



Consorzio per il coordinamento delle ricerche
inerenti al 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/10**

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

Contratto CVN-CORILA n. 11373 spo/sim

Documento **MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA
TORBIDITÀ IN CONTINUO
II RAPPORTO DI VALUTAZIONE
PERIODO DI RIFERIMENTO: DA SETTEMBRE A
DICEMBRE 2014**

Versione **1.0**

Emissione **15 Gennaio 2015**

Redazione

Verifica

Approvazione

Dott. Luca Zaggia
(ISMAR-CNR)

Prof. Giampaolo Di Silvio 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.....	11
2.3	Gestione della rete di stazioni fisse, attività in campo e di laboratorio	11
2.4	Metodologia per il trattamento dei dati registrati.....	13
2.4.1	<i>Correzione per l'accumulo temporaneo di materiale macroscopico.....</i>	<i>14</i>
2.4.2	<i>Correzione per il fouling</i>	<i>14</i>
2.4.3	<i>Calibrazione dei sensori di torbidità.....</i>	<i>17</i>
3.	ANALISI E TRATTAMENTO DEI DATI	18
3.1	Validazione dei dati e calibrazione	18
3.2	Serie temporali della concentrazione del particolato solido sospeso (SPM)	22
3.3	Analisi degli eventi meteo e dei picchi di torbidità	38
3.4	Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche.....	44
3.5	Struttura dell'archivio dei dati.....	45
	BIBLIOGRAFIA.....	46

Alla realizzazione del presente rapporto hanno contribuito:

C. Dall'Angelo (CORILA)

G. Di Silvio (DICEA - UNIPD)

G. Lorenzetti (ISMAR - CNR, Venezia)

F. Manfrin (ISMAR - CNR, Venezia)

L. Dametto (ISMAR-CNR, Venezia)

L. Zaggia (ISMAR - CNR, Venezia)

1. INTRODUZIONE

Il Disciplinare Tecnico dello *Studio B.6.72 B/10 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari*, come i precedenti, prevede specifiche attività per la misura della concentrazione e del flusso di particellato solido sospeso generato dalle attività di cantiere all'interno e all'esterno del canale di bocca. Tali attività hanno lo scopo di monitorare la torbidità 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 particellato 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 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 poiché fornisce un'indicazione della presenza del particellato 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 delle relative serie temporali permette di definire i valori di riferimento ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio e delle componenti biologiche. Misurare la 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 [MAV-CORILA, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014], 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 si riportano in forma grafica sia dati relativi alle acquisizioni nel periodo settembre-dicembre 2014 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 (temperatura, conducibilità e pressione).

All'inizio di questo anno di monitoraggio è stato ritenuto opportuno mantenere solo le sonde alla bocca di Malamocco e alla bocca di Chioggia, dato che le attività che comportano la movimentazione di materiali del fondo alla bocca di Lido sono ormai quasi terminate.

La Figura 2.1 mostra la localizzazione di tutte le stazioni di misura della torbidità nelle aree dei cantieri alle bocche di porto.

Per quanto riguarda la misura della direzione e velocità del vento, si fa riferimento alle registrazioni effettuate alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR. Per i livelli di marea si considerano i dati del mareografo più vicino alla stazione in questione (diga nord di Malamocco, diga sud di Chioggia) gestiti dall'ICPSM del Comune di Venezia. Le posizioni delle varie stazioni sono indicate in Figura 2.2.

La posizione del sensore è in tutti i casi alla quota di 1.5 metri dal fondo, eccetto per la stazione CHM3 in cui è a 1 m dal fondo.

Nella Tabella 2.1 sono riportate le caratteristiche delle stazioni, la profondità del battente d'acqua rispetto al livello medio del mare espressa in metri, le coordinate geografiche espresse nel sistema UTM WGS 84, le coordinate piane espresse nel sistema Gauss Boaga ed il periodo di utilizzo.

Per le stazioni a mare MAM e CHM3, caratterizzate da un elevato fondale (MAM 11 m e CHM3 14 m circa), è stata utilizzata una struttura già esistente impiegata come mareografo (Figura 2.3) ed è stato progettato un apposito sistema di posizionamento ed ancoraggio al fondo della strumentazione di misura tale da consentire un facile recupero della sonda per le operazioni di scarico dati, manutenzione, pulizia e riposizionamento alla quota di misura [Simionato, 2006]. Nella Figura 2.5 è mostrato uno schema tipico della struttura di posizionamento e ancoraggio che negli ultimi anni è stata modificata rispetto a quella utilizzata in precedenza. Lo zavorramento al fondo è stato fatto non più con un solo blocco di piastre di acciaio ma con due blocchi, distanziati circa 2 metri uno dall'altro e collegati mediante una barra di acciaio inox. In questo modo le carrucole sono più distanziate tra loro con il vantaggio di ridurre i rischi di attorcigliamento del cavo in acciaio per il recupero e il posizionamento.

Le stazioni MAP e CHP, posizionate all'interno della laguna, sono state allestite utilizzando le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 2.4).

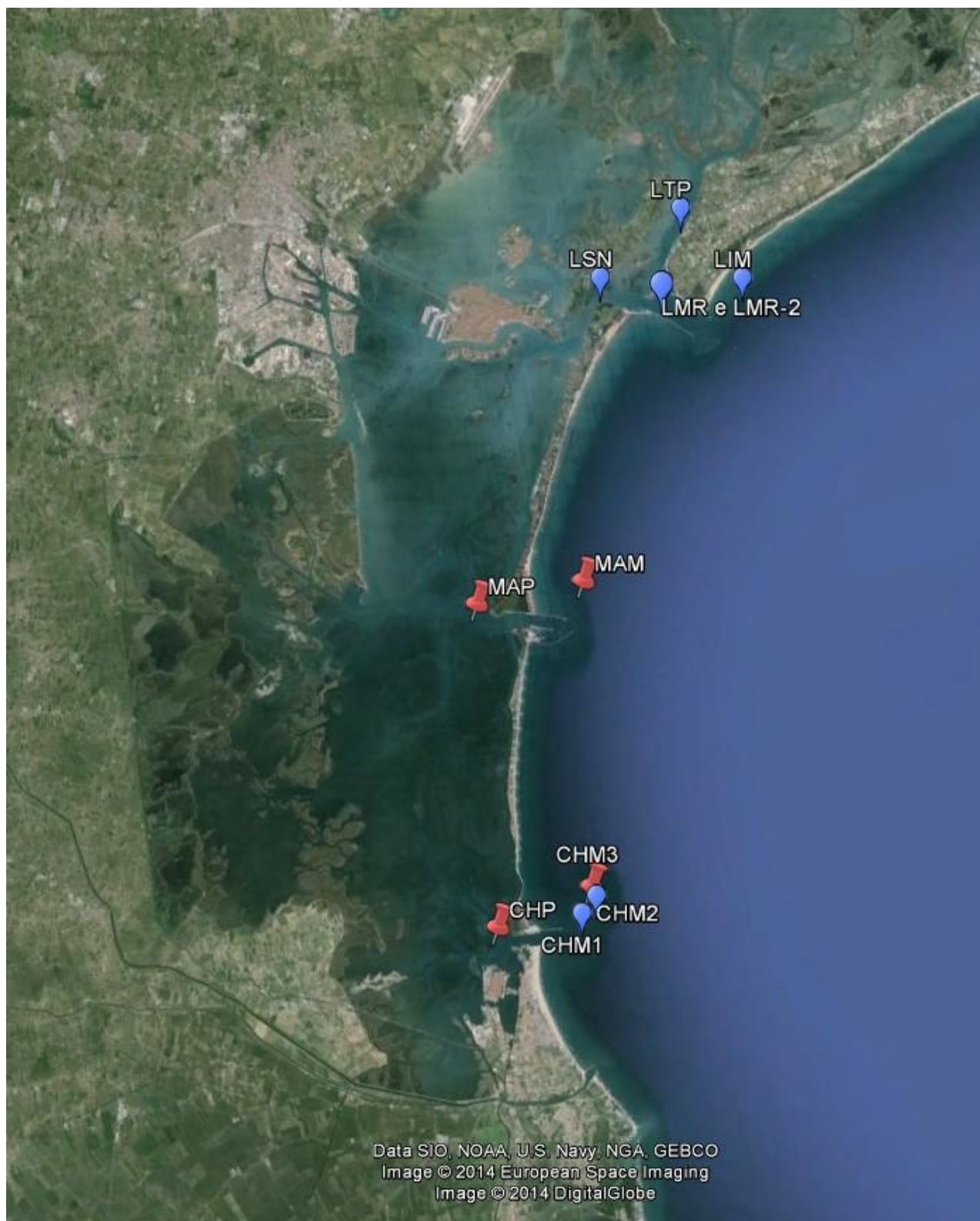


Figura 2.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel periodo settembre-dicembre 2014; in blu le stazioni attive negli anni precedenti.

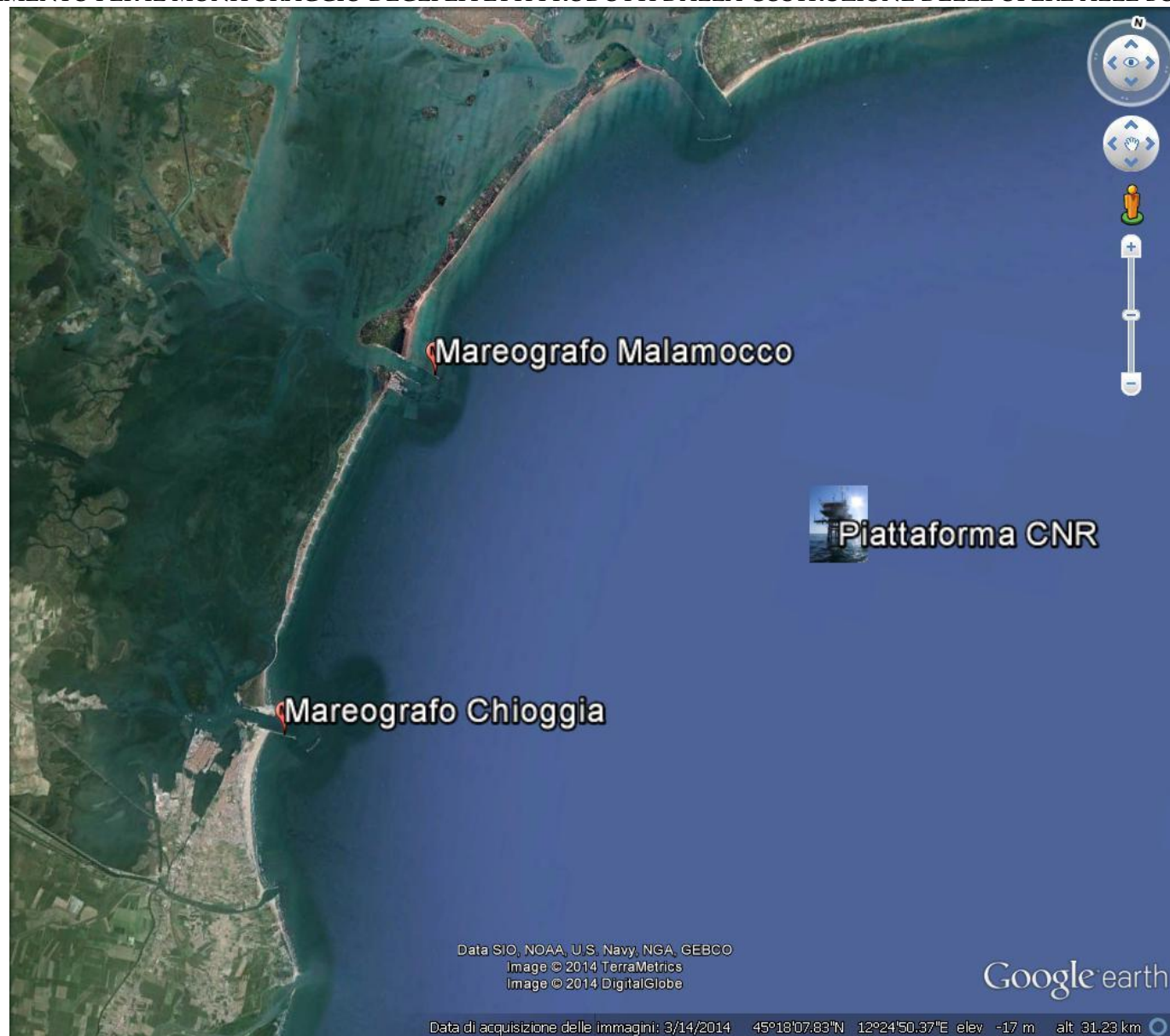


Figura 2.2. Mareografi e piattaforma del CNR.

CORILA

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE 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	289792 E 5012068 N	2312244.76 5013024.91	Studio B.6.72 B/1
CHM3	CHIOGGIA Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	13.5	290270 E 5013095N	2310273.49 5013115.12	Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9 Studio B.6.72 B/10
CHP	CHIOGGIA Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.1	286559 E 5012376 N	2306562.26 5012395.17	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 Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9 Studio B.6.72 B/10
LIM	LIDO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	9.0	300744 E 5033387 N	2320747.48 5033406.59	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 Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9
LMR	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	ISPRA	9.5	297740 E 5033614 N	2317743.42 5033633.59	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 Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9

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
LMR-2	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	ISPRA	9.5	297740 E 5033614 N	2317743.42 5033633.59	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4 Studio B.6.72 B/7 Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9
LSA	LIDO Canale S. Nicolò	Meda Bianco- Nera	Capitaneria Porto - Marifari	5	295870 E 5034915 N	2315873.38 5034934.61	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	2315627.38 5034561.60	Studio B.6.72 B/1
LTP	LIDO Canale Treporti	Postazione mareografica	MAV	2.0	299083 E 5036390 N	2319086.45 5036409.64	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 Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9
MAM	MALAMOCCO Mare	Postazione mareografica	CVN-MAV	11.0	292432 E 5024099 N	2312435.35 5024118.40	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 Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9 Studio B.6.72 B/10

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
MAP	MALAMOCCO Porto	Postazione mareografica	Comune VE CVN-MAV	2.7	288410 E 5024129 N	2308413.27 5024148.39	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 Studio B.6.72 B/8 Studio B.6.72 B/9 Studio B.6.72 B/10

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



Figura 2.3. Stazione MAM.



Figura 2.4. Stazione CHP.

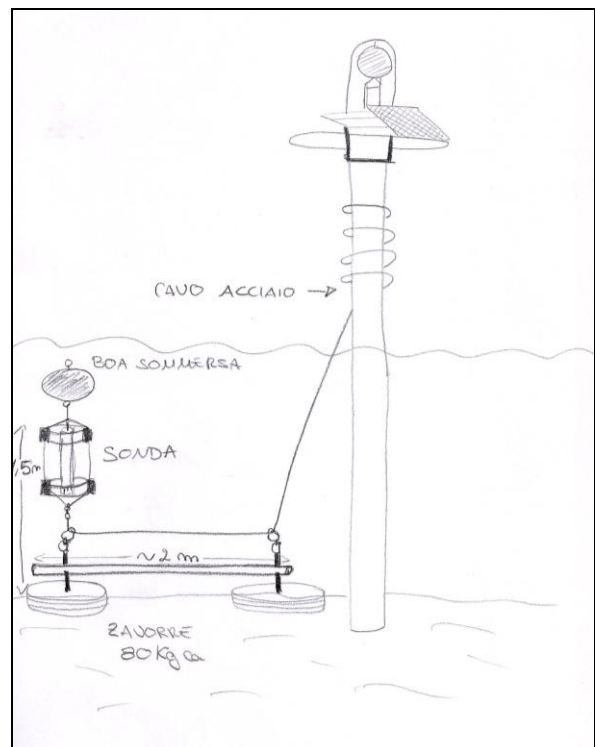


Figura 2.5. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare.

