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 BOCCHE LAGUNARI

Documento

MATRICE: ACQUA

MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA TORBIDITÀ IN CONTINUO

III RAPPORTO DI VALUTAZIONE

PERIODO DI RIFERIMENTO: DA GENNAIO A APRILE 2012

Versione **1.0**

Emissione **15 Giugno 2012**

Verifica	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 10
2.3 Gestione della rete di stazioni fisse, attività in campo e di laboratorio 12
2.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati 13
2.4.1 Correzione per l'accumulo temporaneo di materiale macroscopico 13
2.4.2 Correzione per il fouling 14
2.4.3 Calibrazione dei sensori di torbidità 16
3. ANALISI e TRATTAMENTO DEI DATI 17
3.1 Validazione dei dati e calibrazione 17
3.2 Serie temporali della concentrazione del particellato solido sospeso (SPM) 24
3.3 Analisi degli eventi meteo e dei picchi di torbidità 44
3.4 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche 51
3.5 Struttura dell'archivio dei dati 51
4. BIBLIOGRAFIA 52

Alla realizzazione del presente rapporto hanno contribuito:

C. Dall'Angelo (CORILA)

G. Di Silvio (IMAGE – UNIPD)

R. Fiorin (LagunaProject)

G. Lorenzetti (ISMAR – CNR, Venezia)

M. Morgantin (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 particellato 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 particellato 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 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 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 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, tegnue, 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 Gennaio-Aprile 2012 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). 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.

Per quanto riguarda la misura della direzione e velocità del vento si fa riferimento alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR mentre 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, Diga Sud di Lido,) gestito del Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia. Poiché nel mese di Marzo 2012 l'anemometro della piattaforma del CNR non ha funzionato in maniera continua si sono utilizzati i dati della stazione posta presso la diga sud della bocca di Lido in corrispondenza del Mareografo (facente parte della Rete Mareografica Nazionale (RMN)). (Figura 2.2).

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.

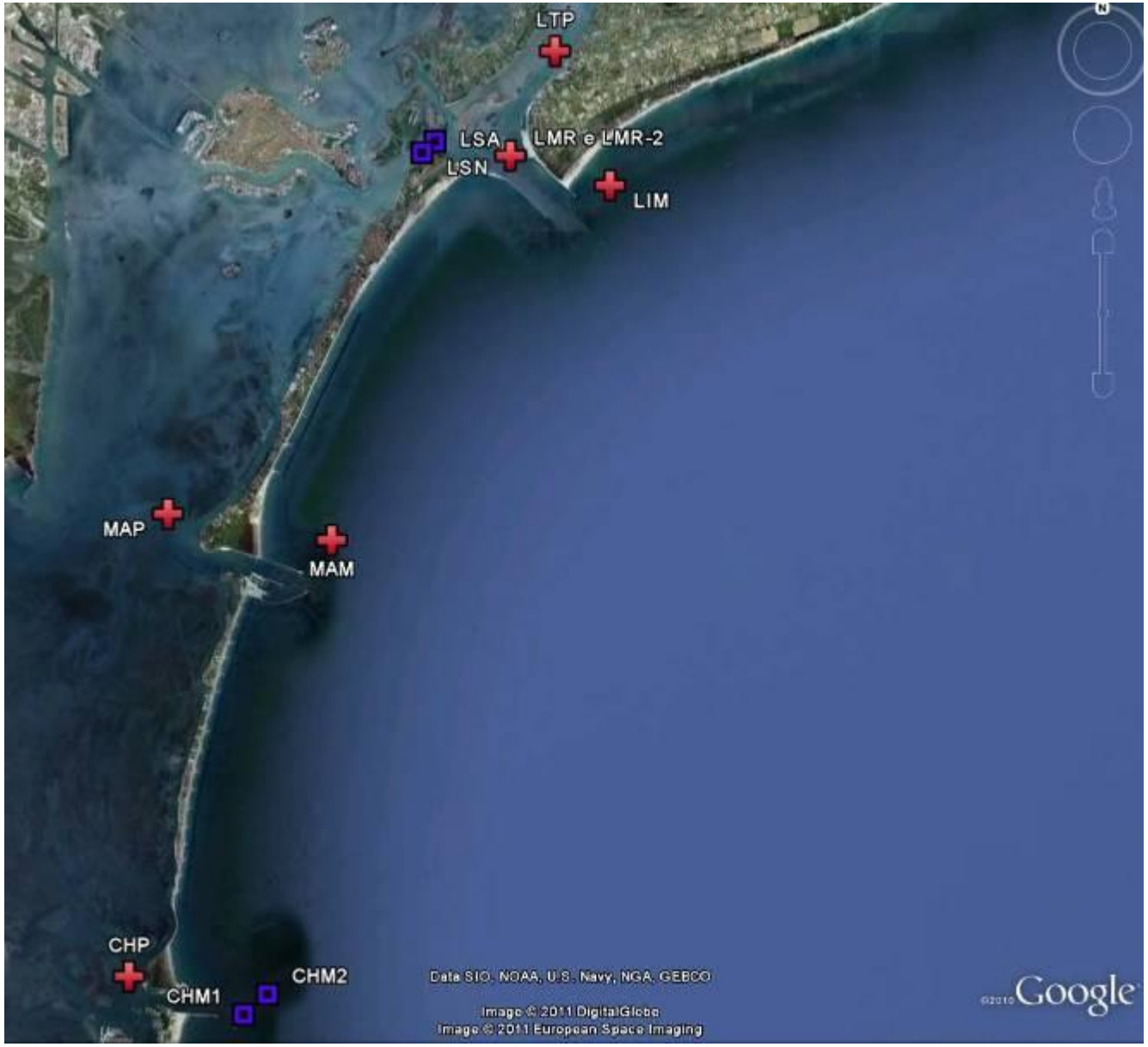


Figura 2.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel periodo 2010-2011.

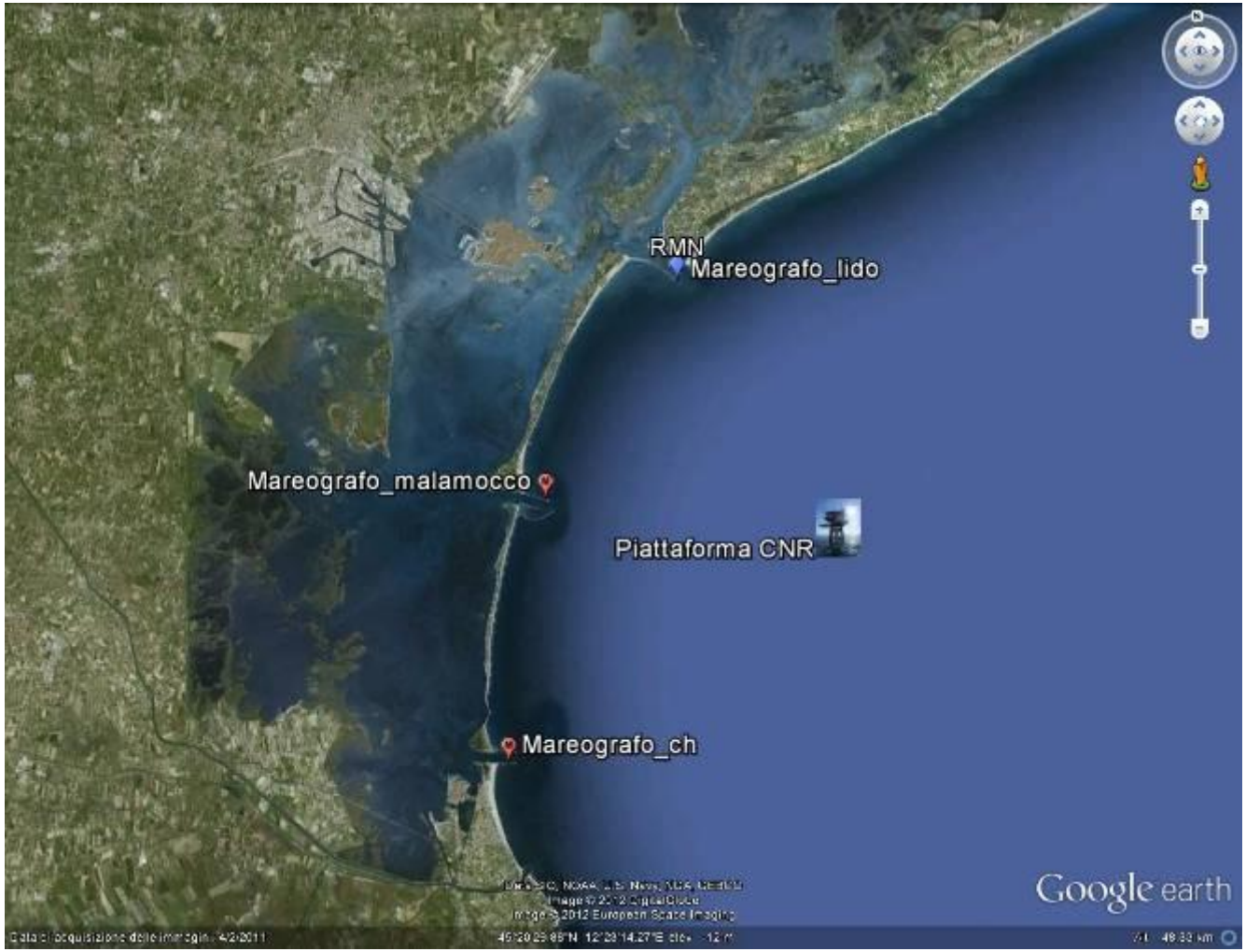


Figura 2.2. Mareografi, piattaforma del CNR

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	ISPRA	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	ISPRA	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

Sigla Identificativa	Località	Tipo postazione	Ente	Fondale (m)	Coordinate UTM WGS 84	Coordinate Gauss Boaga	Periodo di utilizzo
LSN	LIDO Canale S. Nicolò	Postazione mareografica	MAV	7.0	295624 E 5034542 N	2315566.36 5034465.53	Studio B.6.72 B/1
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

La rete è attualmente costituita da sette stazioni.

Per le stazioni LIM e MAM (Figura 2.3), 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; 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 2.6 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 e Figura 2.4).

Le stazioni LTP, MAP, CHP, posizionate all'interno della laguna, sono state allestite utilizzando le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 2.5). Le stazioni coincidono con le postazioni utilizzate nello Studio B.6.78/I.

Figura 2.3. Stazione MAM.

Figura 2.4. Stazione LMR.

Figura 2.5. Stazione CHP.

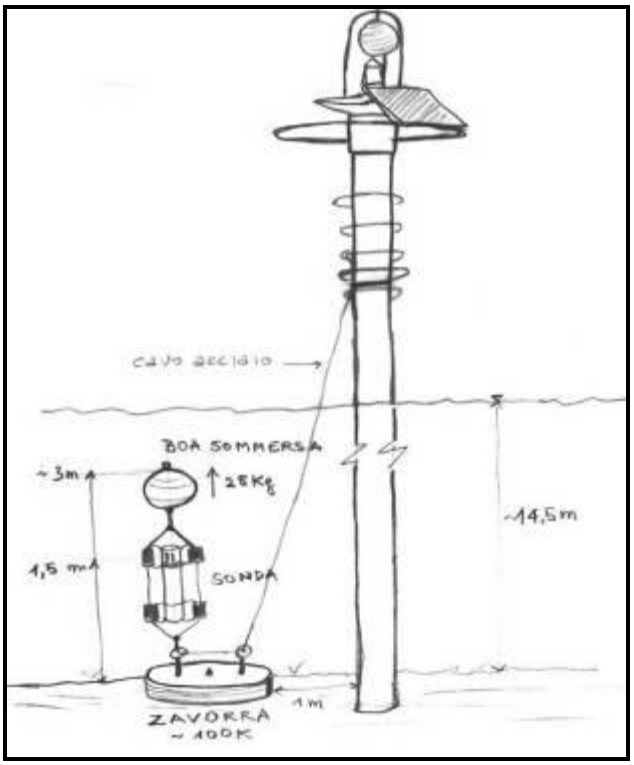


Figura 2.6. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare.

2.2 Strumentazione per la misura della torbidità

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

Per quanto riguarda la stazione LMR è equipaggiata con un correntometro elettromagnetico autoregistrante Inter Ocean Ltd Mod. S4, provvisto con sensore OBS (Optical Backscatter sensor). Causa danneggiamento del sensore OBS, dal 23 Novembre 2011 tale strumento è stato sostituito con una sonda multiparametrica Datasonde 4a, Hydrolab, USA.

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 e nella Tabella 2.3 dove sono riassunte le caratteristiche tecniche di tutti i sensori (temperatura, conducibilità e pressione) montati nelle sonde OceanSeven 304 CTD-T,nella Datasonde 4a e nel correntometro autoregistrante Inter Ocean Ltd Mod. S4.

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.

