11	9570
	OP/391-3B	dal 4/07/11 al 11/07/11	2	3100
BOCCA DI CHIOGGIA	OP/425-2A	dal 30/08/11 al 31/08/11	2	2400

3.5 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).

4. 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", Definizione dei valori soglia della torbidità all'interno delle bocche di porto, Venezia, Settembre 2005. 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 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", Linee guida misure speditive, Venezia, Dicembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Dicembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/2 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2007. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/3 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2008. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/4 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2009. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/5 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2010. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA

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

- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/6 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2011. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.78/I - Attività di monitoraggio alle bocche di porto: controllo delle comunità biologiche lagunari e marine", Discipinare Tecnico CVN/Technital, Venezia, Giugno 2003
- Magistrato Alle Acque, 2006. Nuovi Interventi per la salvaguardia di Venezia (Convenzione rep. 7191 del 04/10/1991, a.a. rep. 8100 del 19/12/2005, Legge 29.11.1984 n. 798). Studio B.6.72 B/2, Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari, 2^a 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.
- IRSA, APAT, 1996-1999. Metodi Analitici per le Acque
- Middleton, G. V. 1976. Hydraulic interpretation of sand size distribution, *Journal of Geology*, 84, 405-426.
- Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2000. In situ particle size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume, *Marine Geology*, 170, 443-459.
- Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2001. The use of a LISST-100 laser particle sizer for in-situ estimates of floc size, density and settling velocity, *Geo-Marine Letters*, 20, 187-195.
- Sequoia Scientific Inc., 2004. LISST-100X Particle Size Analyzer, User's Manual, Version 4.60, p. 76.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios, *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 151-158.
- Simionato F. "Sistema di posizionamento della strumentazione utilizzato nelle stazioni a mare della rete di stazioni fisse per il rilievo della torbidità in continuo", Nota Tecnica T.N. n. 204, CNR-ISMAR Venezia, Aprile 2006
- Traykovski, P., Latter, R.J. and Irish, J.D. 1999. A laboratory evaluation of the laser in situ scattering and transmissometry instrument using natural sediments, *Marine Geology*, 159, 355-367.
- Visher, G. S. 1969. Grain size distributions and depositional processes, *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 1074-1106.
- Voulgaris, G. and Meyers, S. 2004. Temporal variability of hydrodynamics, sediment concentration and sediment settling velocity in a tidal creek, *Continental Shelf Research*, 24, 1659-1683.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments, *Journal of Geology*, 30, 377-392.