2.2 Strumentazione per la misura della torbidità

Per il rilievo della torbidità in continuo, le stazioni sono equipaggiate con una sonda multiparametrica autoregistrante Idronaut Mod. OceanSeven 304 CTD-T munita di 8 batterie interne da 9V ciascuna [Idronaut Srl., 2005].

Le sonde sono fornite di un sensore OBS (Optical Backscatter Sensor) del tipo Seapoint Turbidity Meter [Idronaut Srl., 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 di misura passati, si imposta per ciascuno strumento un appropriato intervallo di misura, come indicato nella Tabella 2.2 dove sono riassunte anche le caratteristiche tecniche di tutti i sensori (temperatura, conducibilità e pressione) montati nelle sonde OceanSeven 304.

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

Tabella 2.2 Caratteristiche dei sensori montati sulla sonda OceanSeven 304 CTD (OceanSeven 304 CTD-T Operator's Manual, 2005).

Sensore OceanSeven 304	Intervallo di misura	Accuratezza	Sensibilità
Pressione	0 - 1000 dbar	0.05 % f.s.	0.0015 %
Temperatura	-3 - +35 ° C	0.005 ° C	0.0006 ° C
Conducibilità	0 - 70 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 spontaneamente dall'apparecchiatura all'inversione della marea.

Spesso inoltre, tipicamente nelle stagioni più calde, si presenta il problema del fouling, cioè una crescita progressiva di alghe e organismi risolubile soltanto con un'accurata pulizia sia dei sensori che del corpo della sonda, che viene effettuata, a bordo di un'imbarcazione, con cadenza circa settimanale, contemporaneamente allo scarico dei dati.

Il prolungato stazionamento delle sonde in acqua determina l'attecchimento di organismi incrostanti di composizione calcarea sulla superficie dei sensori e negli spazi ristretti fra un sensore e l'altro; poiché la loro rimozione meccanica in campo è critica per la possibilità di danneggiamento della finestra ottica del torbidimetro, in aggiunta alla pulizie settimanali effettuate in campo, per ogni sonda viene effettuata in laboratorio, secondo le necessità, una procedura di pulizia chimica approfondita e una calibrazione aggiuntiva.



Figura 2.6. Sonda della stazione MAM prima (a sinistra) e dopo la pulizia (a destra)

Le attività in campo ed in laboratorio per la manutenzione e la 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.

Contestualmente alle operazioni di pulizia vengono prelevati 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 utilizzando la metodica IRSA (Quaderno 100/2050/94) [ANPA, 1999]. Tale metodica prevede, per la filtrazione, l'utilizzo di membrane in policarbonato (Millipore HTP04700) con porosità di 0.4 μm e diametro di 47 mm. Le membrane, attraverso le quali viene filtrato un determinato volume d'acqua (p.e. 200 ml), vengono pesate prima dell'uso e riposte in scatole Petri. Dopo la filtrazione, le membrane vengono essiccate a +105° C per 12 ore, quindi raffreddate in essiccatore a vuoto ed infine ripesate. La concentrazione del particolato solido in sospensione (Suspended Particulate Matter - SPM), che include sia la frazione organica che inorganica, si ottiene come differenza tra il peso finale e iniziale della membrana rapportata al volume d'acqua filtrato; consiste quindi 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). 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 2.4.3.

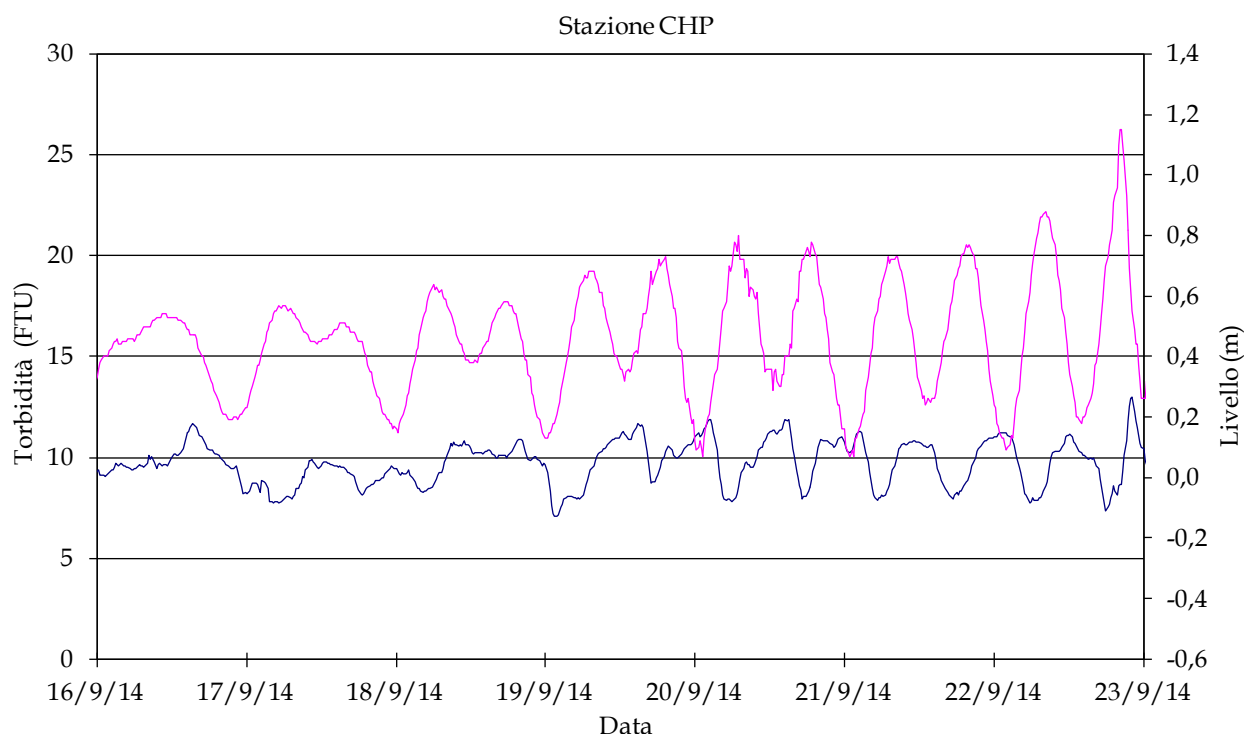


Figura 2.8. Esempio di andamento indisturbato della torbidità nella stazione CHP (linea blu) in relazione all'andamento della marea (linea rosa).

2.4.1 Correzione per l'accumulo temporaneo di materiale macroscopico

L'accumulo temporaneo di materiale macroscopico sulla superficie dei sensori e negli spazi ristretti fra un sensore e l'altro causa, però, la presenza di picchi istantanei della torbidità. Si applica quindi una procedura di filtrazione dei dati che consiste in un controllo sul valore istantaneo registrato, che viene automaticamente eliminato quando si discosta di una quantità superiore al doppio della media dei valori nel suo intorno. Per rendere più stabile l'andamento della variabile comunque soggetta a fluttuazioni naturali di breve periodo, si ritiene opportuno applicare un ulteriore filtro alla serie temporale risultante, cioè una media oraria, centrata sul dato istantaneo, applicata all'intera serie. Quando questo procedimento, nel caso di perturbazioni prolungate, non risulta efficace, si rende necessario un intervento manuale per l'eliminazione dei picchi residui.

2.4.2 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 di torbidità: i valori minimi pertanto non sono più lungo una linea di base orizzontale ma crescono seguendo comunemente un andamento approssimabile ad una relazione lineare o di secondo grado.

Nel caso in cui questa deriva, dovuta probabilmente a piccole incrostazioni che crescono lentamente sulla finestra ottica del sensore, non comporti un aumento significativo delle oscillazioni istantanee, è sufficiente correggere la serie temporale seguendo una semplice procedura che, pur tenendo conto dei valori di controllo costituiti dalla concentrazione nei

campioni d'acqua prelevati durante gli interventi di pulizia, presenta comunque un certo grado di soggettività. Si individua una polinomiale (generalmente di grado 1 o 2) interpolando i valori minimi che giacciono lungo la linea di base 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: è possibile applicare una seconda volta la procedura correttiva, ma a volte non è possibile ottenere un buon risultato pertanto è necessario procedere all'eliminazione dei dati corrispondenti.

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

Un esempio di deriva dovuta al fouling è rappresentato nella Figura 2.9 dove si riporta la serie temporale della torbidità relativa alla stazione CHP nel periodo 3 settembre – 10 settembre 2014 dopo la sola applicazione della procedura automatica di filtrazione e di media mobile. In questo caso è stata effettuata una correzione sottraendo una polinomiale di secondo grado che ha permesso di correggere la deriva. Il risultato dopo la correzione è visibile nella Figura 2.10. Per valori molto bassi della concentrazione è possibile che si riscontri una leggera differenza fra la concentrazione nel campione prelevato dopo la pulizia dei sensori e la lettura del torbidimetro, il cui valore in mg/l è il risultato dell'applicazione di una relazione di regressione.

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

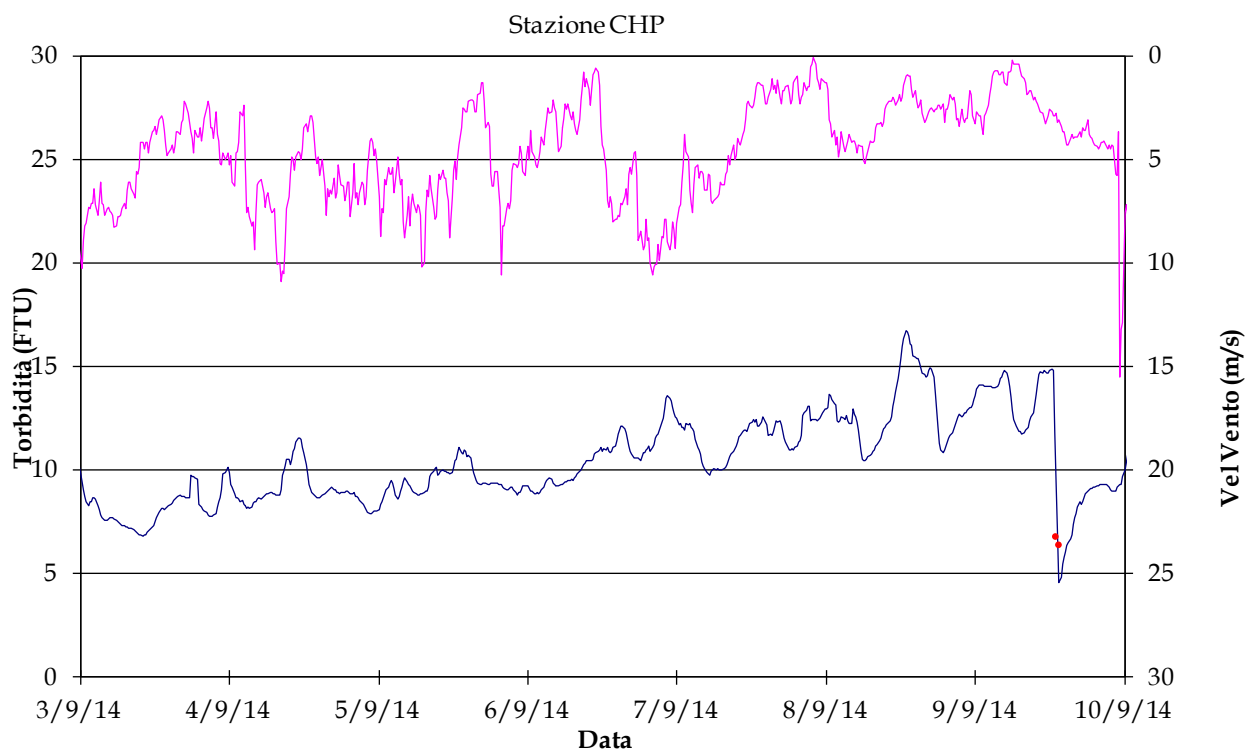


Figura 2.9. Esempio della presenza di deriva progressiva dei valori di torbidità dovuta al fouling nella stazione CHP. I pallini rossi rappresentano i valori di concentrazione misurati nei campioni d'acqua prelevati prima e dopo l'intervento di manutenzione.

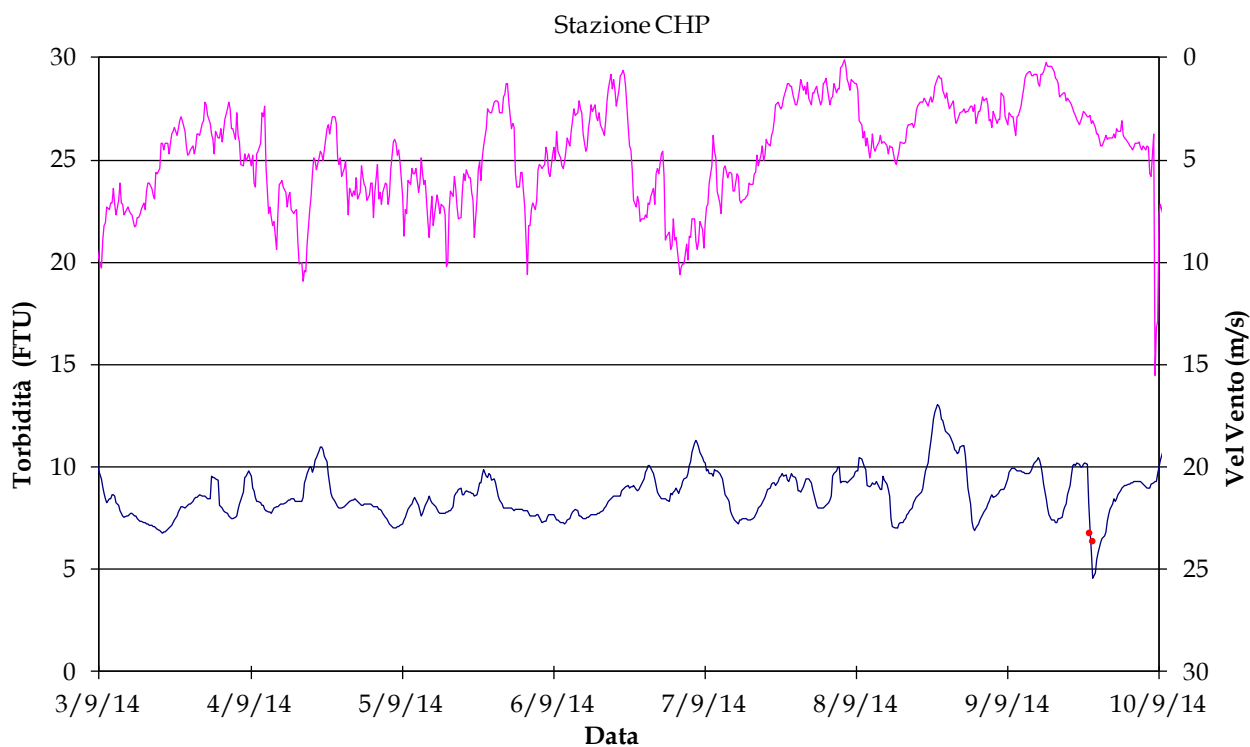


Figura 2.10. Risultato finale dopo l'applicazione della procedura correttiva. I pallini rossi rappresentano i valori di concentrazione misurati nei campioni d'acqua prelevati prima e dopo l'intervento di manutenzione.