Gli strumenti funzionano come già visto in maniera quasi continua da 6 anni. Ad oggi l'efficienza della rete è assicurata al prezzo di continue e costose manutenzioni che hanno richiesto la sostituzione di parti meccaniche, guarnizioni, connettori, ecc.

Tabella 2.2. Caratteristiche dei sensori montati sulla sonda OceanSeven 304 CTD-T (OceanSeven 304 CTD-T OPERATOR MANUAL) e sulla sonda Datasonde 4a (Hydrolab_Minisonde_Product_Brochure)

Sensore OceanSeven 304	**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 (•)
Sensore Datasonde 4a	**Intervallo di misura**	**Accuratezza**	**Sensibilità**
Pressione	0 - 10 m	± 0.003 m	0.001 m
Temperatura	-5 - 50° C	± 0.10° C	0.01° C
Conducibilità	0 - 100 mS/cm	± 1% of reading; ± 0.001 mS/cm	4 digits
Turbidity	0 – 1000 NTU	± 5% of reading; ± 1 NTU	0.1 NTU (<100 NTU) 1.0 NTU (<100 NTU)

(•) oltre 750 FTU la risposta non è più lineare.

Tabella 2.3. Caratteristiche del correntometro elettromagnetico autoregistrante Inter Ocean Ltd Mod. S4 (s4 current meter user manual (rev b))

	OBS (Optical Backscatter)	**Velocità corrente**	**Direzione**	**Tilt**	**Temperatura**	**Conducibilità**	**Pressione**
Intervallo di misura	0 – 200 FTU	0 – 350 cm/s	0 – 360 °	+/- 45°	-5°C - +45°C	0 – 70 mS/cm	0 – 1000 dbar
Risoluzione	-	0.2 cm/s	0.5°	0.06°	0.05 °C	0.1 mS/cm	1 dbar
Precisione	-	2% of reading +/- 1 cm/s	+/-2° within tilt angles of 5°	+/- 0.25°	+/- 0.02°C	+/- 0.2 mS/cm (5-65 mS/cm)	+/- 0.15 %
Tempo di risposta (63%)					1.5 sec	0.1 sec	60 msec

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 con cadenza circa settimanale contemporaneamente allo scarico dei dati. Nella Figura 2.7 si riporta un esempio di incrostazione ad opera di uova di calamaro nella sonda della stazione LIM.

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.

Figura 2.7. Sonda LIM (23/01/12)

Contestualmente alla 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) [ANPA,1999]. Tale 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 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 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 particellato solido sospeso (in mg/l) sono indispensabili per convertire i dati grezzi di torbidità come descritto nel paragrafo 2.4.3.

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).

RETE PER LA RILEVAZIONE DELLA TORBIDITA' IN CONTINUO

POSTAZIONE DI MISURA : **CHP** BOCCA DI CHIOGGIA - Porto

FOTO	Postazione	Nome (ID)	CoordinateUTM WG84	Fondale (m.)
	Postazione Mareografica	CHP	**0286559 E 5012376 N**	**2.1**
	Sensore	N. di Serie	Data di installazione	Sensore dal fondo (m)
	OS304 CTD-T	**45**	**8 giugno 2006**	**1**

SCARICAMENTO DATI / CAMPIONAMENTO / MANUTENZIONE

DATA gg/mm/aa	**ORA** solare hh:mm	**Batteria VDC**	**CAST di memoria CTD-T**	**Nome FILE scaricato** (es: CHP_ ggmmaa)	**Manutenzione Sensori**	**Campione acqua** (es: CHP_ gg/mm + hh:mm)
16/08/11	10:20				COND [x]	1) CHP 16/08 10:20
16/08/11	10:35				TORB [x]	2) CHP 16/08 10:35

OPERATORE Riccardo Fiorin

NOTE

Figura 2.8. Esempio di scheda di campo riferita alla postazione di misura CHP.

2.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati

2.4.1 Correzione per l'accumulo temporaneo di materiale macroscopico

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

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 che aumentano seguendo un andamento approssimabile ad una relazione lineare o di secondo grado.

Nel caso più semplice (probabilmente piccole incrostazioni che crescono lentamente sulla finestra ottica del sensore) questa deriva non comporta un aumento significativo delle oscillazioni istantanee ed è, quindi, sufficiente correggere la serie temporale 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 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.

Un esempio di deriva dovuta al fouling è rappresentato nella Figura 2.9 dove si riporta la serie temporale della torbidità relativa alla stazione LTP e al mese di Gennaio 2012, dopo l'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, e si è eliminato il picco del 9 Gennaio 2012. Il risultato dopo la correzione è visibile nella Figura 2.10.

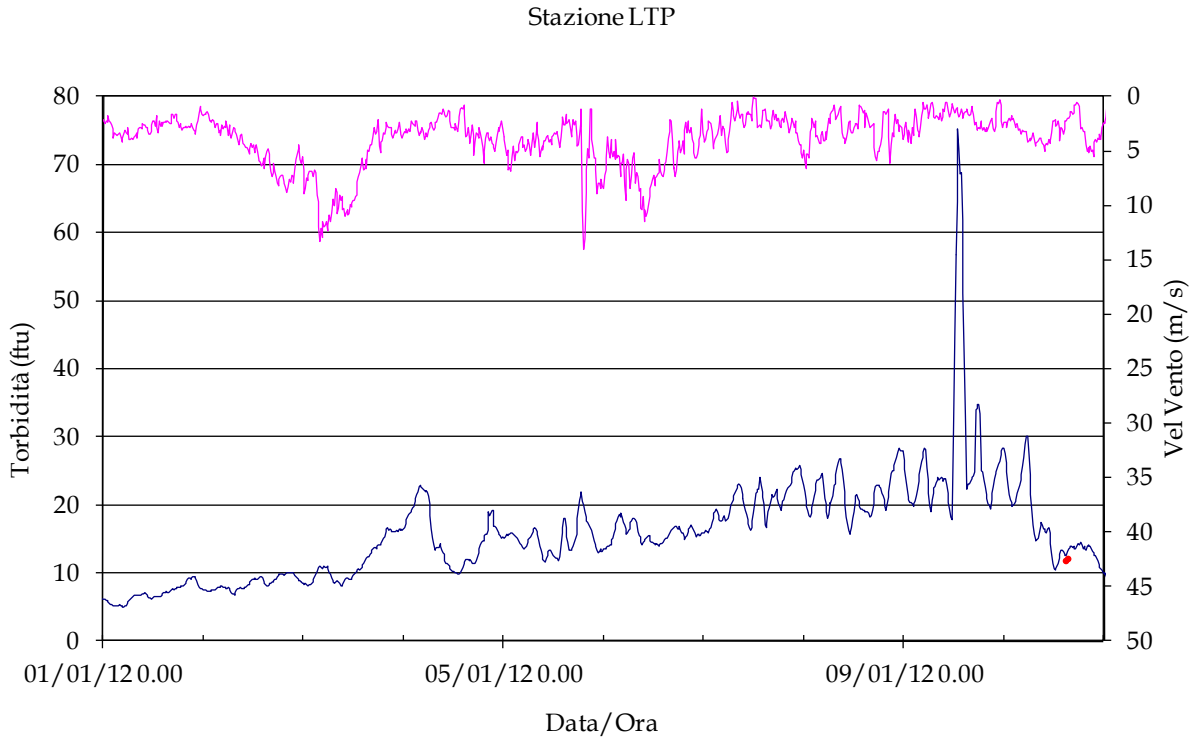


Figura 2.9. Esempio della presenza di derive progressive dei valori di torbidità dovute al fouling nella stazione LTP. Con un pallino rosso é rappresentato il valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua prelevato durante l'intervento di manutenzione.

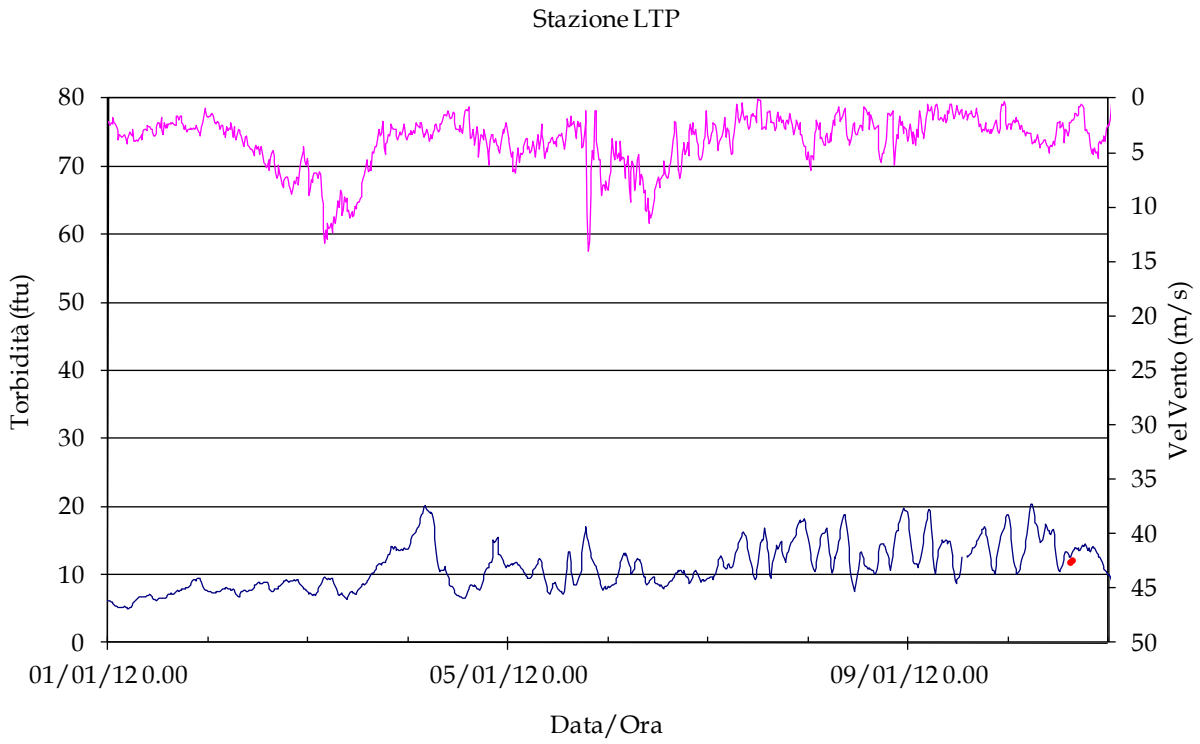


Figura 2.10. Risultato finale dopo l'applicazione della procedura correttiva. Con un pallino rosso, é messo in evidenza il valore di concentrazione misurato nel campione d'acqua prelevato durante l'intervento di manutenzione.

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 particellato solido sospeso, espressa in FTU (Formazine Turbidity Units), viene determinata misurando la luce dispersa rispetto ad un angolo formato dal raggio incidente (backscattering).

Il particellato 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 devono essere convertiti in valori di concentrazione del particellato 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 µm ed è, quindi, funzione diretta del numero, della dimensione e del peso specifico delle particelle. La torbidità, invece, è una funzione diretta del numero, della superficie e dell'indice di rifrazione delle particelle in sospensione ma, nel contempo, è una funzione inversa delle dimensioni delle stesse 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. 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

- La sonda posizionata presso la stazione LIM è stata recuperata in data 14/02/2012 a causa della rottura del cavo d'acciaio di ancoraggio (Figura 3.2), avvenuta probabilmente in seguito alla mareggiata dei giorni precedenti. Dopo le consuete operazioni di manutenzione e riparazione avvenute presso i laboratori del CNR-ISMAR la strumentazione è stata riposizionata in data 29/02/2012.

A causa del frequente verificarsi di esaurimenti prematuri della carica del pacco batterie delle sonde è stata effettuata una verifica sul lotto di cui alla più recente fornitura rilevando un problema che è stato risolto con la sostituzione dell'intero lotto. Il problema dell'esaurimento precoce non dovrebbe ripresentarsi più essendo la durata in condizioni normali superiore all'intervallo di tempo programmato fra due interventi di manutenzione e pulizia consecutivi.

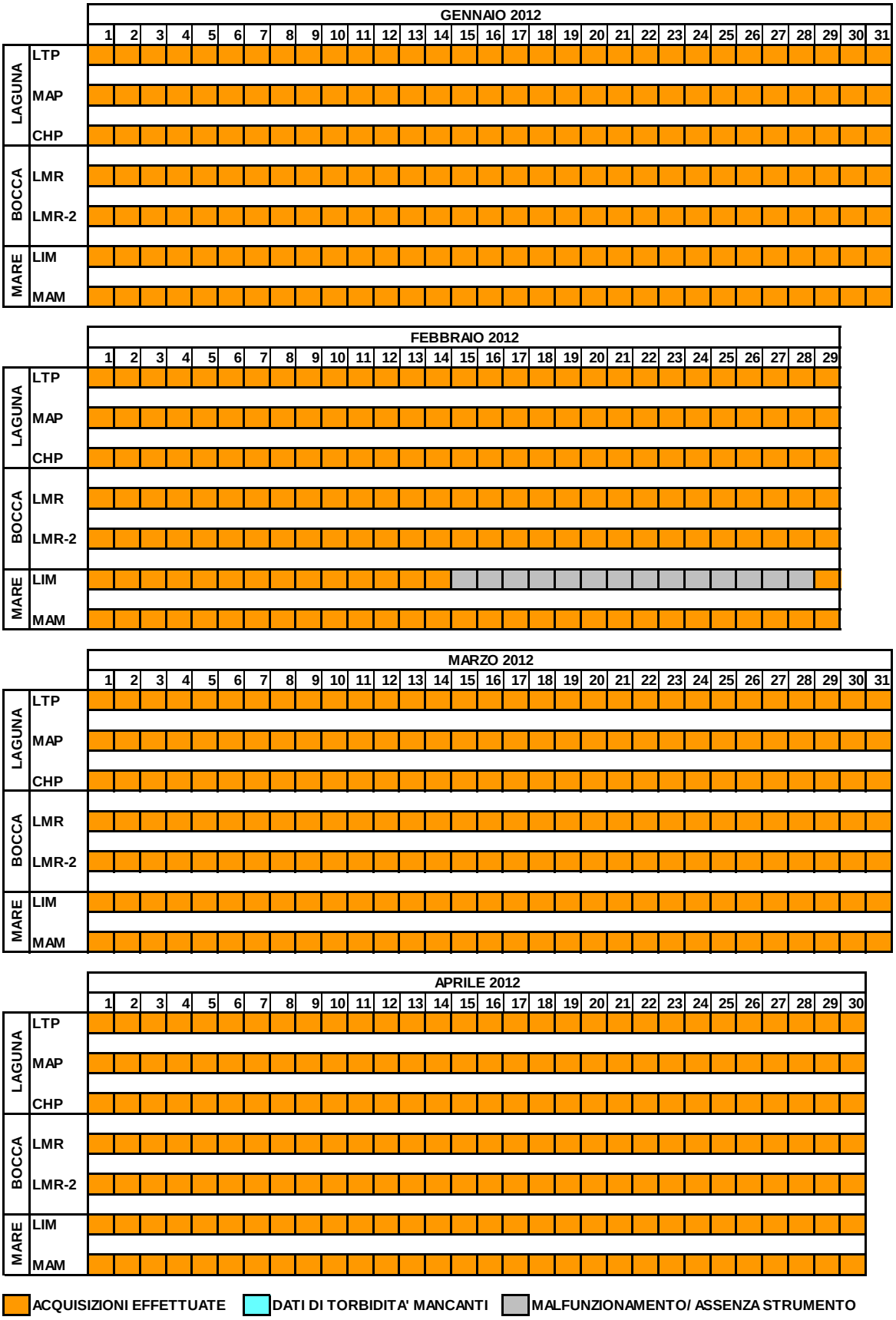


Figura 3.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle stazioni oggetto del monitoraggio nel periodo Gennaio-Aprile 2012

Figura 3.2. Rottura del cavo della sonda LIM

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 Gennaio-Aprile 2012

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 Gennaio-Aprile 2012 .

Tipologia	Stazione	Percentuale di funzionamento	Percentuale di dati validati
Stazioni in laguna	**LTP**	100.0%	92.7%
	MAP	100.0%	90.9%
	CHP	100.0%	93.8%
Stazioni in bocca di porto	**LMR**	100.0%	97.2%
	LMR-2	100.0%	99.3%
Stazioni a mare	**LIM**	87.60%	64.0%
	MAM	100.0%	71.8%

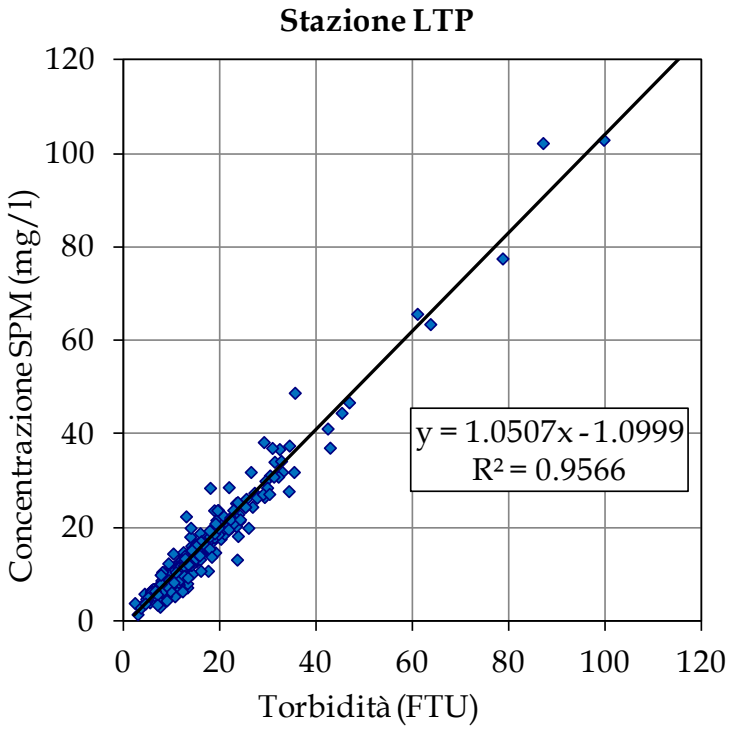
Fatta eccezione per la stazione LIM che non ha funzionato per alcuni giorni, e per la stazione MAM dove si sono dovuti cancellare alcuni dati perché non attendibili anche dopo l'applicazione della procedura correttiva per tutte le stazioni la percentuale di dati validati è elevata e supera il 90%, grazie agli interventi di pulizia delle sonde.

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 3.3 (a-g). Ciascuna di queste relazioni, ricavata utilizzando

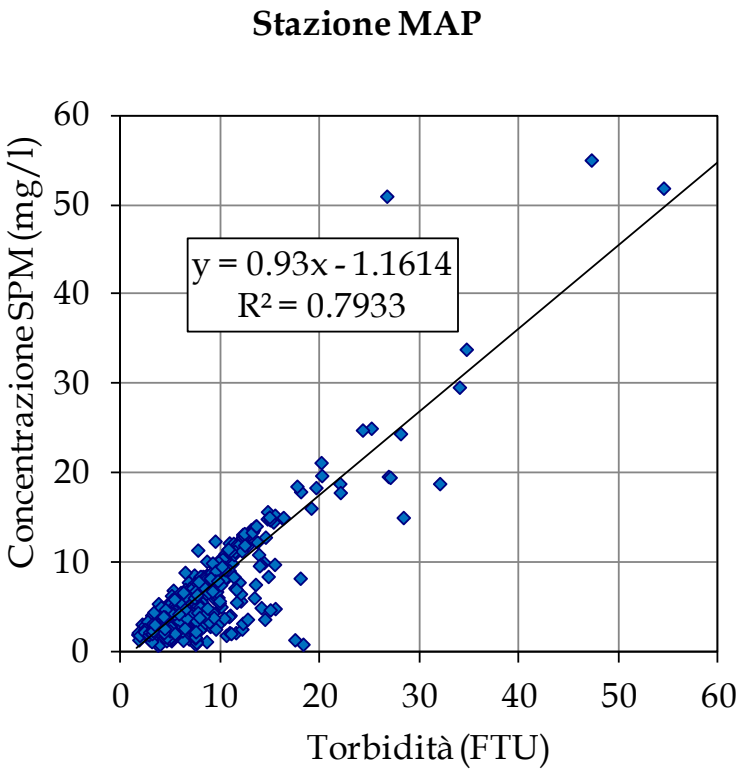
tutti i dati disponibili relativi ai vari anni di monitoraggio, è stata poi utilizzata per derivare la serie temporale della concentrazione di SPM a partire dalla serie della torbidità opportunamente corretta relativa alla corrispondente stazione.

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

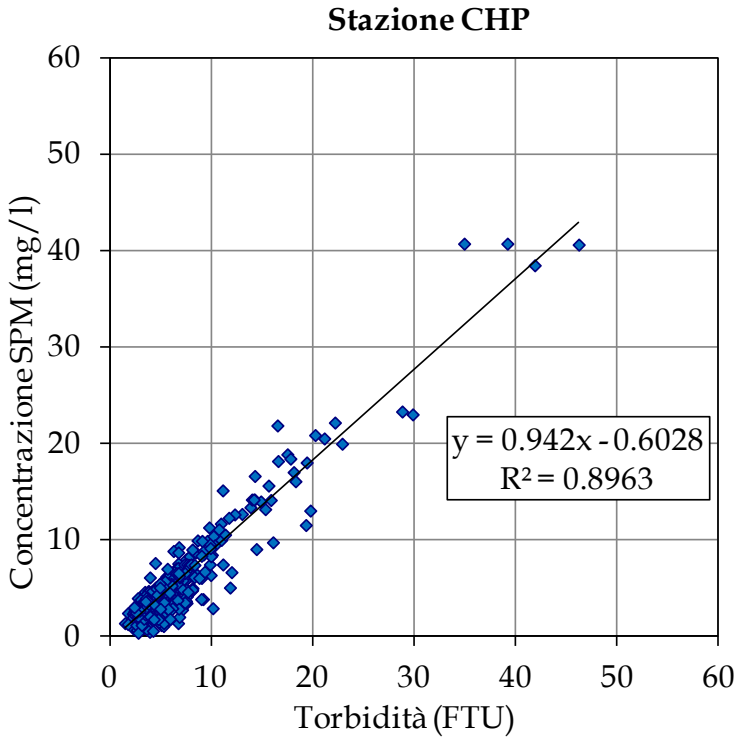
Tipologia	Stazione	Equazione e coefficiente retta di calibrazione
Stazioni in laguna	**LTP**	y = 1.0507x – 1.0999 R^2 = 0.9566
	MAP	y = 0.9300x – 1.1164 R^2 = 0.7933
	CHP	y = 0.942x – 0.6028 R^2 = 0.8963
Stazioni in bocca di porto	**LMR**	y = 0.9811x + 0.6613 R^2 = 0.9172
	LMR-2	y = 0.946x -0.1231 R^2 = 0.9249
Stazioni a mare	**LIM**	y = 0.9996– 1.0839 R^2 = 0.9051
	MAM	y = 1.0165x – 0.9234 R^2 = 0.885



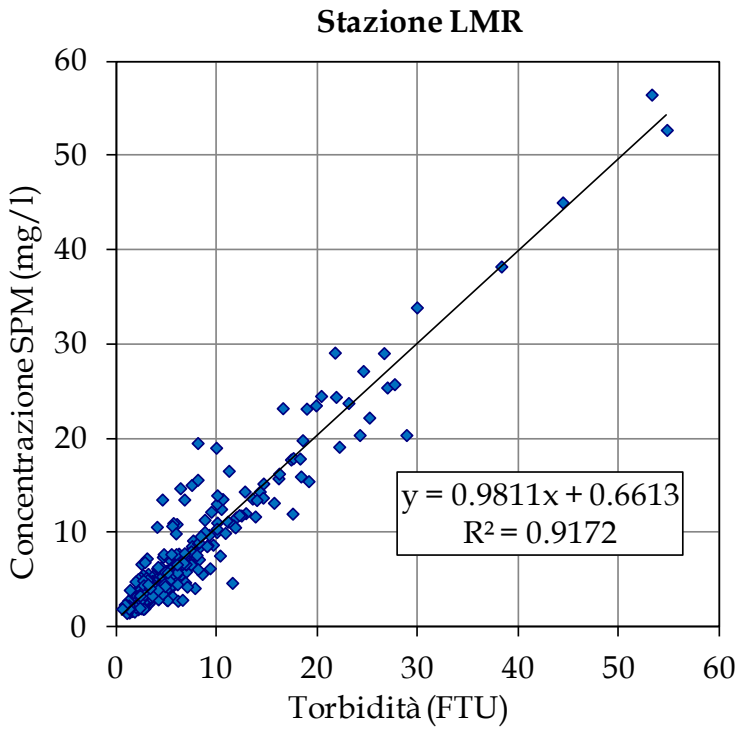
(a)


Stazione MAP
y = 0.93x - 1.1614
R² = 0.7933
Concentrazione SPM (mg/l)
Torbidità (FTU)
0
10
20
30
40
50
60