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). I valori di torbidità, registrati come dati grezzi espressi in FTU, devono essere convertiti in valori di concentrazione del particolato solido sospeso espressa in 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 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. Tale relazione viene calcolata però successivamente alla procedura di filtrazione e alle correzioni effettuate per rimuovere l'effetto del fouling; per la calibrazione pertanto 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

Nel presente paragrafo si analizza il funzionamento degli strumenti delle quattro stazioni nel periodo settembre-dicembre 2014 e si riportano i risultati della procedura di 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 sono indicati i giorni in cui sono state effettuate le registrazioni dei dati di torbidità e dei parametri fisici dell'acqua senza problemi;
- in azzurro sono riportati i giorni in cui mancano i soli dati di torbidità per malfunzionamento di questo solo sensore;
- in grigio sono indicati 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.

Risultano le seguenti interruzioni nelle acquisizioni:

Stazione MAP:

La sonda è stata salpata il giorno 13 ottobre per permettere la riparazione del conduttivimetro ed è stata riposizionata il giorno 28 Ottobre 2014.

Stazione MAM:

La sonda è stata salpata il giorno 29 ottobre e riposizionata il giorno 14 novembre.

Stazione CHM3:

La sonda è stata salpata per portarla in riparazione per un problema di corrosione del sensore di temperatura in data 28 Ottobre. È stata riposizionata il giorno 14 Novembre una nuova sonda che era rientrata da un recente intervento di manutenzione presso la ditta costruttrice, ma che in seguito al reimpiego si è rivelata avere un ulteriore problema al torbidimetro. Per quanto il problema riguardasse solo i valori prossimi allo zero, si è ritenuto opportuno attendere un'ulteriore verifica sui dati prima di una validazione, pertanto non viene qui presentata la serie temporale relativa al periodo di impiego di questa sonda.

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

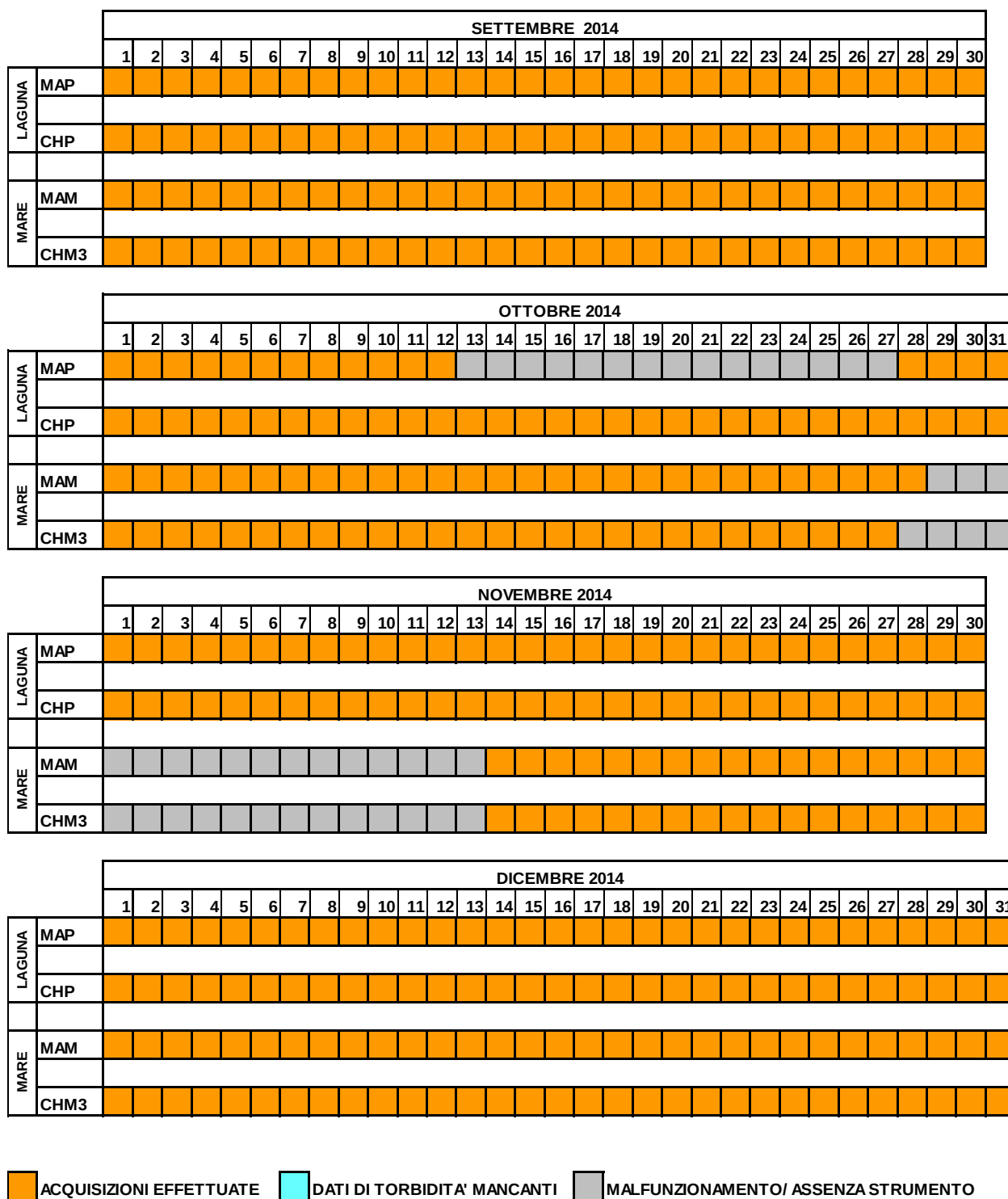


Figura 3.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle stazioni oggetto del monitoraggio nel periodo settembre-dicembre 2014.

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 dei dati validati

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

rispetto al numero di dati complessivo) in tutto il periodo del monitoraggio settembre-dicembre 2014.

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 settembre-dicembre 2014.

Tipologia	Stazione	Percentuale di funzionamento	Percentuale di dati validati
<i>Stazioni in laguna</i>	MAP	87.70%	84.8%
	CHP	100.00%	99.0%
<i>Stazioni a mare</i>	MAM	86.89%	59.1%
	CHM3	86.07%	13.6%

Come descritto nel paragrafo 2.4.3, correlando per ogni stazione i dati di torbidità corretti (FTU) e i corrispondenti valori di concentrazione di SPM (mg/l) relativi ai 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

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>	MAP	$y = 0.9194x - 1.1941$ $R^2 = 0.7858$
	CHP	$Y = 0.9417x - 0.71$ $R^2 = 0.8606$
<i>Stazioni a mare</i>	MAM	$y = 0.9279x - 0.7145$ $R^2 = 0.8241$
	CHM3	$y = 0.9102x - 1.634$ $R^2 = 0.8418$

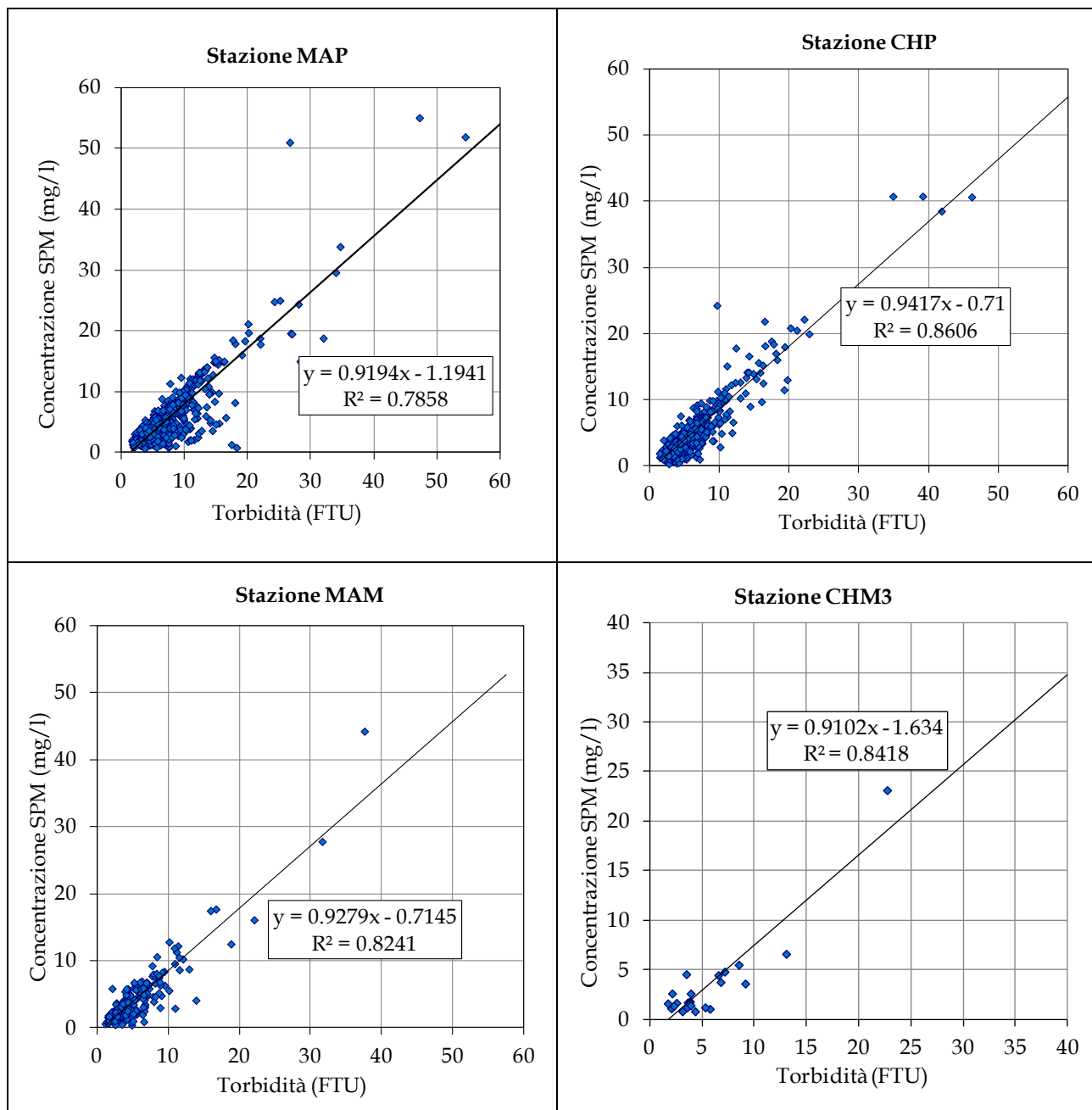


Figura 3.2. Diagrammi di regressione fra la torbidità registrata dalle sonde ed i corrispondenti valori di concentrazione di SPM nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione. Le rette di regressione sono state calcolate includendo tutti i valori disponibili fino a dicembre 2014, ad eccezione delle stazione CHM3 per la quale si hanno i dati fino al 28 ottobre 2014.

Ciascuna di queste relazioni è stata ricavata utilizzando tutti i dati disponibili rilevati durante i vari anni di monitoraggio ed è stata poi utilizzata per derivare la serie temporale della concentrazione di SPM a partire dalla serie della torbidità opportunamente corretta (paragrafi 2.4.1 e 2.4.2) relativa alla corrispondente stazione.

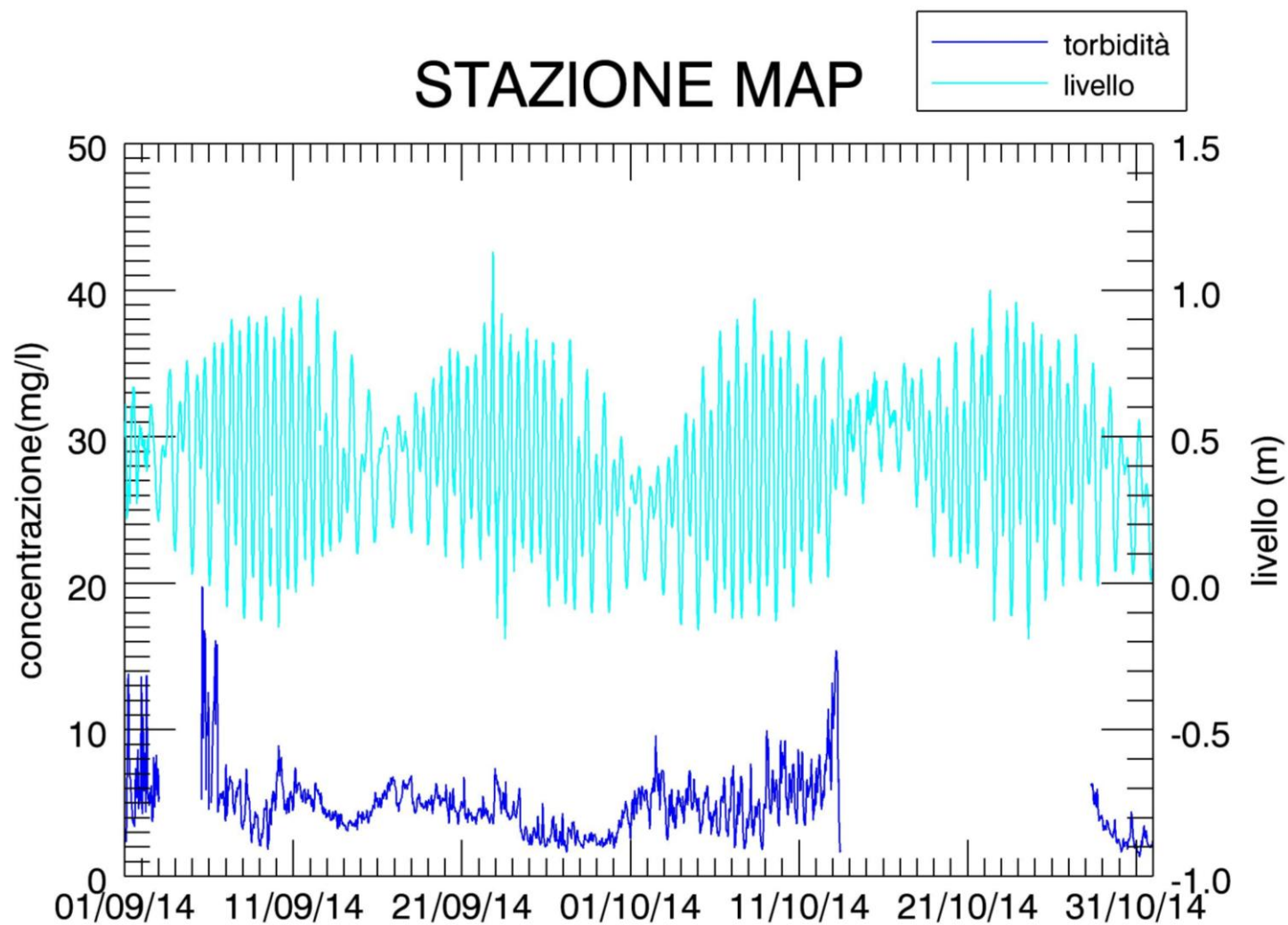
Si osserva come le pendenze delle rette di regressione (Tabella 3.2) per tutte le stazioni siano piuttosto vicine o pari all'unità, il che significa una quasi corrispondenza tra valori di concentrazione del materiale sospeso e torbidità. Il valore di R^2 tendente all'unità, invece, indica la bassa dispersione dei dati: si osserva che il valore di R^2 per tutte le stazioni è compreso fra 0.79 e 0.86. 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); tali interventi sono stati effettuati per ognuna delle sonde che presentavano evidenti anomalie e vengono comunque ripetuti ogni qual volta le sonde rientrano presso il laboratorio per eventuali riparazioni o interventi di manutenzione profonda.