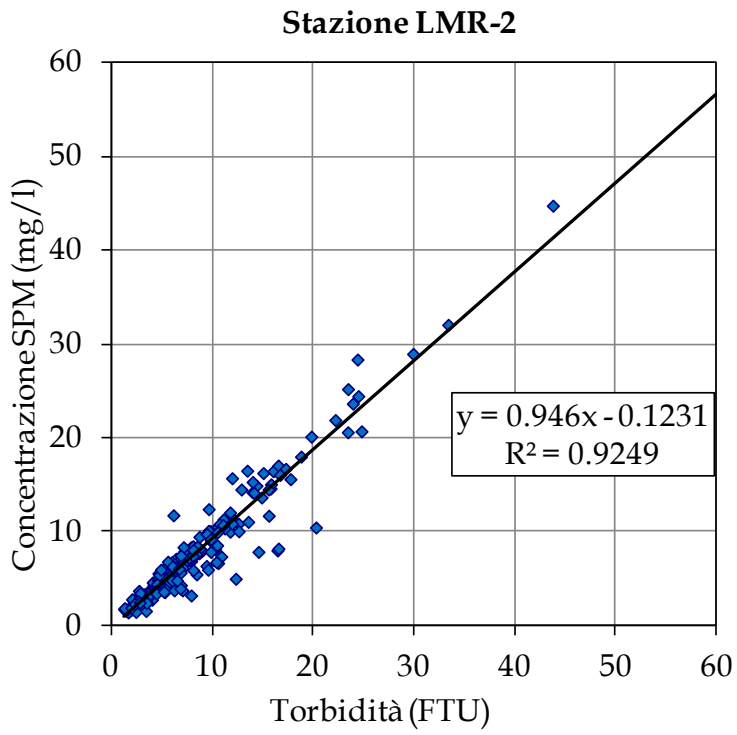
(b)


Stazione CHP
y = 0.942x - 0.6028
R² = 0.8963
Concentrazione SPM (mg/l)
Torbidità (FTU)
0
10
20
30
40
50
60

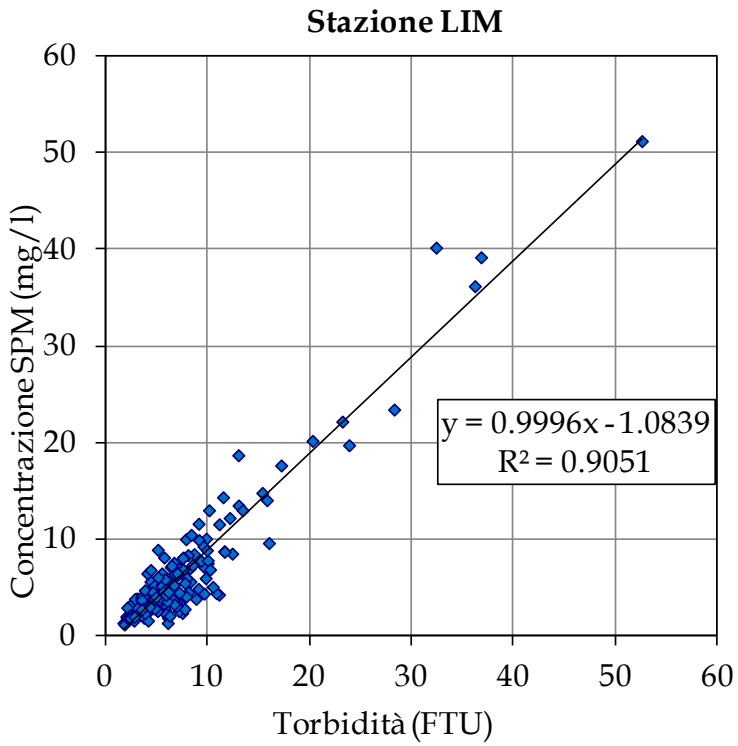
(c)


Stazione LMR
Concentrazione SPM (mg/l)
Torbidità (FTU)
y = 0.9811x + 0.6613
R² = 0.9172
0
10
20
30
40
50
60

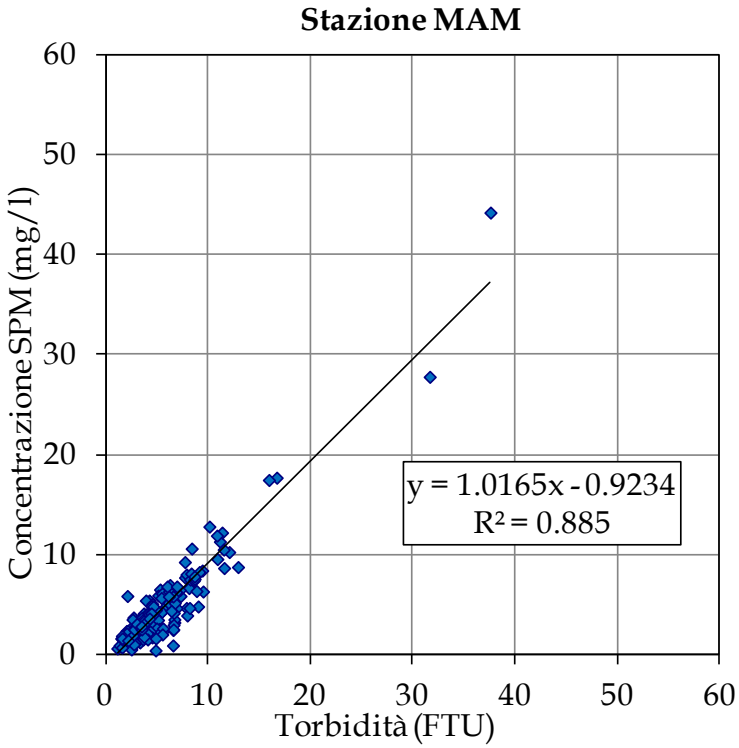
(d)


Stazione LMR-2
Concentrazione SPM (mg/l)
Torbidità (FTU)
y = 0.946x - 0.1231
R² = 0.9249
0
10
20
30
40
50
60

(e)



(f)



(g)

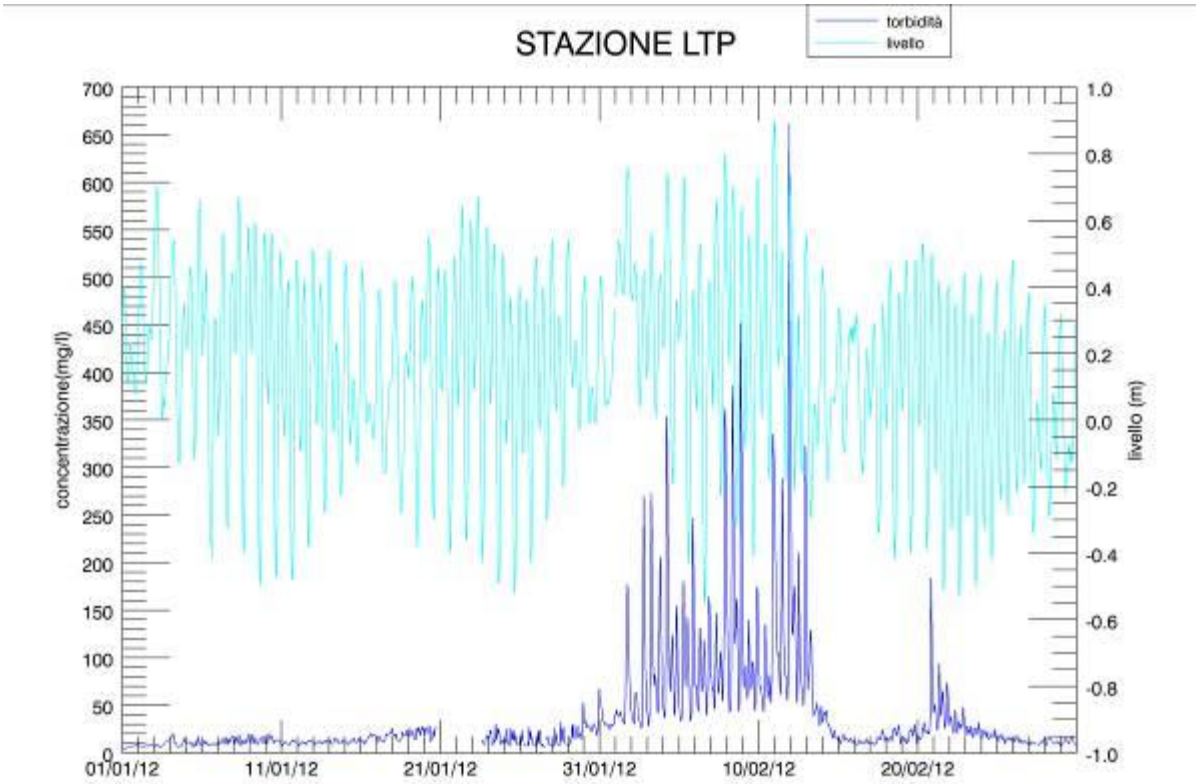
Figura 3.3. Diagrammi di regressione fra la torbidità registrata dalle sonde ed i corrispondenti valori di concentrazione di SPM nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione. Le rette di regressione sono state calcolate includendo tutti i valori disponibili fino ad Aprile 2012.

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 minore correlazione tra valori misurati e campioni prelevati, probabilmente dovuta alla frequente presenza, davanti alle finestre ottiche del sensore, di ostruzioni parziali. 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). Tale intervento è stato effettuato per ognuna delle sonde che presentavano evidenti anomalie e viene comunque ripetuto ogni qual volta le sonde rientrano presso il laboratorio per interventi di riparazione.

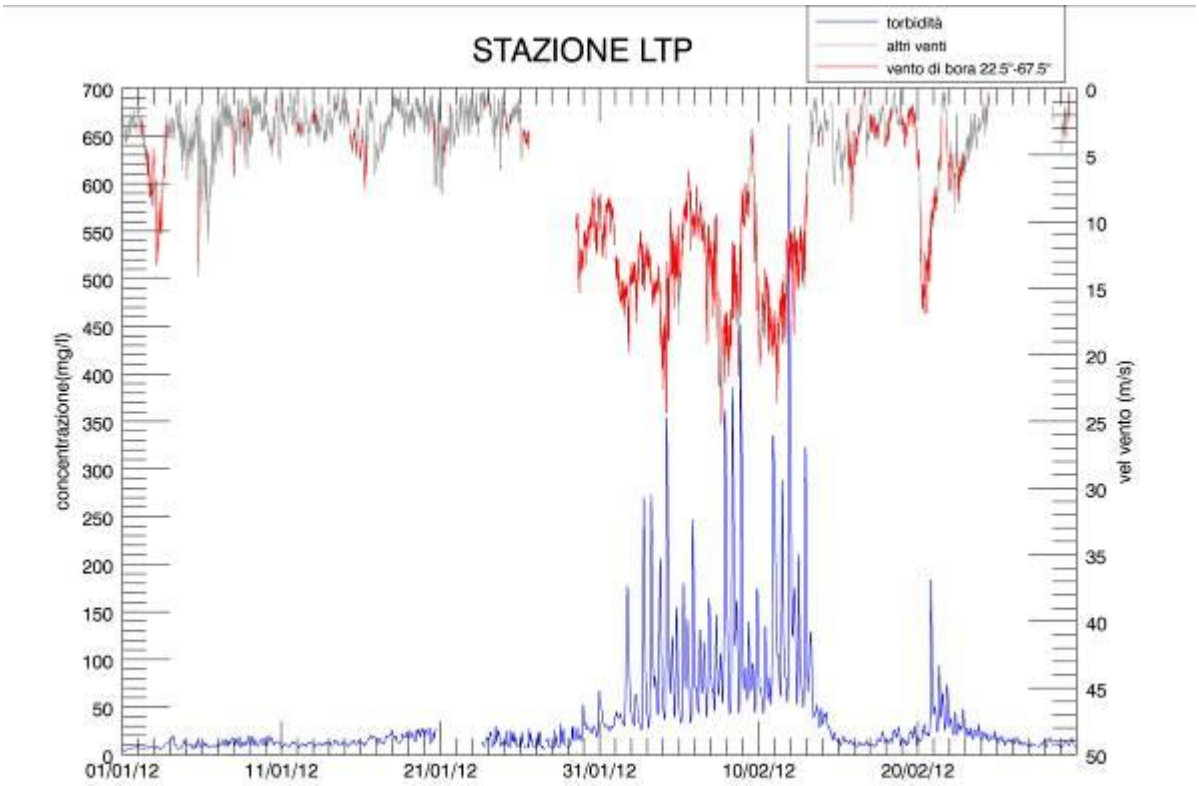
3.2 Serie temporali della concentrazione del particellato solido sospeso (SPM)

Le serie temporali del periodo Gennaio-Aprile 2012 sono incluse nei files del database allegato al presente Rapporto.

Di seguito vengono presentate due tipologie di elaborati grafici: nella prima (da Figura 3.4 (a) a Figura 3.17 (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, Diga Sud di Lido, Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia), mentre nella seconda (da Figura 3.4 (b) a Figura 3.17 (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.