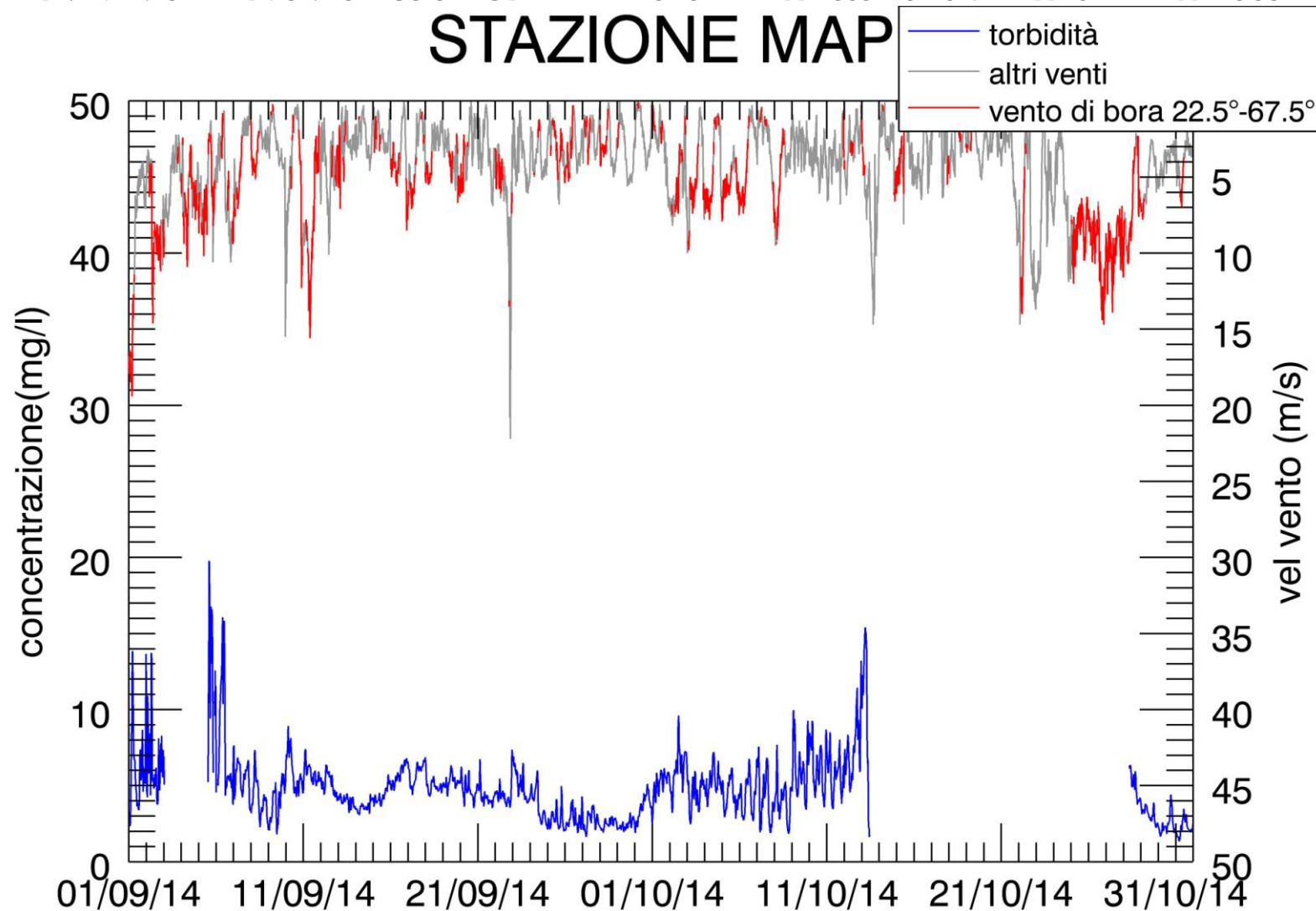
3.2 Serie temporali della concentrazione del particolato solido sospeso (SPM)

Le serie temporali del periodo settembre-dicembre 2014 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) a Figura 3.9 (a) vengono rappresentati i valori di SPM (linea blu) e la curva di marea (linea azzurra) del mareografo più vicino alla stazione in questione (Diga Nord di Malamocco, Diga Sud di Chioggia gestito dall' Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia), mentre nella seconda (da Figura 3.3 (b) a Figura 3.9 (b))) l'SPM è rappresentato insieme all'andamento orario della velocità del vento (evidenziando con il colore rosso il vento di bora), misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR.

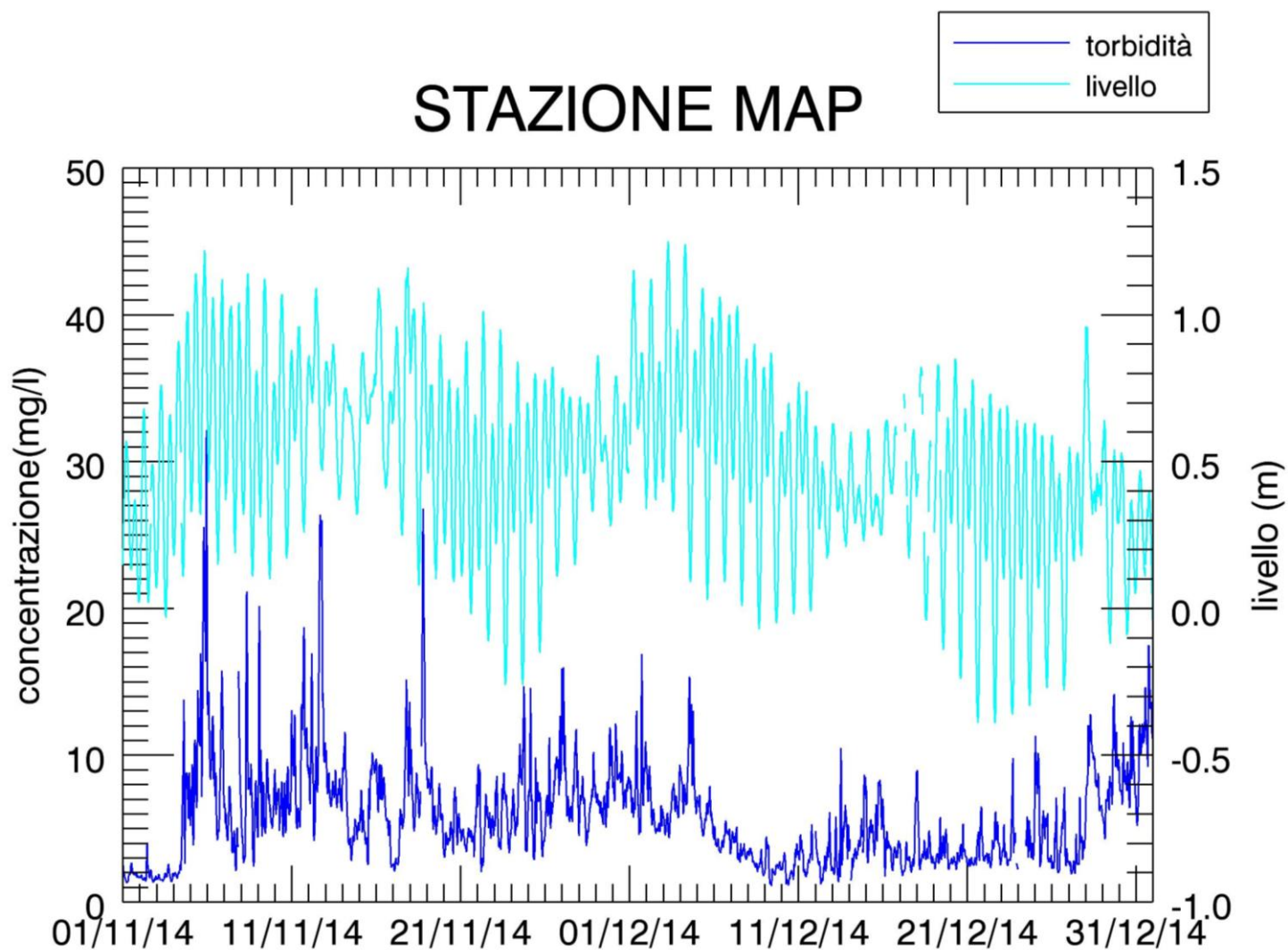


(a)

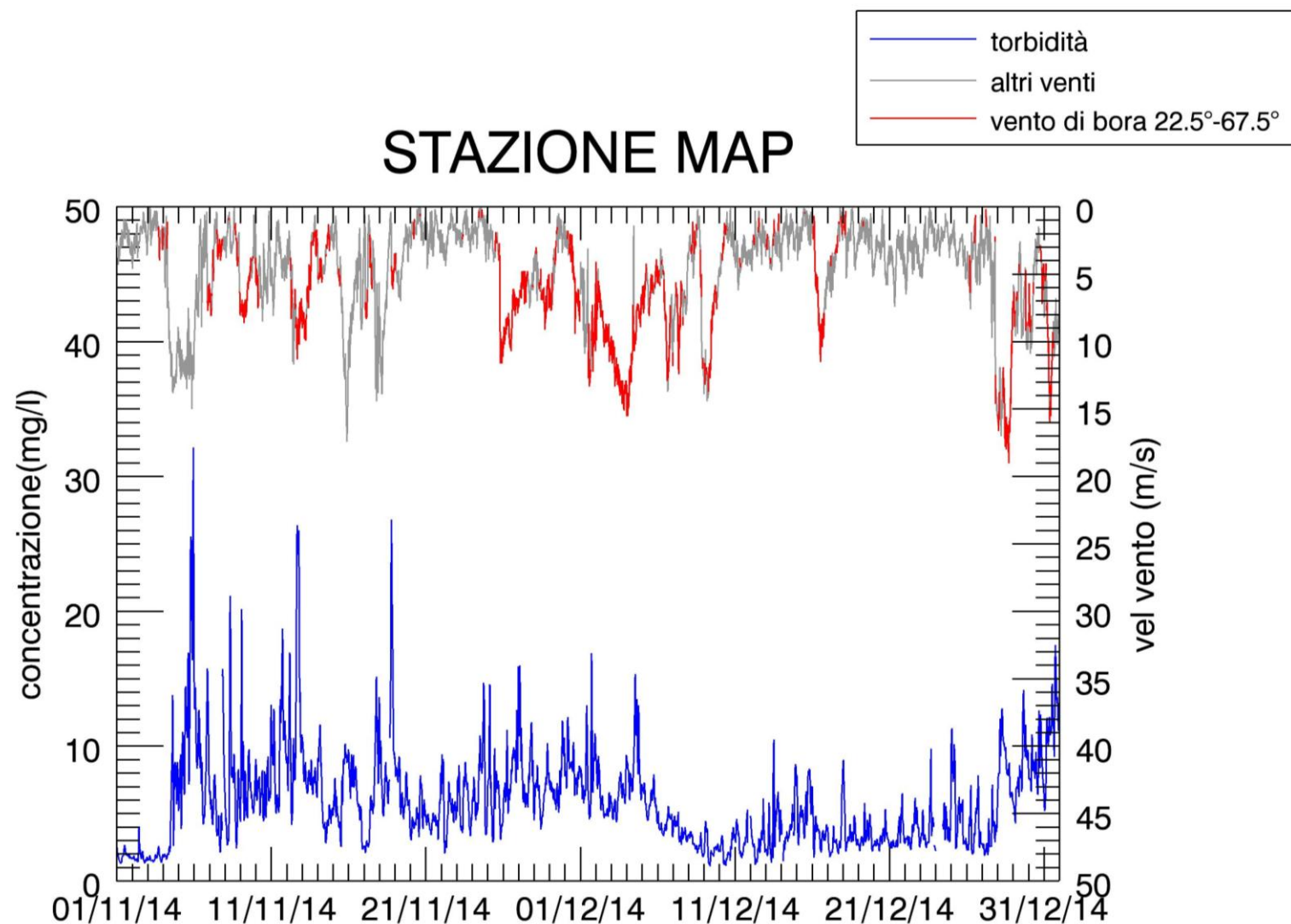


(b)

Figura 3.3. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAP nel periodo settembre-ottobre 2014.

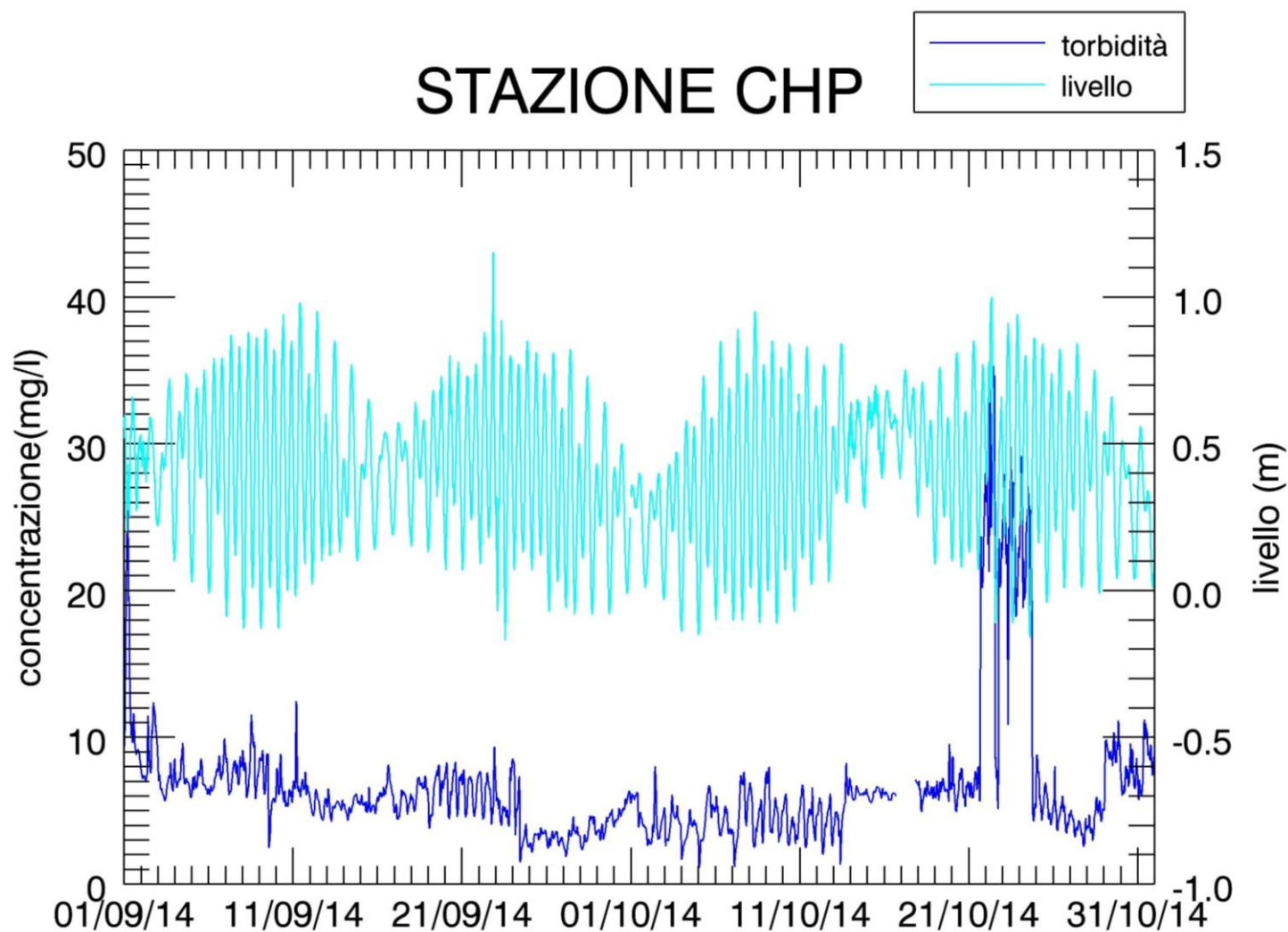


(a)