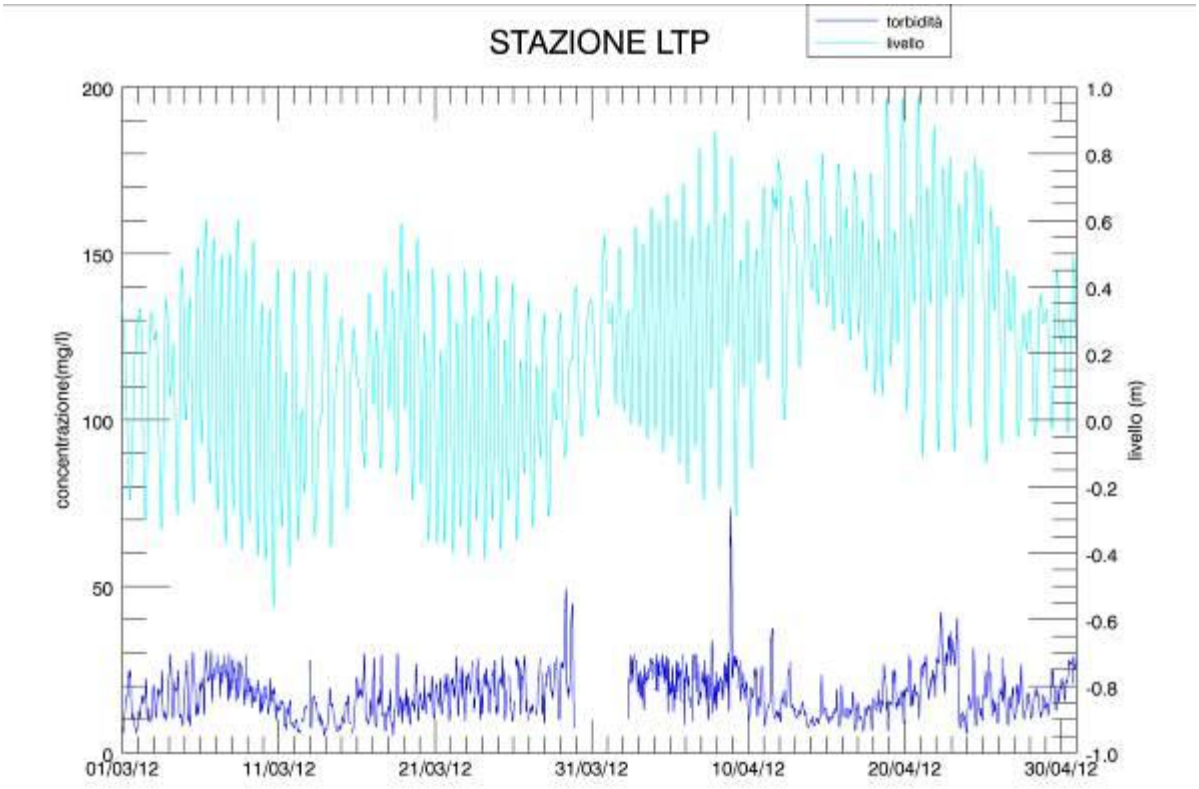


(a)

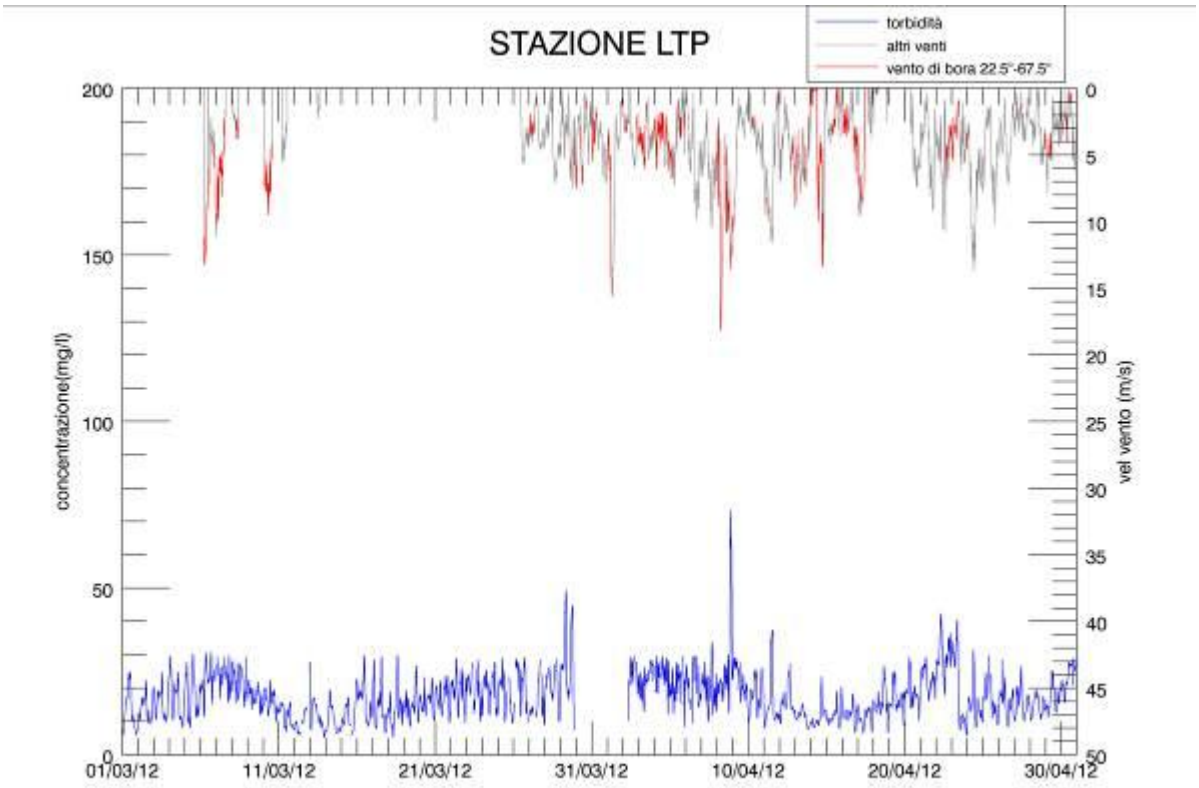


(b)

Figura 3.4. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LTP nel periodo Gennaio-Febbraio 2012.

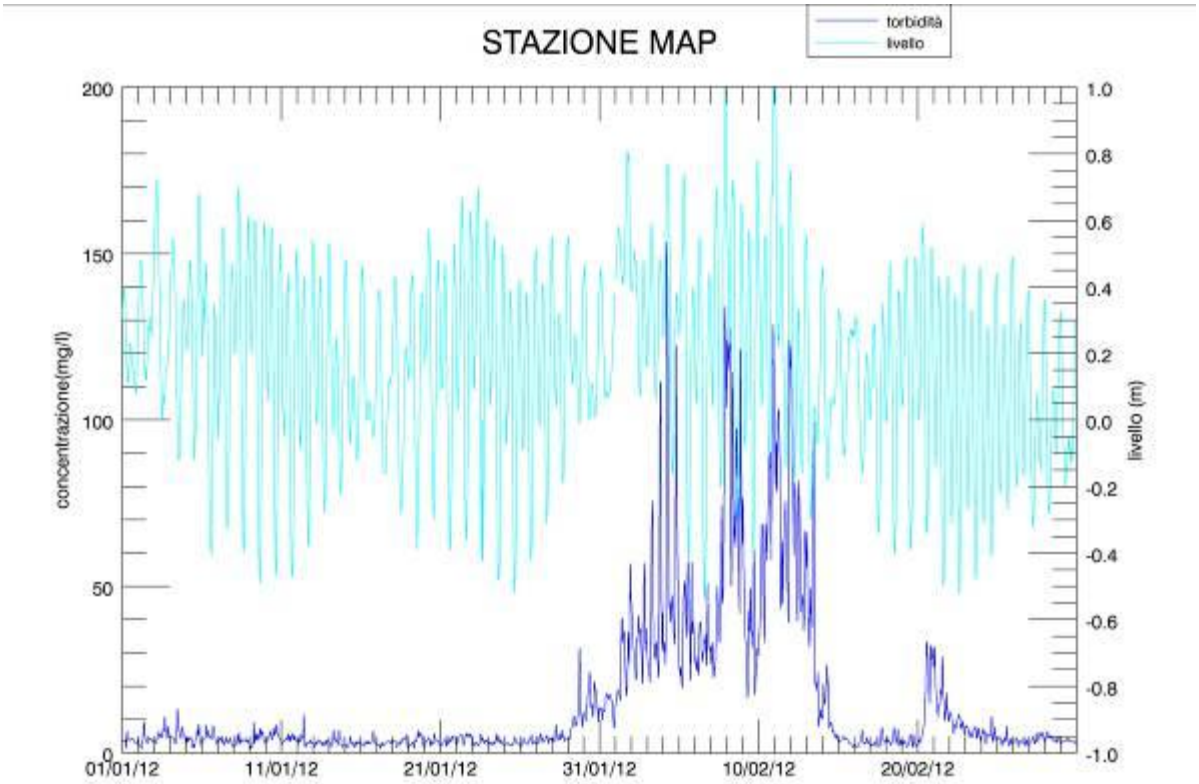


(a)

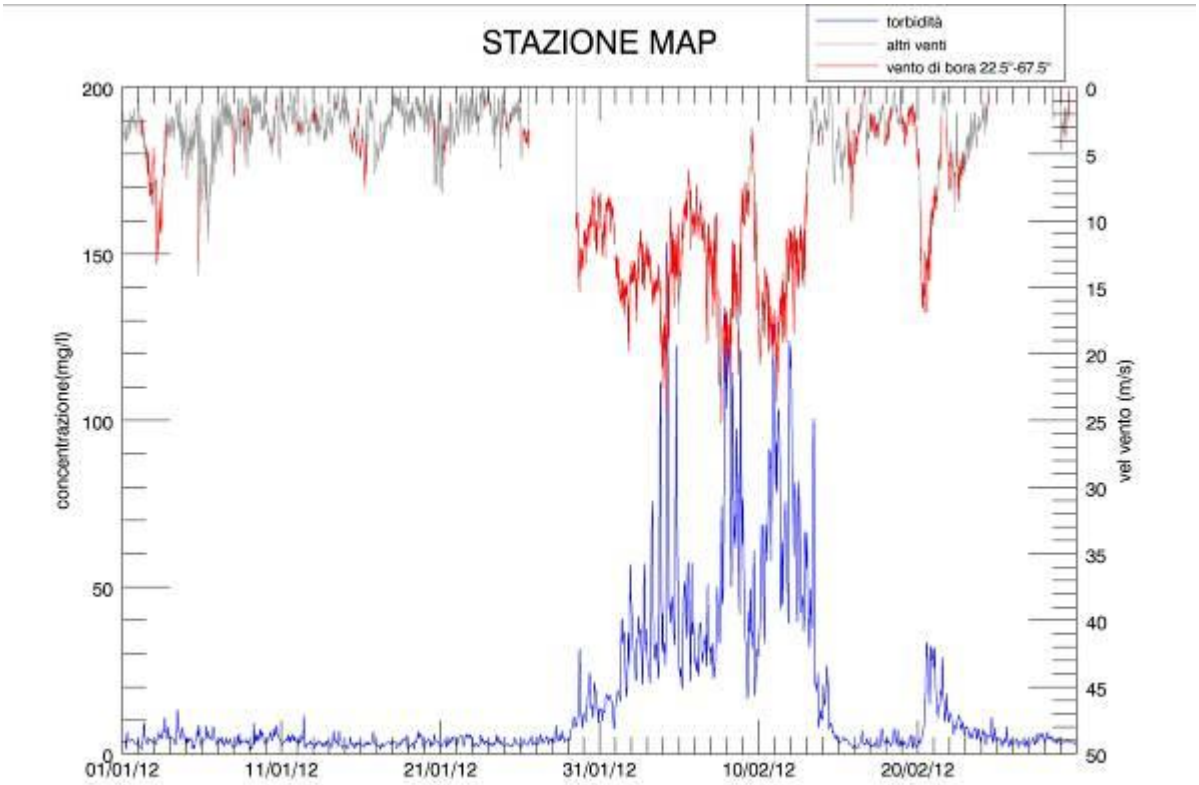


(b)

Figura 3.5. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LTP nel periodo Marzo-Aprile 2012.

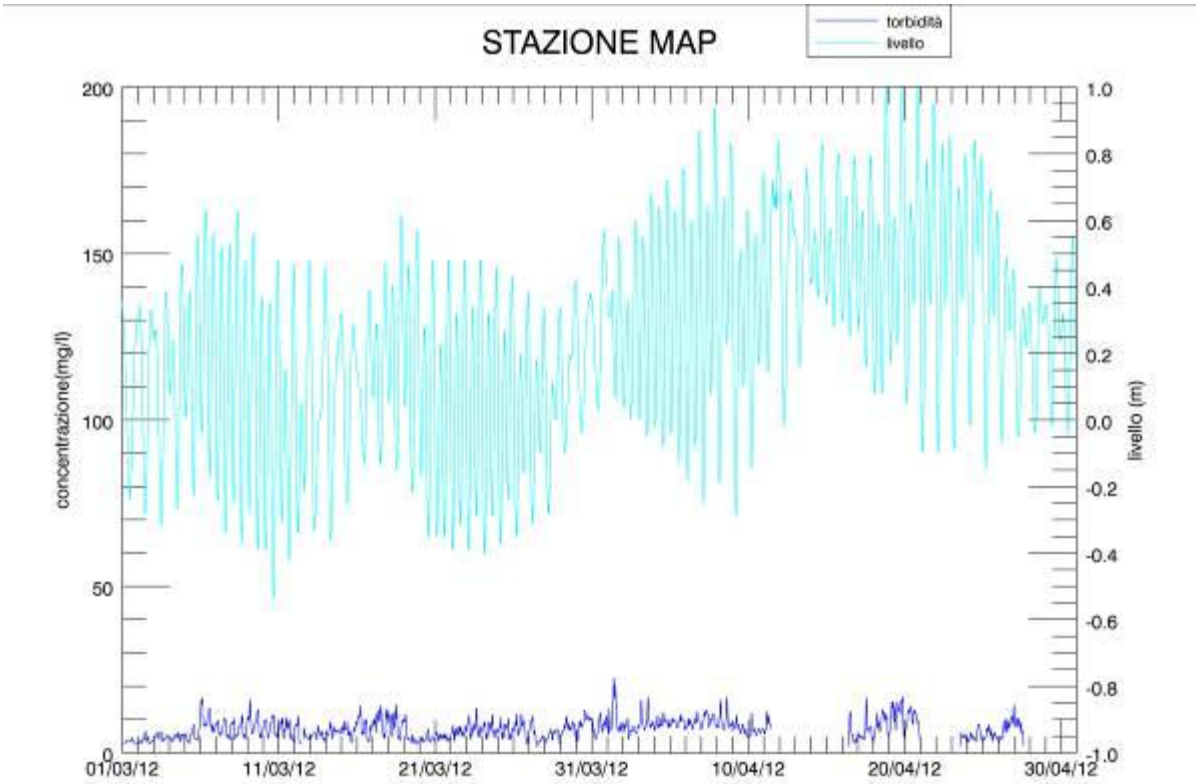


(a)

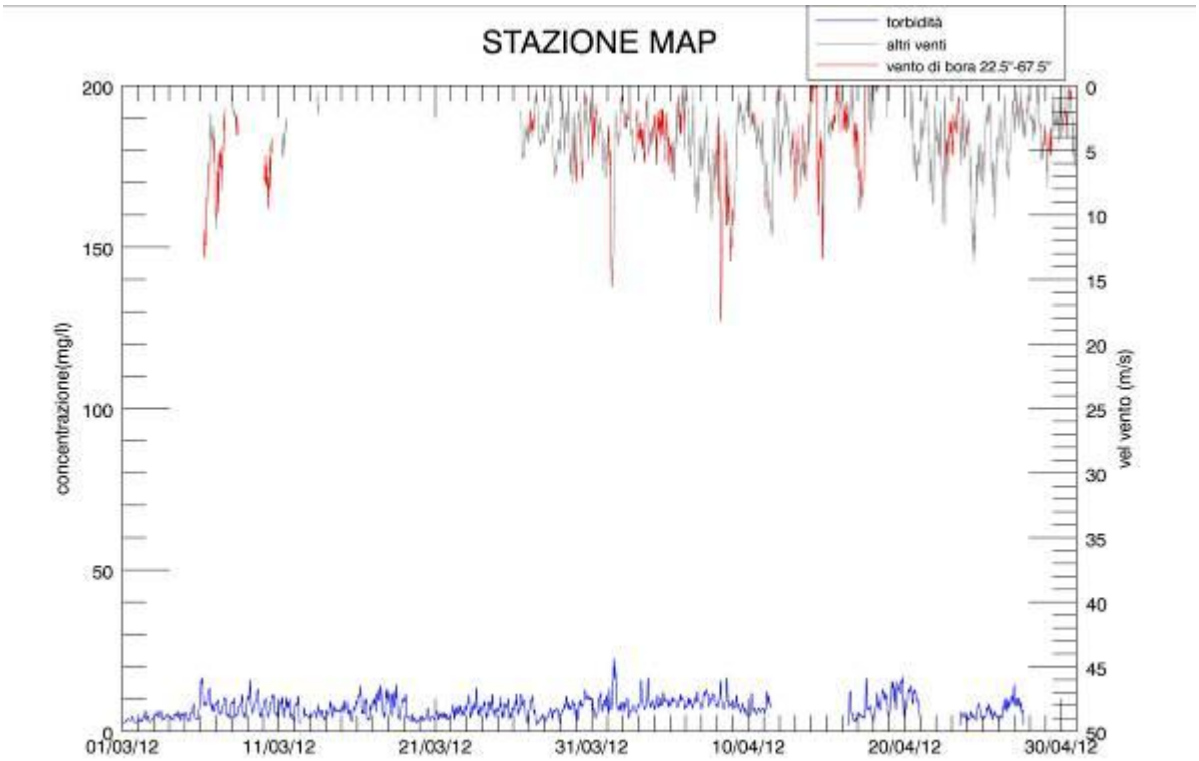


(b)

Figura 3.6. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAP nel periodo Gennaio-Febbraio 2012.

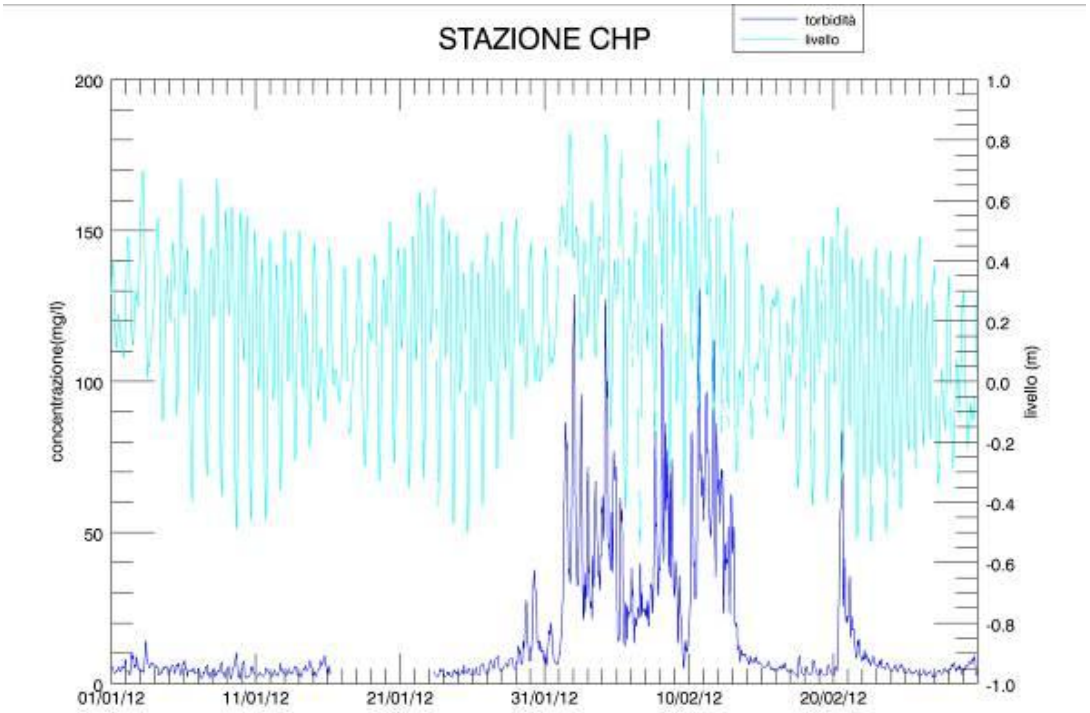


(a)

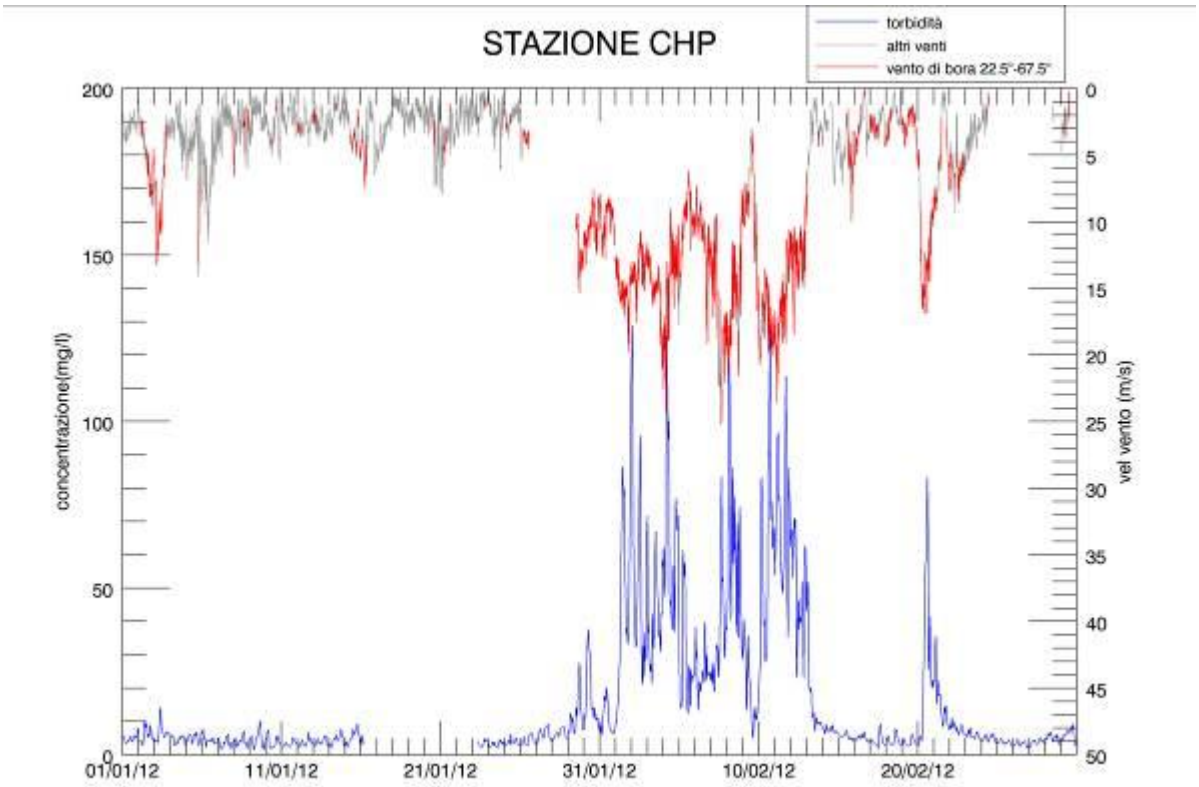


(b)

Figura 3.7. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAP nel periodo Marzo-Aprile 2012.

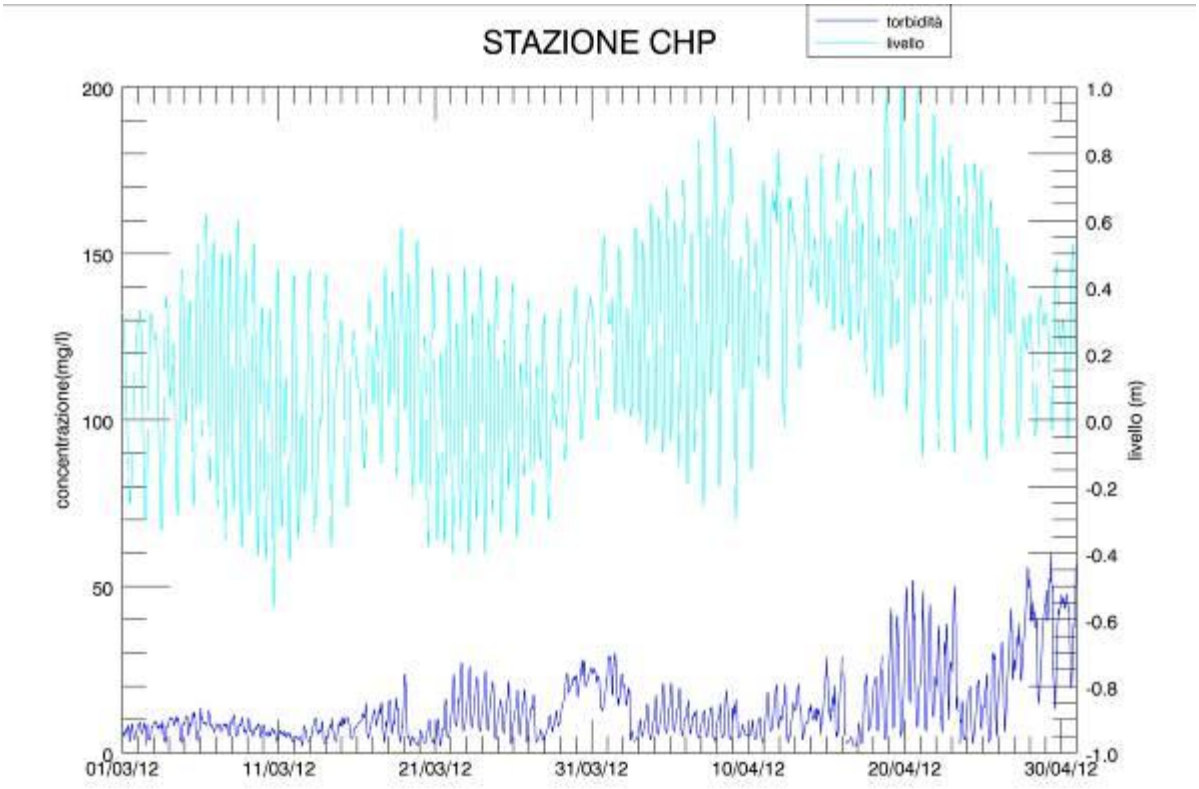


(a)