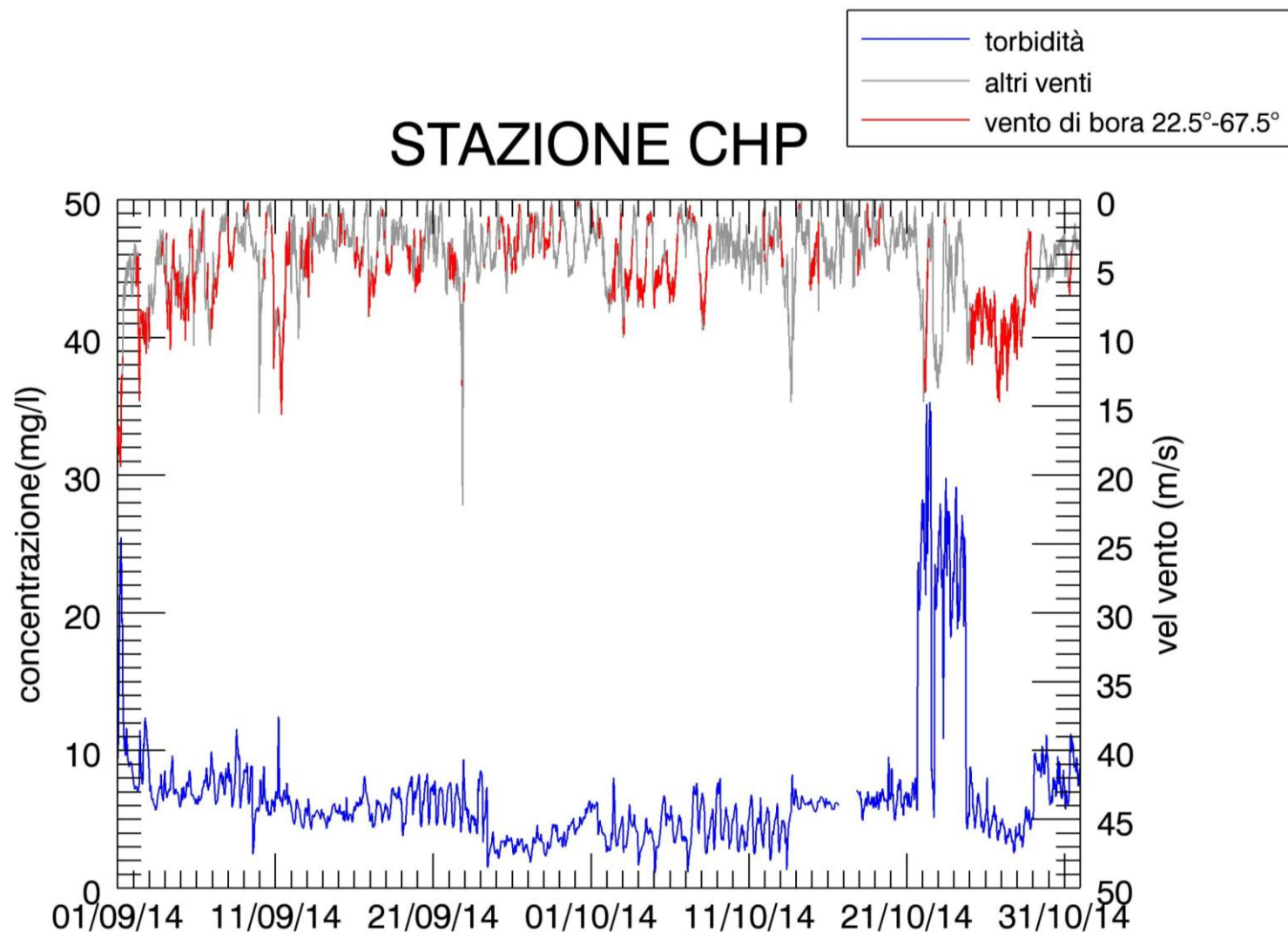


(b)

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 novembre-dicembre 2014.

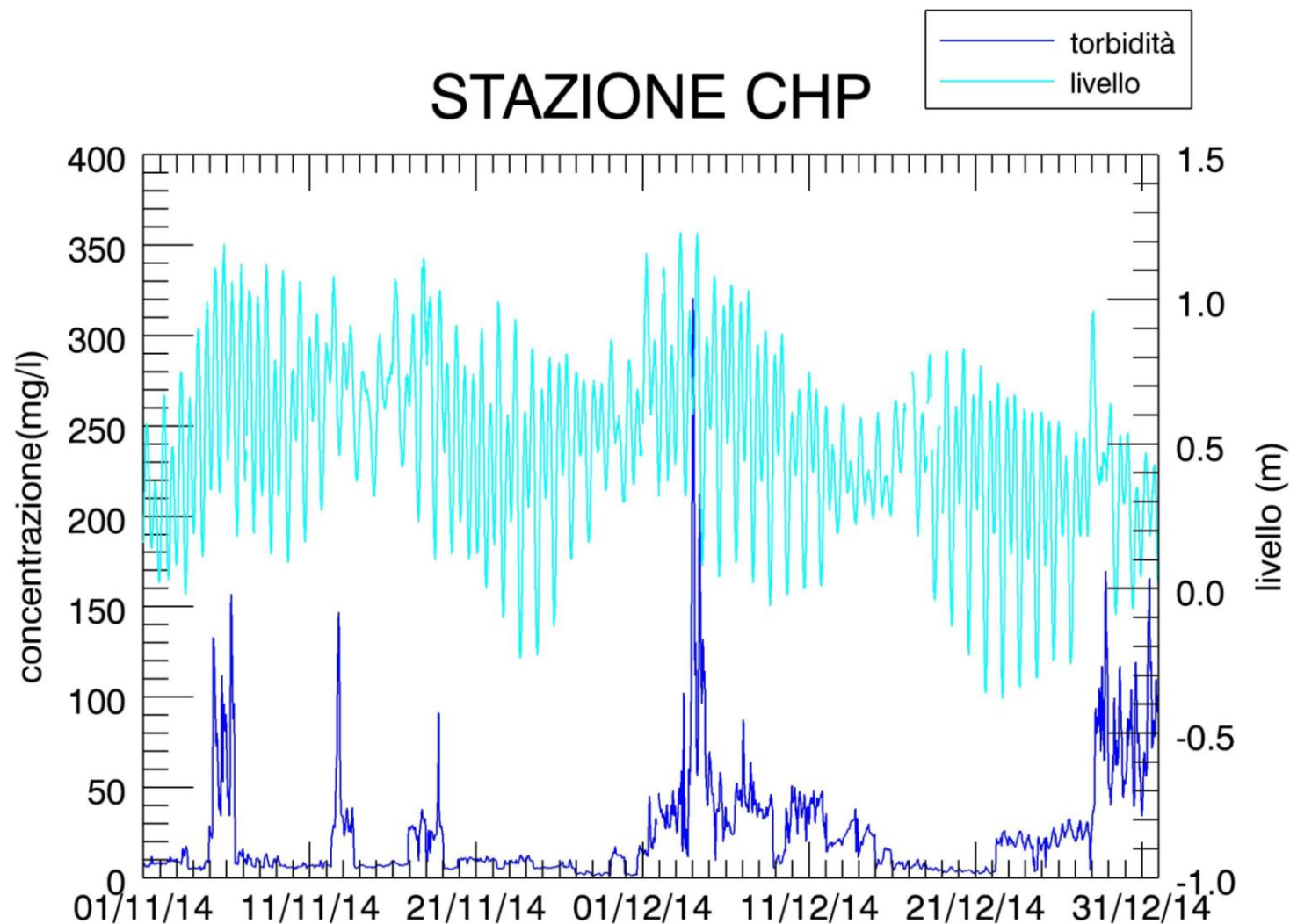


(a)

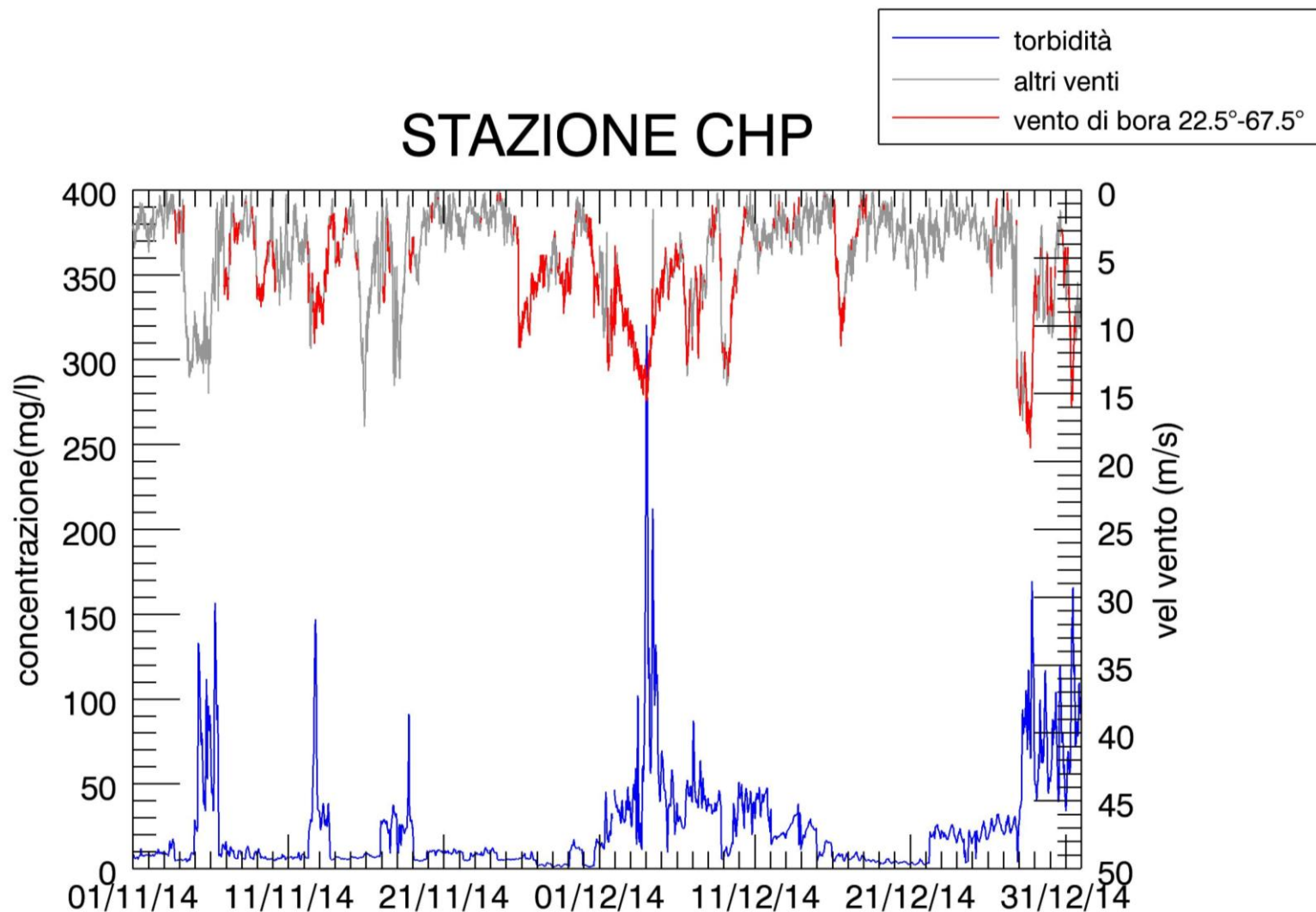


(b)

Figura 3.5. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHP nel periodo settembre-ottobre 2014.

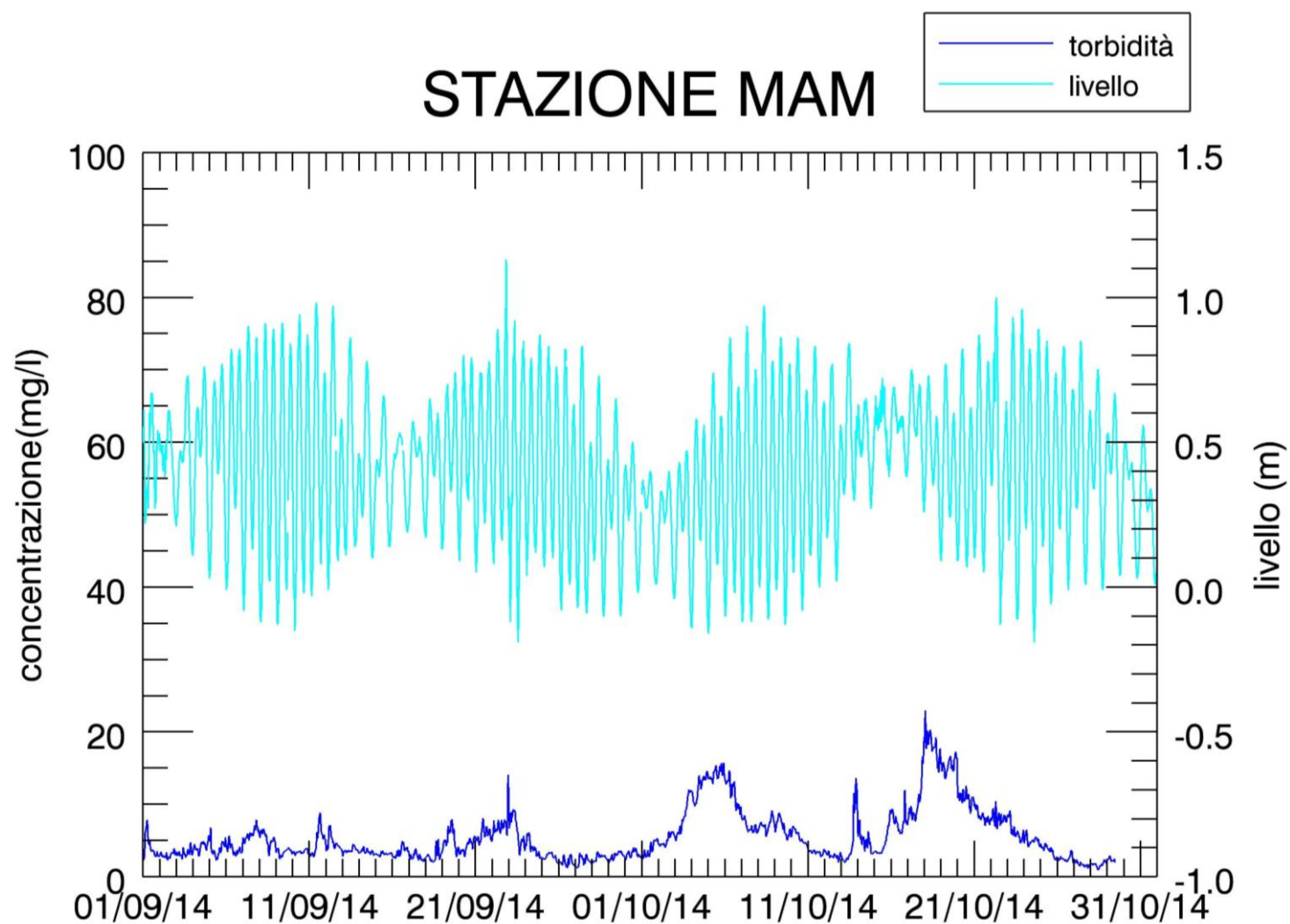


(a)