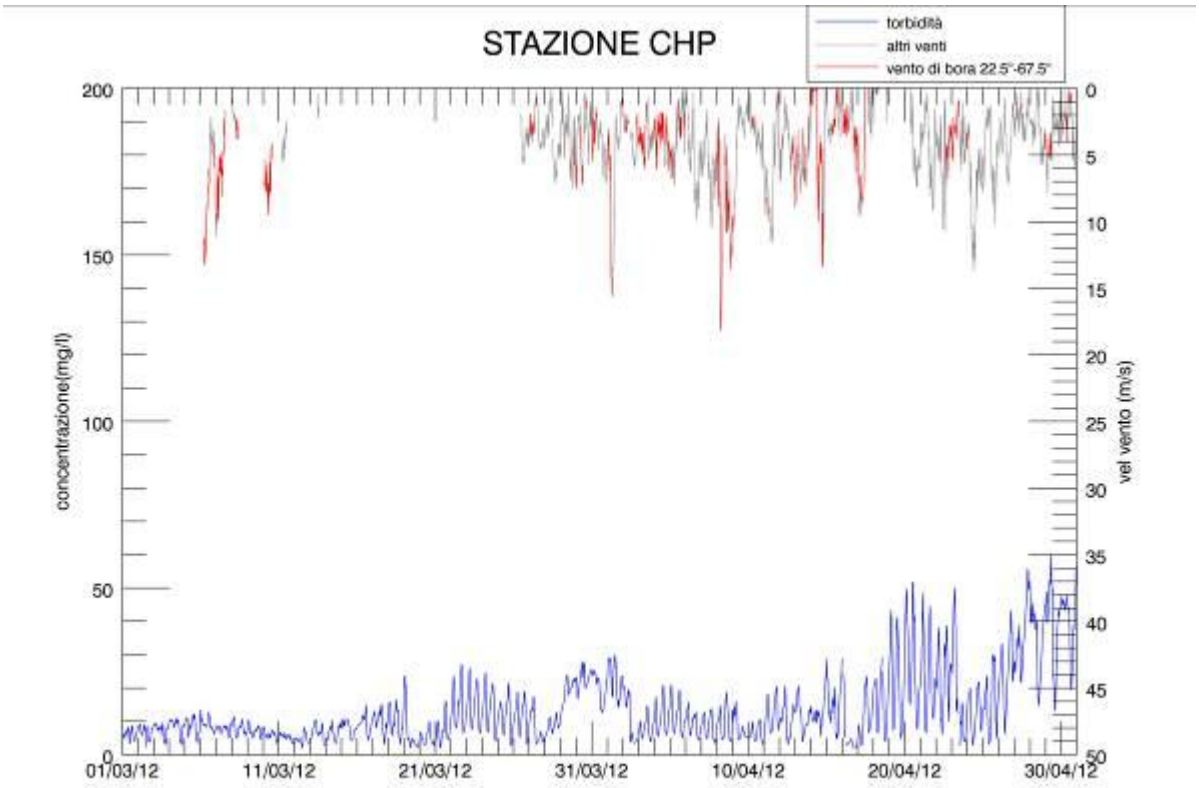


(b)

Figura 3.8. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHP nel periodo Gennaio-Febbraio 2012.

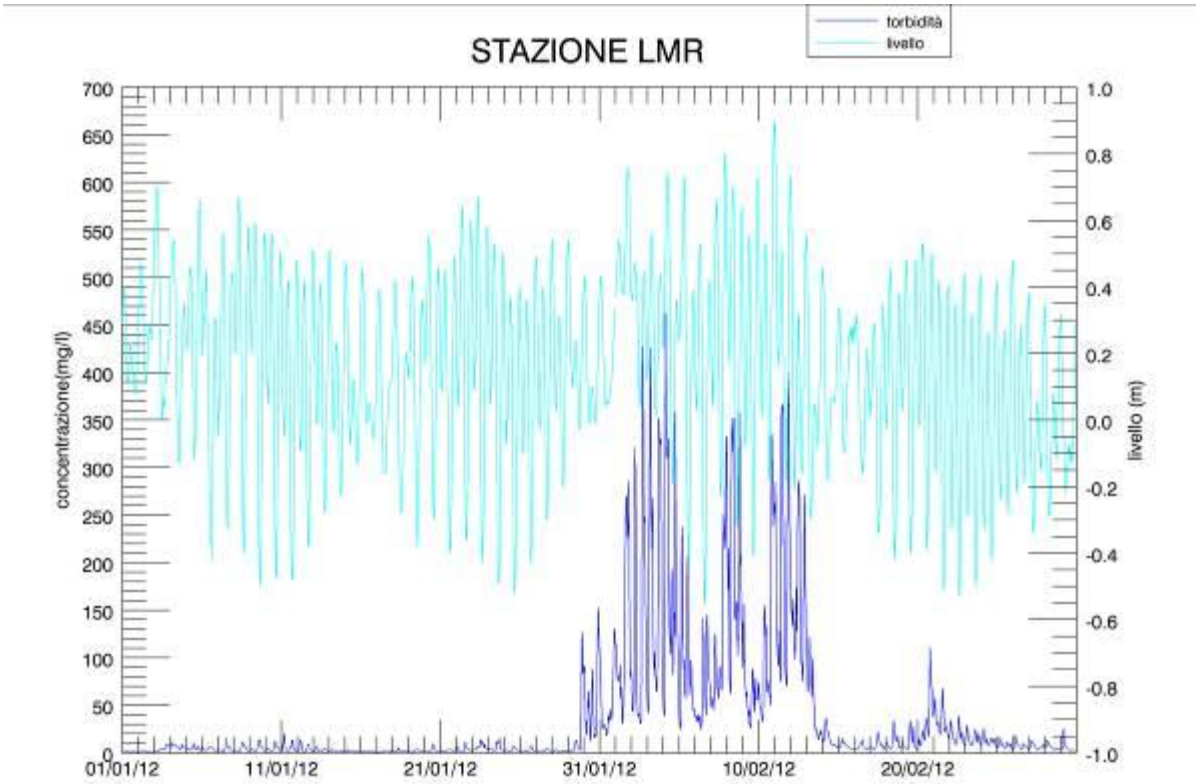


(a)

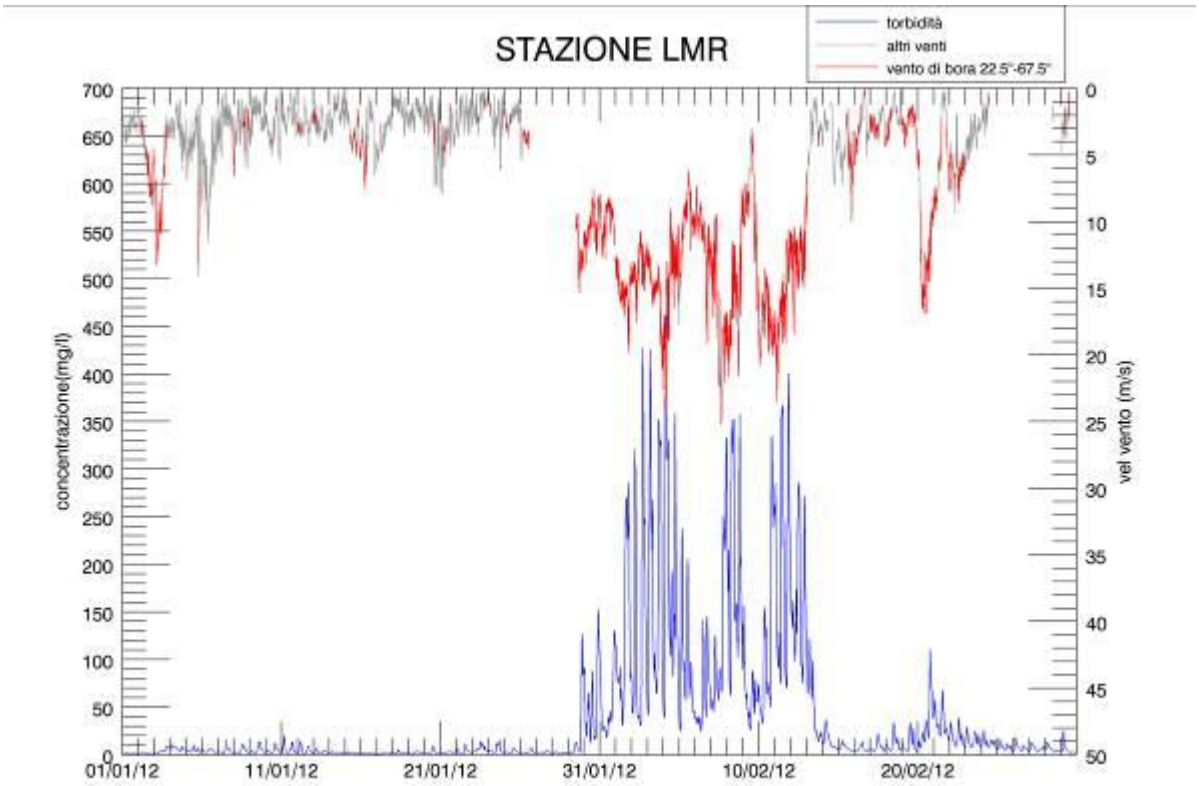


(b)

Figura 3.9. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione CHP nel periodo Marzo-Aprile 2012.

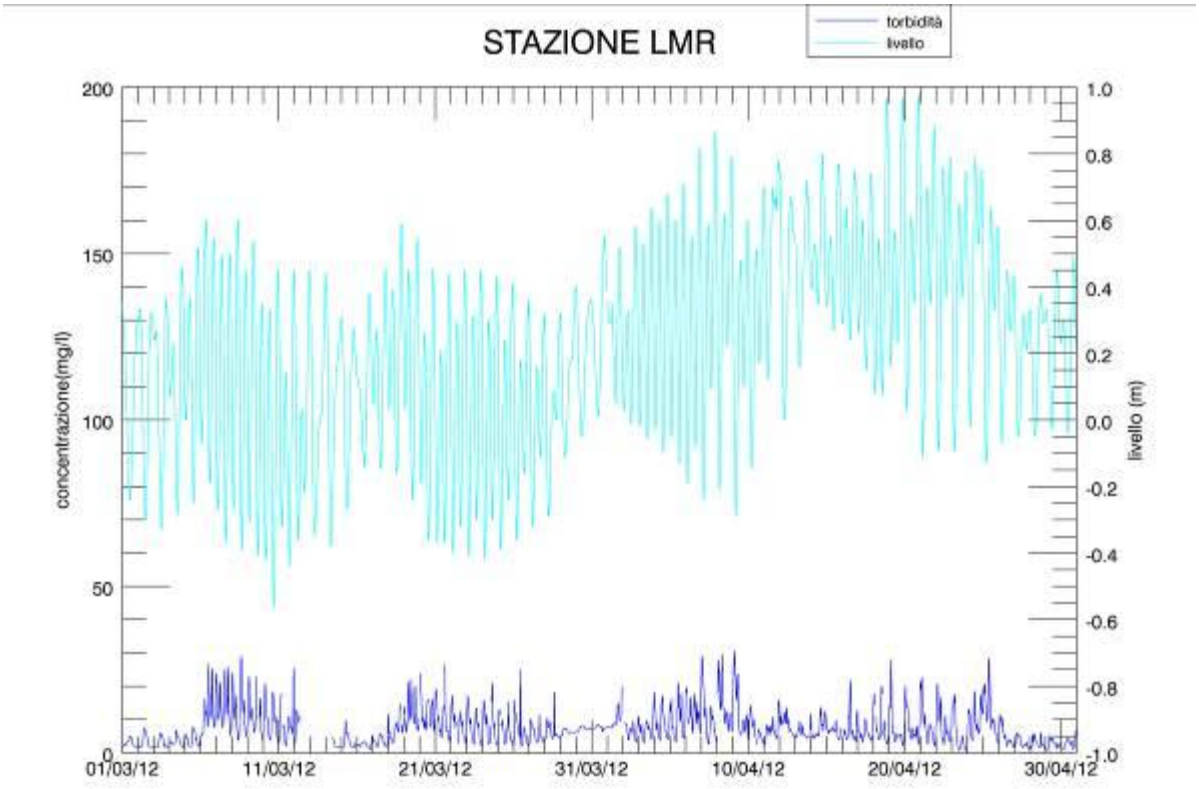


(a)