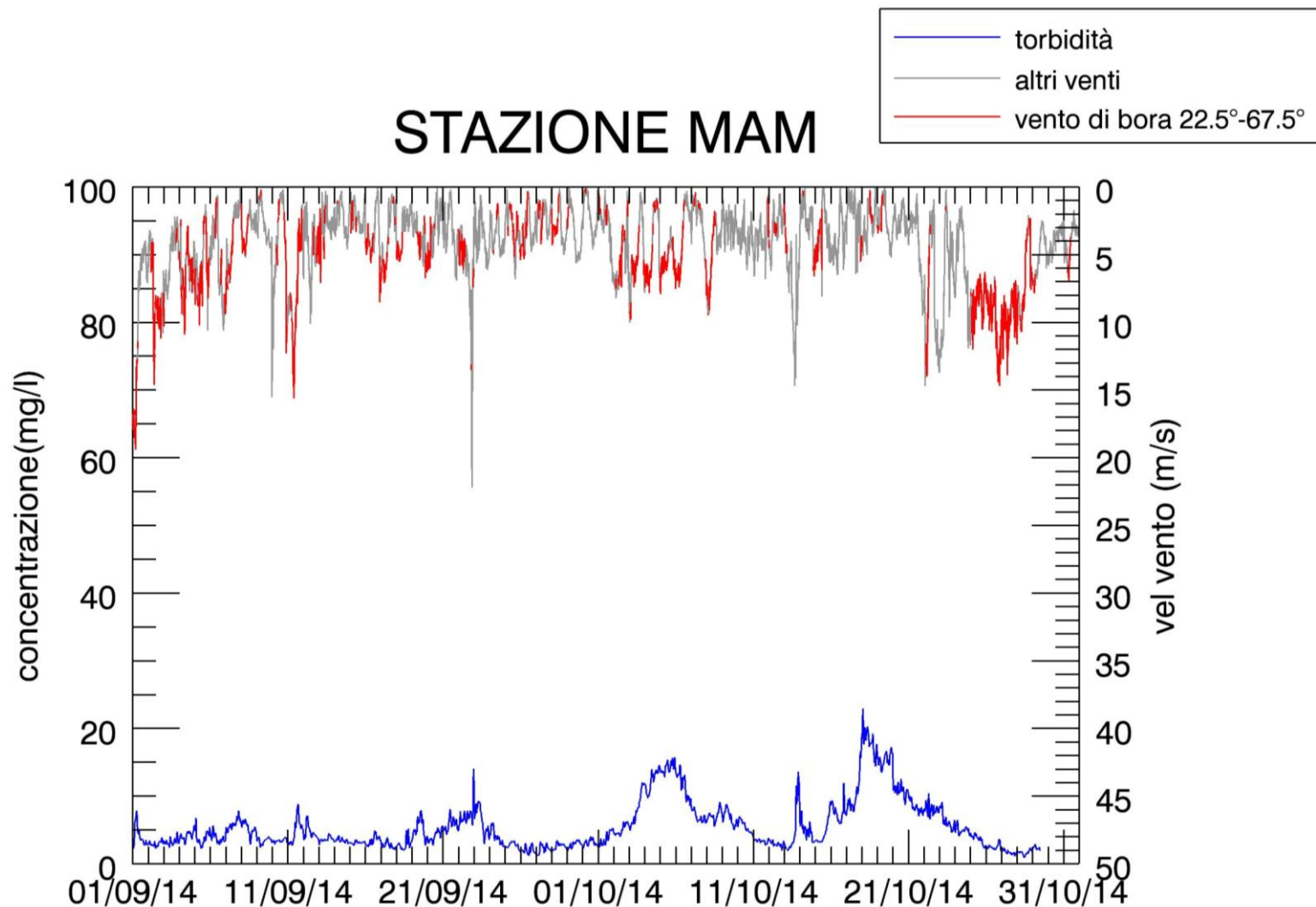


(b)

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 novembre-dicembre 2014.

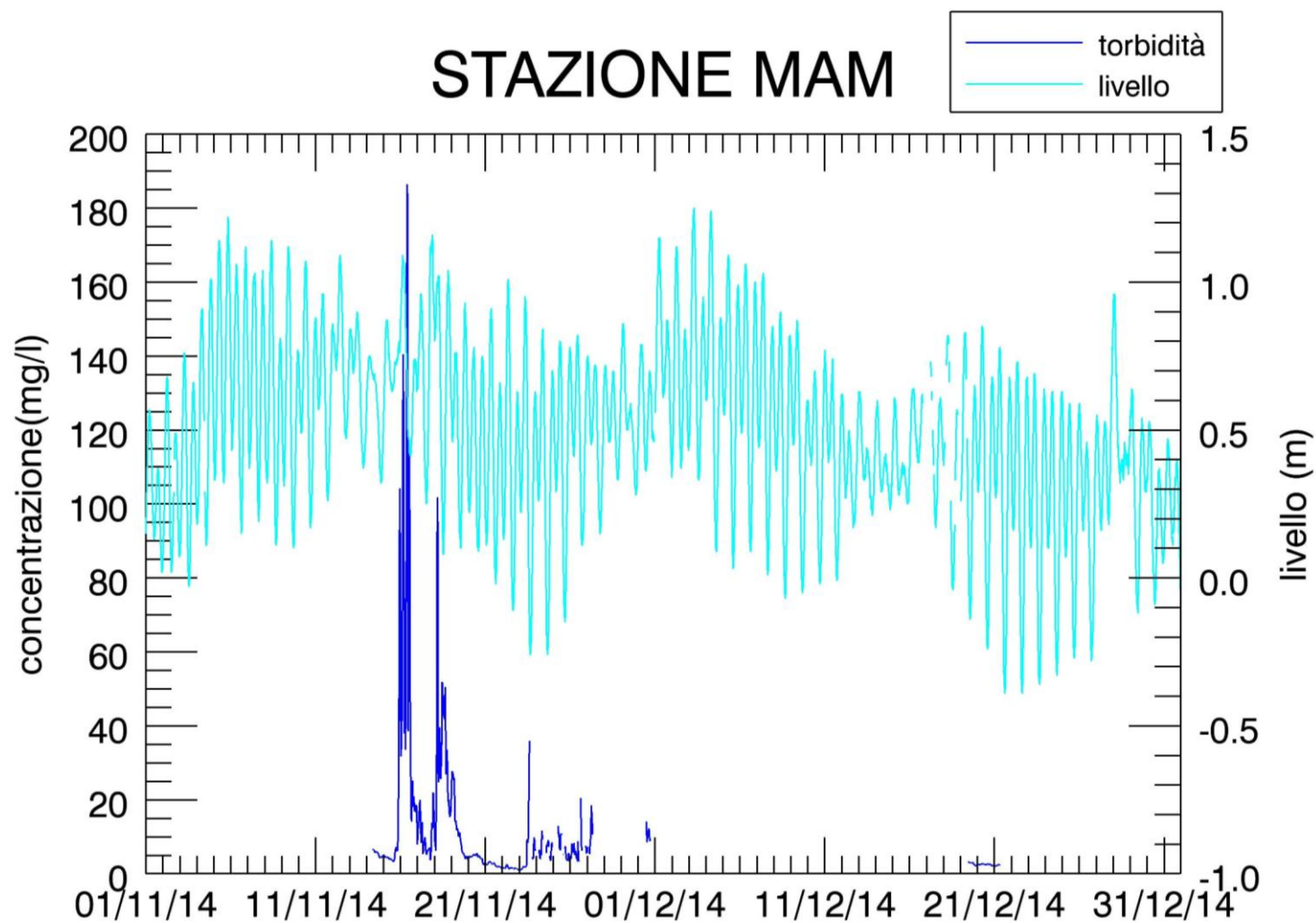


(a)

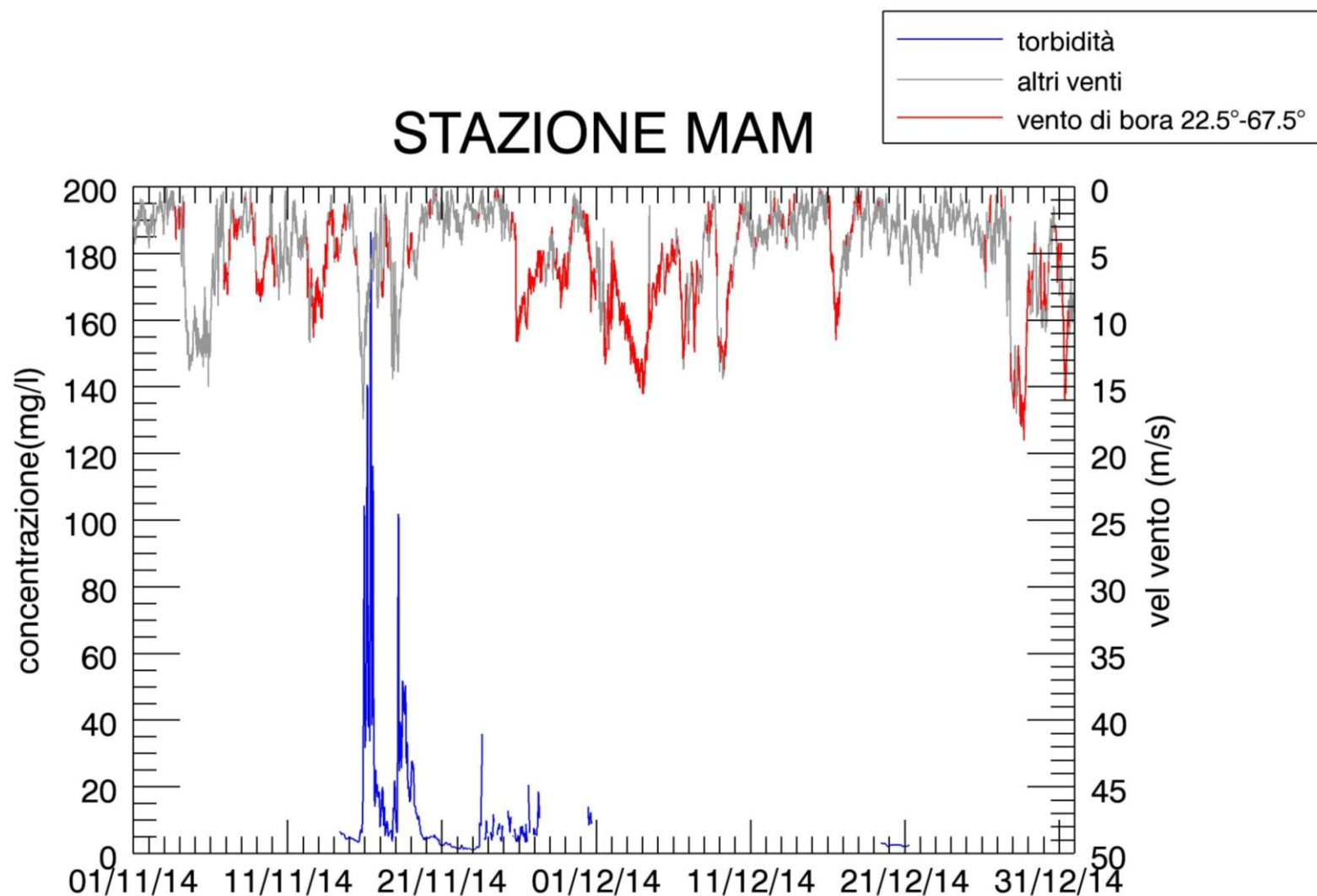


(b)

Figura 3.7. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAM nel periodo settembre-ottobre 2014 2013.

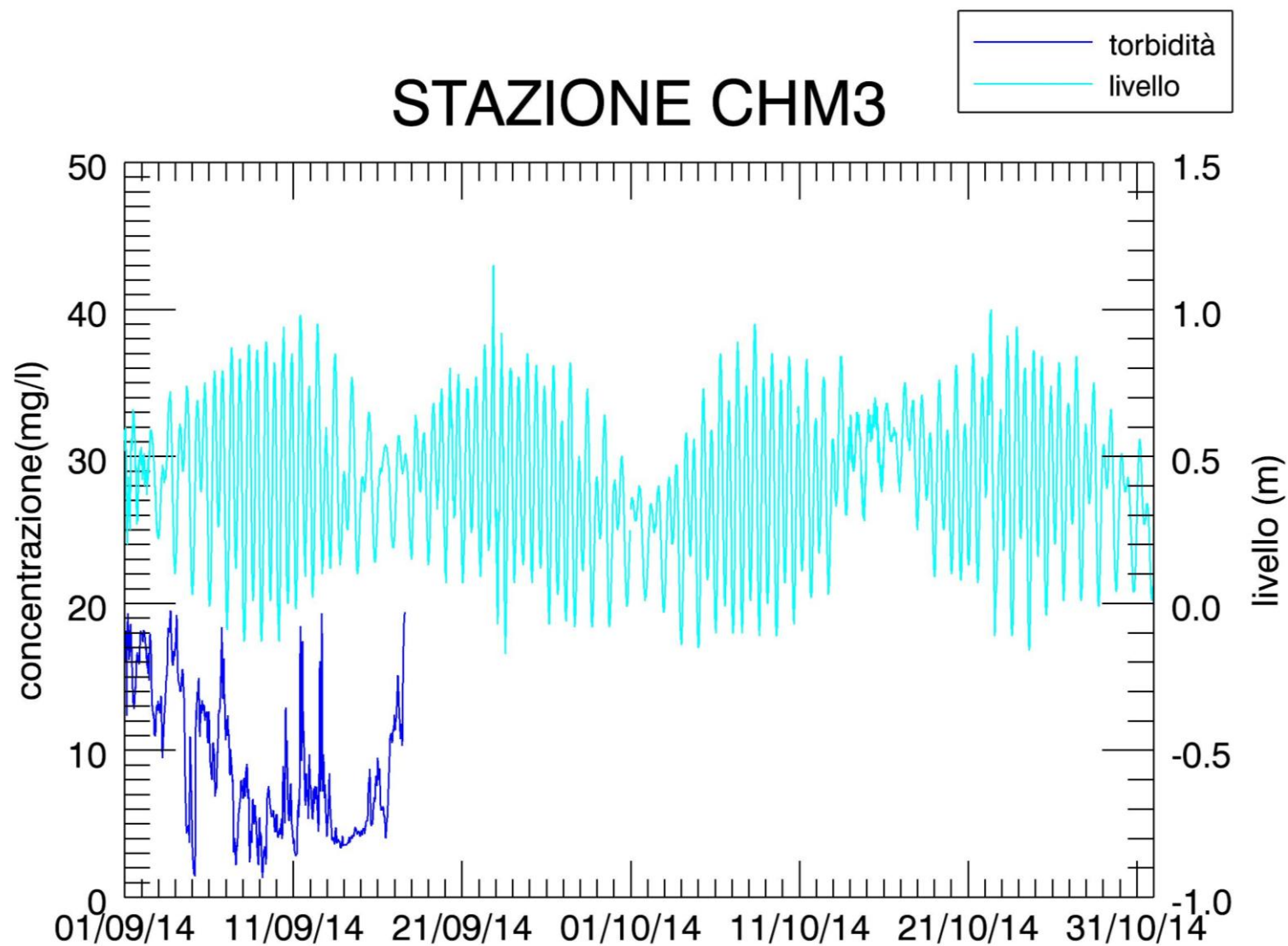


(a)

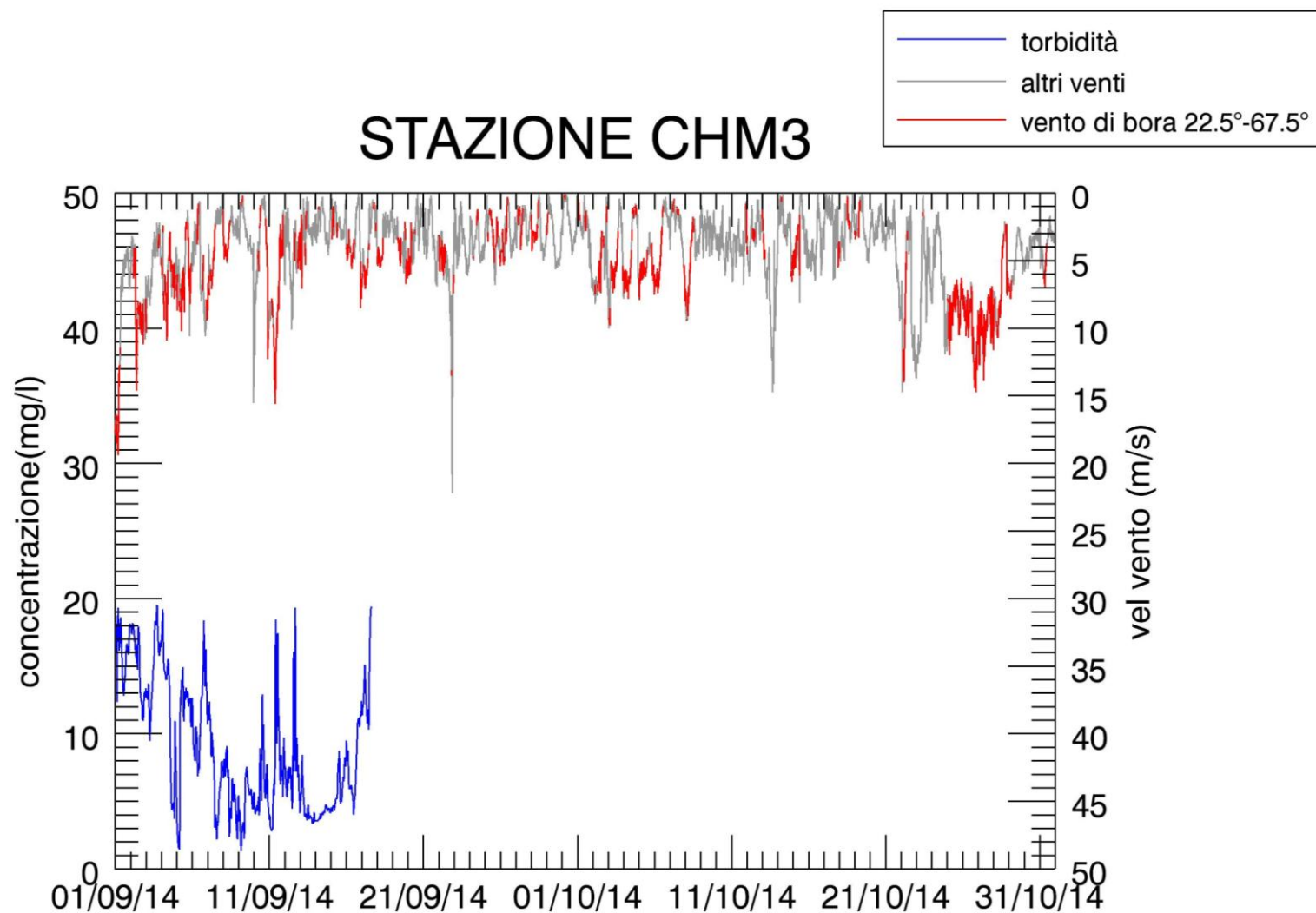


(b)

Figura 3.8. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAM nel periodo novembre-dicembre 2014.



(a)



(b)

Figura 3.9. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHM3 nel periodo settembre-ottobre 2014.

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

Sulle serie temporali della concentrazione (mg/l) è stata effettuata 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 validati sui quali è stata fatta l'elaborazione. Le concentrazioni sono espresse in mg/l.

PARAMETRI	<i>Stazioni in laguna</i>		<i>Stazioni a mare</i>	
	MAP	CHP	MAM	CHM3
Ntot	9935	11590	6916	1593
Media	5.4	15.2	6.7	9.0
Dev. Std.	3.1	22.8	10.0	4.7
Max.	32.1	321.0	186.3	19.5
Min.	1.1	1.0	0.9	1.3
25° percentile	3.3	5.1	3.0	4.7
50° percentile	4.9	6.8	4.4	7.6
75° percentile	6.6	15.6	7.1	12.8
95° percentile	11.1	53.5	16.1	17.7
Media interquartile	5.0	10.4	5.1	8.7

Per quanto riguarda la stazione CHM3, come già spiegato nel paragrafo 3.1, si hanno a disposizione solo i dati fino al 28 ottobre. In seguito all'applicazione della procedura di trattamento e correzione è stato possibile validare solo i dati del periodo 1-17 settembre; data l'esiguità delle informazioni, i risultati dell'analisi statistica eseguita sui dati di tale stazione non sono confrontabili con quelli delle altre stazioni.

Media, deviazione standard, media interquartile, minimo e massimo

Per quanto riguarda le medie, si hanno valori molto simili tra loro per le stazioni in bocca di Malamocco mentre sono molto diversi per CHP.

La deviazione standard per le stazioni CHP e MAM assume valori superiori alla media, il che implica una notevole dispersione dei dati. È quindi utile confrontare anche la media interquartile (media tra il 25° e il 75° percentile), che rappresenta il valore medio non influenzato dagli outlier cioè dagli eventi estremi. Il valore massimo si trova comunque per CHP (10.4mg/l).

I valori minimi, che rappresentano le condizioni dell'acqua in condizioni di calma e al minimo dell'attività biologica, sono simili tra loro e variabili tra 0.9 mg/l (MAM) e 1.1 mg/l (MAP).

I valori più elevati di torbidità sono raggiunti nelle stazioni in momenti diversi: MAP durante l'evento meteo del 5 novembre, CHP durante l'evento meteo del 4 dicembre, MAM in seguito all'evento meteo del 15 novembre.

Percentili

I valori del 25° percentile rappresentano convenzionalmente le condizioni ordinarie di assenza di perturbazioni, cioè assenza di rilevante moto ondoso e scarsa produttività primaria o carico organico. Si nota come tutte le stazioni abbiano valori molto simili tra loro, variabili tra 3.0 mg/l (MAM) e 5.1 mg/l (CHP).

Il 50° percentile coincide con il valore mediano e quindi rappresenta le condizioni più frequenti. Anche in questo caso si nota lo stesso comportamento del precedente quadrimestre; tutte le stazioni hanno valori molto simili tra loro con il massimo per la stazione CHP (6.8 mg/l) e il minimo per MAM (4.4 mg/l).

I valori del 75° percentile si possono considerare, invece, come indicatori di torbidità relativamente elevata dovuta ad un'eccessiva presenza di carico organico, come nei mesi estivi, o a eventi meteomarinari di moderata intensità. Il valore inferiore si ha per la stazione MAP (6.6 mg/l) e il valore più alto si ha per CHP (15.6 mg/l).

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 e in mare, nonché del trasporto di sedimenti lungo costa con aumenti del carico rilevabili anche nei giorni successivi all'evento. Il massimo si ha per CHP (53.5 mg/l).

Si nota come la stazione CHP presenti i percentili più elevati; infatti è la stazione che presenta la percentuale più alta di superamenti di soglia della concentrazione (Tabella 3.5).

3.3 Analisi degli eventi meteo e dei picchi di torbidità

Nella Tabella 3.4 sono riportati, per il quadrimestre considerato, gli eventi meteo significativi; un evento meteo è definito come un intervallo di tempo durante il quale il vento proviene dalla stessa direzione con velocità, misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR, maggiore di 10 m/s. In alcuni casi durante l'intervallo di tempo considerato la velocità del vento può assumere per un breve tempo valori inferiori a 10 m/s per poi risalire: in tal caso se la direzione del vento non cambia si considera un singolo evento.

Per ogni singolo evento si riportano i seguenti dati: orari di inizio e fine, il range della velocità del vento (minima e massima), la direzione media del vento e il valore massimo della concentrazione di solidi sospesi in tutte le stazioni.

Si ricorda che è possibile avere valori di concentrazione più elevati dei valori riportati in Tabella 3.4 dopo il termine dell'evento, quando la velocità del vento scende sotto i 10 m/s.

Nei precedenti Studi [MAV-CORILA, 2005; MAV-CORILA, 2006c; MAV-CORILA, 2006d] si è stabilito il valore di soglia della concentrazione del materiale solido sospeso pari a 30 mg/l, confermato anche dalle elaborazioni riportate nel Rapporto Finale dello Studio B.6.72 B/6 [MAV-CORILA, 2011]. Nella Tabella 3.4 pertanto si evidenziano in rosso i valori di concentrazione che superano il valore soglia di 30 mg/l.

Dalla Tabella 3.4 emerge ancora una volta la variabilità spaziale della concentrazione: tutte le stazioni infatti rispondono in maniera diversa ai vari eventi meteo.

In generale 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;

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

- 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 e da una velocità sostenuta. Tali eventi possono anche essere abbastanza frequenti vista l'intensità del traffico portuale in vicinanza dei torbidimetri.
- 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 settembre-dicembre 2014, mentre nella

Tabella 3.6 si individuano quelli che avvengono o meno in presenza di vento.

Tabella 3.4 Eventi meteo significativi (velocità del vento superiori a 10 m/s) registrati nel periodo settembre-dicembre 2014 e corrispondente concentrazione massima in ogni stazione. Si evidenziano in rosso i superamenti della soglia di 30 mg/l. Le celle restano vuote in corrispondenza di dati rimossi durante la procedura di filtrazione e correzione del fouling o in caso di dati mancanti.

Giorno	Orario	Velocità del vento (m/s)	Direzione media (°) e tipo di vento	Concentrazione max (mg/l)			
				Stazioni in laguna		Stazioni a mare	
				MAP	CHP	MAM	CHM3
1 settembre	0:00-0:15	17,1-17,9	23° bora	2.45	9.46	2.73	18.26
1 settembre	0:30-0:45	16,8-17,0	14° tramontana	2.48	10.09	2.31	16.98
1 settembre	1:00-2:30	16,4-18,5	38° bora	3.54	18.82	4.23	18.14
1 settembre	2:45-8:00	10,8-19,4	29° bora	13.83	25.47	7.83	19.30
2 settembre	8:00-10:00	10,7-14,6	59° bora	8.24	11.47	3.31	16.61
2 settembre	14:30	10,7	57° bora	4.37	8.53	2.58	13.40
2 settembre	16:15-17:00	10,1-10,5	55 ° bora	8.11	11.72	3.34	12.53
2 settembre	19:30-19:45	10,7-11,2	31 ° bora	6.89	11.68	3.29	11.12
2 settembre	20:30	10,2	15° tramontana	7.73	10.74	3.75	12.35
2 settembre	22:15-22:30	10,1-10,8	24° bora	5.69	9.87	3.03	13.02
3 settembre	00:15	10,3	36° bora	6.91	8.12	3.46	12.72
4 settembre	7:45-8:45	10,0-10,9	55° bora		8.16	3.39	14.51
5 settembre	7:00-7:15	10,0-10,2	55° bora		6.64	3.56	13.95
5 settembre	19:45	10,6	73°levante	8.31	6.66	4.66	12.45
6 settembre	19:45-20:45	10,0-10,6	76° levante	5.82	8.17	4.08	16.25
9 settembre	23:15	12,9-13,2	283°ponente	5.12	5.87	3.15	5.61
9 settembre	23:30-23:45	15,5	332°maestrale	5.83	6.24	3.31	5.66
10 settembre	00:45-1:15	11,0-12,0	340° tramontana	7.06	7.89	3.50	4.70
10 settembre	21:30-22:15	10,5-12,3	27° bora	5.49	6.01	3.73	5.08
10 settembre	23:15	10,8	12°tramontana	4.49	5.82	3.05	4.15
11 settembre	6:30-12:30	9,0-15,6	50° bora	6.41	6.90	6.19	18.45
12 settembre	11:00	10,1	343° tramontana	5.88	5.84	4.57	5.09
22 settembre	19:00-19:15	13,1-13,5	54° bora	3.99	5.20	7.66	
22 settembre	19:45-21:45	10,1-22,2	79° levante	4.60	8.96	7.39	
13 ottobre	13:15-17:45	10,0-14,7	133° scirocco		7.90	9.31	
13 ottobre	19:45	10,2	178° mezzogiorno		6.32	9.52	
22 ottobre	1:45-2:30	10,2-14,7	343° tramontana		28.01	8.77	

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 max (mg/l)			
				Stazioni in laguna		Stazioni a mare	
				MAP	CHP	MAM	CHM3
22 ottobre	2:45-5:45	10.2-14.0	52° bora		30.41	9.45	
22-23 ottobre	16:30-6:00	9.8-13.7	305° maestrale		27.96	9.14	
24 ottobre	19:45-23:45	8.9-11.9	88° levante		6.36	5.28	
25 ottobre	2:15-3:15	9.9-12.0	54° bora		7.73	4.08	
25 ottobre	4:15-6:00	9.3-10.9	57° bora		6.76	4.33	
25 ottobre	17:45	10.5	54° bora		4.42	3.49	
25 ottobre	18:30-19:45	9.9-10.5	57° bora		4.88	2.87	
26 ottobre	4:45-5:45	9.1-10.6	34° bora		4.48	2.78	
26 ottobre	8:45	10.7	60° bora		4.60	2.37	
26 ottobre	14:45-23.30	9.9-14.7	60° bora		5.34	3.65	
27 ottobre	00:45	10.2	39° bora		4.88	2.07	
27 ottobre	1:45-2:45	10.5-12.7	58° bora		4.86	2.20	
27 ottobre	4:30	10.6	50° bora		4.46	2.17	
27 ottobre	4:45	10.4	17° tramontana		4.42	2.09	
27 ottobre	7:00-9:15	10.1-13.9	54° bora		3.89	1.87	
27 ottobre	10:15-13:45	9.0-12.1	51° bora		4.35	1.85	
27 ottobre	20:00-21:15	10.1-11.1	57° bora		3.70	1.41	
27 ottobre	22:45-00:15	9.8-11.6	55° bora		3.99	1.81	
28 ottobre	5:00-5:15	10.0-10.3	17		3.84	1.78	
28 ottobre	5:30-7:15	9.9-10.7	38° bora		3.80	1.84	
4 novembre	9:30-10:00	10.1-10.9	155° scirocco	2.58	6.16		
4 novembre	10:15-12:30	10.0-12.6	161° mezzogiorno	6.19	4.95		
4 -5 novembre	12:45-14:15	8.9-13.8	140° scirocco	14.40	133.09		
5 novembre	15:45-22.30	9.8-15.0	136° scirocco	31.23	111.89		
5-6 novembre	22:45-00:00	10.5-12.8	164° mezzogiorno	32.12	90.41		
12 novembre	9:00-9:45	10.6-11.5	124° scirocco	8.76	28.24		
12 novembre	10:00-11:00	10.5-11.7	106° levante	10.57	29.17		
12 novembre	15:15-17:00	9.3-11.3	43° bora	26.38	136.62		
12 novembre	19:00	10.2	57° bora	22.19	101.19		
15 novembre	15:30-21:30	10.2-17.4	135° scirocco	10.17	8.77	34.13	
15 -16 novembre	21:45-2:30	8.9-16.8	180° mezzogiorno	9.77	9.39	104.19	
17 novembre	17:30-18:15	11.9-13.5	96° levante	12.71	37.81	6.81	
17 novembre	18:30	10.1	177° mezzogiorno	13.82	34.89	3.94	
17 novembre	18:45-19:30	10.3-14.4	150° scirocco	15.15	34.04	9.06	
17 novembre	21:15-22:30	10.6-13.8	165° mezzogiorno	10.06	32.64	21.88	
18 novembre	1:15-3:30	10.0-13.5	232° libeccio	10.41	26.22	66.78	
18 novembre	3:45-4:45	10.0-13.9	251° ponente	7.03	21.80	101.77	
25 - 26 novembre	19:30-00:15	9.8-11.6	55° bora	5.15	6.35	5.47	
26 novembre	2:00	10.2	57° bora	6.88	7.40	6.72	
26 novembre	10:00-12:30	9.9-10.7	32° bora	8.28	6.06	8.75	
1 dicembre	6:15-6:45	10.0-10.9	140° scirocco	6.74	12.04		
1 dicembre	8:00-8:30	9.5-10.4	127° scirocco	9.00	26.08		
1 dicembre	9:15	10.1	124° scirocco	12.45	39.58		

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

Giorno	Orario	Velocità del vento (m/s)	Direzione media (°) e tipo di vento	Concentrazione max (mg/l)			
				Stazioni in laguna		Stazioni a mare	
				MAP	CHP	MAM	CHM3
1 dicembre	12:00-16:00	8.7-13.3	53° bora	6.64	22.38		
1 dicembre	19:00-20:30	10.2-12.2	41° bora	8.96	32.68		
1 dicembre	23:00	10.7	55° bora	10.51			
2 dicembre	13:00-13:30	10.0-10.4	50° bora	4.87	29.62		
2 dicembre	14:45-15:15	10.0-10.1	53° bora	4.89	28.42		
2-4 dicembre	20:15-9:15	9.6-15.5	50° bora	9.35	320.96		
4 dicembre	11:30-13:45	9.4-10.7	40° bora	15.31	150.19		
6 dicembre	13:30-15:00	10.9-12.9	56° bora	4.60	49.16		
6 dicembre	15:15-16:15	12.1-13.7	70° bora	5.52	52.31		
6 dicembre	16:30-18:15	10.3-12.7	61° bora	5.56	48.25		
6 dicembre	22:00	10.1	70° levante	4.70	43.16		
6 dicembre	22:30-23:30	10.4-11.8	60° bora	3.97	42.30		
7 dicembre	7:45-9:45	10.1-12.4	58° bora	5.12	46.82		
8-9 dicembre	20:30-6:45	10.3-14.4	70° levante	4.46	13.09		
9 dicembre	7:00-11:00	10.0-13.7	59° bora	2.27	12.49		
16 dicembre	12:15-14:00	8.7-11.5	35° bora	2.53	8.53		
16 dicembre	15:30	10.4	38° bora	3.57	7.59		
27 dicembre	20:30-21:00	12.5-14.6	23° bora	4.19	20.74		
27-28 dicembre	21:15-00:30	13.5-15.7	18° tramontana	7.06	29.36		
28 dicembre	00:45-3:00	13.7-16.6	29° bora	9.28	38.40		
28 dicembre	3:15-8:30	11.9-17.0	0° tramontana	12.79	93.79		
28 dicembre	8:45-22:30	10.0-19.0	55° bora	10.50	169.57		
29 dicembre	20:45-21:30	9.7-10.6	73° levante	9.20	46.45		
29 dicembre	22:45-23:30	9.2-10.6	78° levante	9.72	53.95		
30 dicembre	2:45	10.9	73° levante	7.53	73.27		
30 dicembre	4:45	10.5	92° levante	8.87	73.89		
31 dicembre	6:30-14:15	9.3-16.0	57° bora	14.61	165.89		
31 dicembre	15:45-17:15	8.2-11.1	10° tramontana	15.80	86.98		
31 dicembre	21:00	10.2	2° tramontana	13.57	109.50		

Tabella 3.5. Numero totale di superamenti della soglia di 30 mg/l e percentuale rispetto al numero totale dei dati validati nel periodo settembre-dicembre 2014.

STAZIONI	Stazioni in laguna				Stazioni a mare			
	MAP		CHP		MAM		CHM3	
Dati totali	9935		11590		6916		1593	
Condizioni eccezionali con C>30 mg/l	2	0.02%	1453	12.54%	113	1.63%	0	0%

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

Tabella 3.6. Numero totale di superamenti della soglia di 30 mg/l, numero dei superamenti dovuti e non dovuti al vento e relative percentuali rispetto al totale dei superamenti nel periodo settembre-dicembre 2014.

	<i>Stazioni in laguna</i>				<i>Stazioni a mare</i>			
STAZIONI	MAP		CHP		MAM		CHM3	
Eventi eccezionali con C>30 mg/l	9935		0	100%	113	100%	0	0%
Superamenti CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento (v >10 m/s)	2	100%	1169	80.5%	113	100%	0	0%
Superamenti la cui causa NON È CERTAMENTE legata alla risospensione da vento (v<10 m/s)	0	0%	284	19.5%	0	0%	0	0%

Nella Tabella 3.7 si riportano per ogni stazione le date, le ore dei superamenti e il relativo numero di dati rispettivamente attribuibili al vento (VENTO) o ad altre cause (NO VENTO).

Si ricorda che in generale i superamenti vengono attribuiti alla categoria VENTO sia quando sono contemporanei al vento, sia quando continuano anche dopo la fine del vento o inizino immediatamente dopo la fine del vento. In alcuni casi può succedere che il superamento inizi un po' prima che il vento assuma la velocità di 10 m/s (ma soffia comunque con velocità maggiore rispetto alle ore precedenti) e continui per la durata dell'evento meteo; anche in tal caso generalmente si attribuisce la causa al vento.

Vengono invece attribuiti alla categoria NO VENTO i superamenti che avvengono in assenza di vento forte ma anche i superamenti dovuti al "mare lungo", cioè creati da eventi di lunga durata (soprattutto di scirocco, caratterizzato da un lungo fetch) che si sono verificati molte ore prima.

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

Tabella 3.7. Superamenti (numero di dati) del valore di soglia di 30 mg/l dovuti e non dovuti al vento nel periodo settembre-dicembre 2014.

DATA	ORA	VENTO	NO VENTO
CHP			
22 ottobre	5:45-6:45	5	
22 ottobre	9:30-12:45		14
5-6 novembre	3:45-11:45	129	
12 novembre	12:30-00:30	49	
13 novembre	3:45-7:00		14
13 novembre	12:30-14:15		8
17 novembre	16:00-22:45	28	
18 novembre	15:45-19:45	17	
1 dicembre	8:45-11:00	10	
1 dicembre	18:30-20:00	7	
1-2 dicembre	23:15-8:15	37	
2 dicembre	9:45-12:15	11	
2-3 dicembre	16:15-00:15	33	
3 dicembre	2:30-8:45	26	
3 dicembre	10:15-12:30	10	
3- 5 dicembre	18:00-8:00	153	
5 dicembre	10:15-19:45	39	
5-6 dicembre	23:00-00:45	8	
6 dicembre	3:30-4:30	5	
6-8 dicembre	12:45-19:45	221	
9 dicembre	14:45-16:30		8
9 dicembre	18:00-18:15		2
9-10 dicembre	21:15-6:30		38
10 dicembre	8:00-18:45		44
10-11 dicembre	20:45-00:00		14
11 dicembre	00:30-20:30		81
11 dicembre	21:45		1
12 dicembre	00:00-1:00		5
13 dicembre	12:00-19:00		29
13 dicembre	21:45-22:00		2
26 dicembre	13:30-16:30		13
27 dicembre	6:15-7:30		6
27 dicembre	16:45-17:45		5
28-31 dicembre	00:45-23:45	381	
MAP			
5 novembre	22:30-22:45	2	
MAM			
15-16 novembre	21:30-14:00	67	
18 novembre	3:15-5:00	8	
18 novembre	6:45-8:15	7	
18 novembre	9:45-16:15	27	
18 novembre	17:15-18:00	4	

I superamenti rilevati nelle stazioni CHP e MAM durante la tarda mattinata e pomeriggio del giorno 18 novembre sono avvenuti in assenza di vento; poiché sono contemporanei in entrambe le stazioni e si presentano comunque in seguito agli eventi meteo notturni, brevi ma intensi, sono stati attribuiti al vento.

Sui meccanismi di formazione della torbidità, legata alla risospensione dei sedimenti in mare e in laguna o ad altre possibili cause, è in corso un'indagine specifica, avviata nel corso dello Studio B.6.72 B/8 [MAV-CORILA 2013, Rapporto Finale]. In tale indagine si utilizzano tutte le registrazioni torbidimetriche disponibili, distinguendo fra fase di flusso e di riflusso, nonché i dati di vento, di moto ondoso e di portata fluviale.

In ogni caso si ricorda che le correlazioni fra torbidità, eventi meteo-marini ed eventi meteorologici (vento, correnti di marea, correnti litoranee, correnti fluviali, ecc.), che vengono invocati per spiegare la successione cronologica dei rilievi, non hanno valore locale ed istantaneo. Il fenomeno di risollevarsi dei sedimenti, infatti, è solo uno dei meccanismi che determina la torbidità nel luogo e nel momento assegnati; essa non dipende soltanto dalla risospensione contemporaneamente creata dal moto ondoso nello stesso sito, ma anche (e soprattutto) dalla concentrazione dei sedimenti risollevari altrove e qui convogliati dalle correnti di marea. In termini matematici ciò significa che non esiste una relazione algebrica (per quanto complicata) fra torbidità e vento, ma solo un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali che descrivono tanto i processi di sollevamento/deposizione quanto i processi di trasporto dei sedimenti da parte delle onde e delle correnti. I cosiddetti modelli morfodinamici integrano numericamente queste equazioni e forniscono la distribuzione della concentrazione nello spazio e nel tempo, note che siano le condizioni iniziali e al contorno.

Pur assumendo che approssimative correlazioni tra la torbidità locale (rilevata da una data stazione torbidimetrica) e gli eventi meteo-marini (vento e correnti registrati nello stesso luogo o nelle vicinanze) possono essere ricercate qualora ci si riferisca ad opportuni valori medi, è evidente che tali correlazioni sono tanto più plausibili quanto più lungo è il periodo sul quale viene calcolata la media in condizioni paragonabili. In effetti la media è proprio un valore integrale che elimina, almeno fino a un certo punto, le perturbazioni; per cui le correlazioni trovate sono tanto più robuste (cioè valide generalmente) quanto più ampie sono le medie spaziali e temporali considerate.

Su lunghi periodi, inoltre, tendono a compensarsi meglio gli errori strumentali (fouling) e quelli di taratura (relazione fra torbidità e solidi sospesi). Per questo motivo, da un lato sono maggiormente significative le serie di misure pluriennali piuttosto di quelle annuali o addirittura stagionali, dall'altro riesce difficile individuare con sicurezza le variazioni a medio termine (cioè da un anno all'altro) della stessa torbidità.

3.4 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche

L'obiettivo del monitoraggio ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio è stato sia quello di acquisire i valori di torbidità naturale (cioè in assenza delle operazioni di dragaggio), sia quello di verificare la dispersione della torbidità generata dalle draghe.

Per il periodo corrispondente all'intervallo settembre-dicembre 2014 sono state rese disponibili dalla Direzione Lavori alcune informazioni relative alle attività di dragaggio alla bocca di porto di Malamocco per il solo periodo 1-24 ottobre 2014, quali effettivi giorni di scavo, ed i volumi scavati (Tabella 3.8).

Per le stazioni MAP, MAM non risultano superamenti nei giorni i cui sono presenti attività di scavo. Si può affermare che il pennacchio (*plume*) di materiale risospeso dai mezzi di scavo

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

operanti nelle aree di cantiere nel periodo di misura non ha presentato un'estensione tale da interessare significativamente le stazioni fisse per la registrazione della torbidità.

Tabella 3.8. 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 MALAMOCCO	OP/413-10	Dal 1/10/2014 al 24/10/2014	8	13952

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

BIBLIOGRAFIA

ANPA. 1999. "Le principali metodiche di campionamento e analisi del particolato in sospensione in ambienti acquatici. Rassegna bibliografica", Serie Documenti 9/1999.

ARPAV: fonte dati precipitazioni

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. 2005. "OceanSeven 304 CTD-T OPERATOR MANUAL", Brugherio (Milan).

Idronaut Srl. 2005. "Seapoint Turbidity Meter USER MANUAL", Brugherio (Milan).

InterOcean Systems Inc. 1995. "S4 CURRENT METER USER MANUAL (Rev B)".

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2005. Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Definizione dei valori soglia della torbidità all'interno delle bocche di porto. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2006a. 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. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia, CORILA. 2006b. 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. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2006c. Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Linee guida speditive. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2006d. Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2007. Studio B.6.72 B/2 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2008. Studio B.6.72 B/3 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2009. Studio B.6.72 B/4 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

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

- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2010. Studio B.6.72 B/5 – Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2011. Studio B.6.72 B/6 – Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2012. Studio B.6.72 B/7 – Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2013. Studio B.6.72 B/8 – Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2014. Studio B.6.72 B/9 – Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Matrice: Acqua. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia. 2003. “Studio B.6.78/I – Attività di monitoraggio alle bocche di porto: controllo delle comunità biologiche lagunari e marine”, Disciplinare Tecnico CVN/Technital, Venezia.
- 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.
- 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.
- Regione Veneto- CORILA, 2011. Programma di ricerca stabilito tra CORILA e Regione del Veneto e finalizzato all’acquisizione di nuove conoscenze per la salvaguardia della laguna di Venezia, del bacino scolante e del mare antistante. Ricerca “Sedimenti fluvio-marittimi: risorsa a livello regionale”. Rapporto Finale
- 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. 2006. “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. 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.

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

- 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.