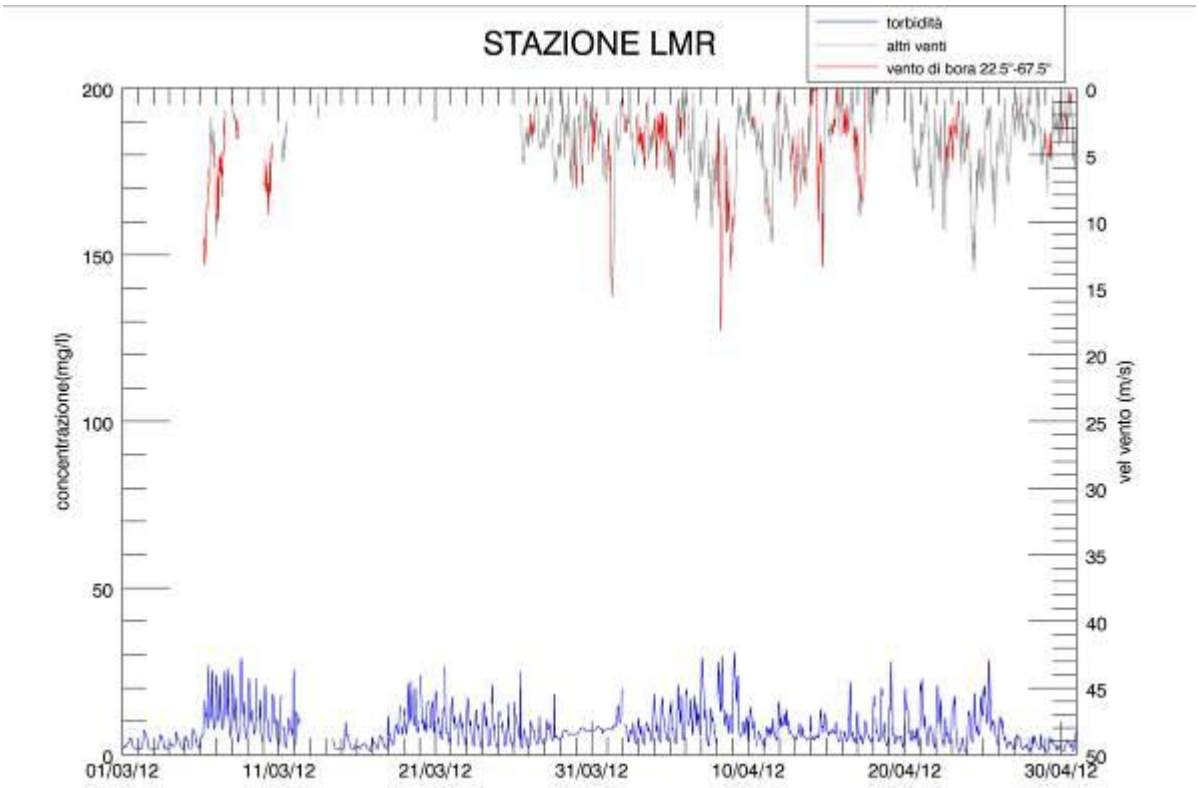


(b)

Figura 3.10. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LMR nel periodo Gennaio-Febbraio 2012.

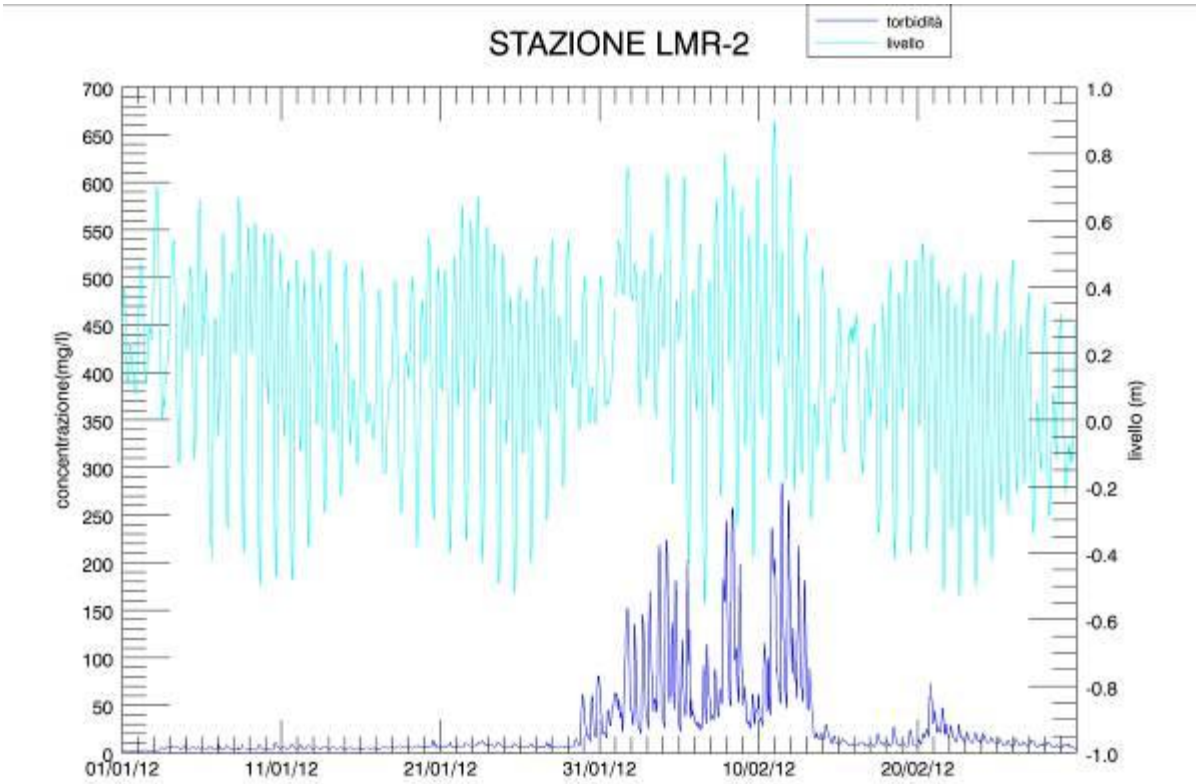


(a)

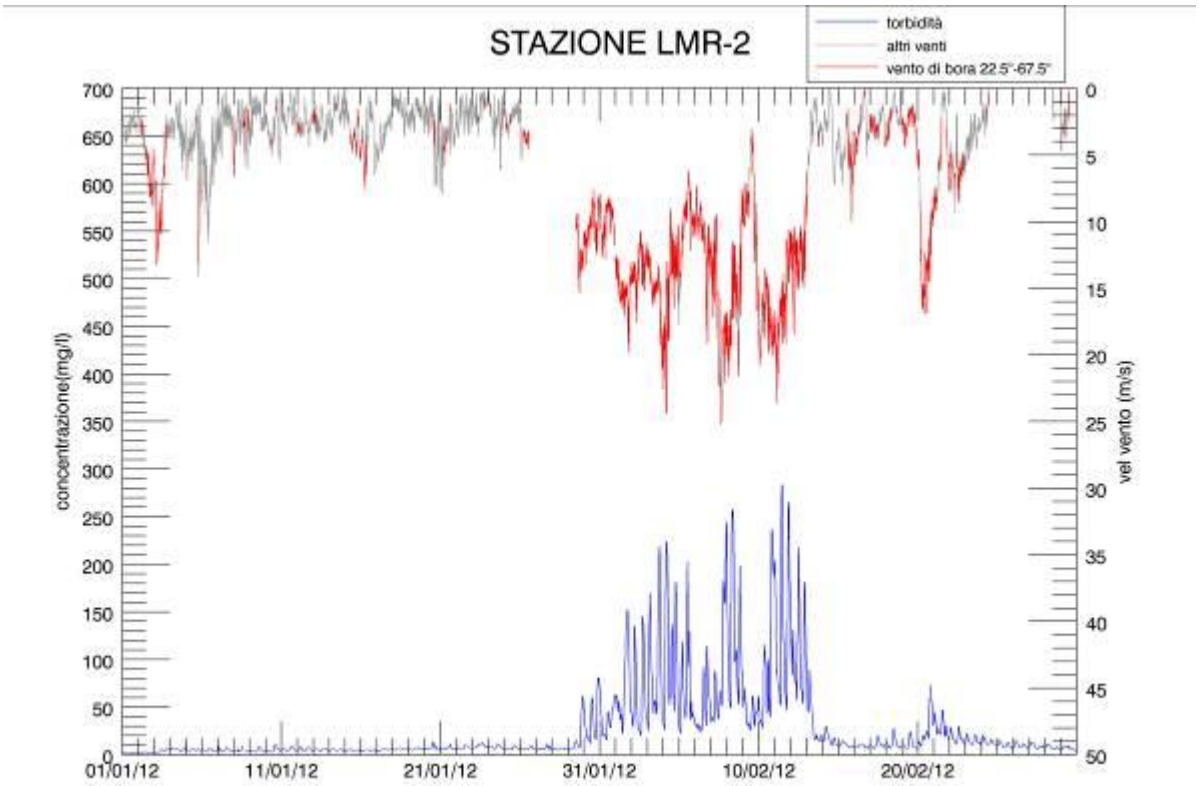


(b)

Figura 3.11. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LMR nel periodo Marzo-Aprile 2012.

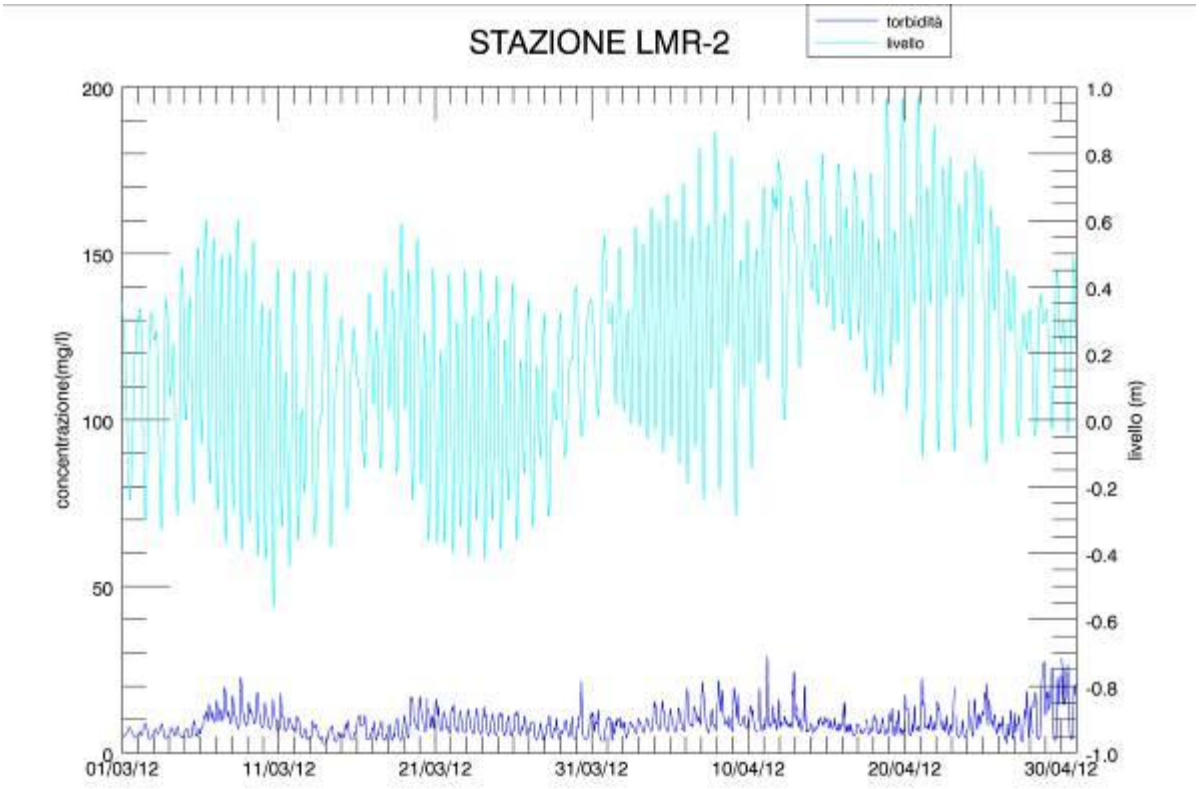


(a)

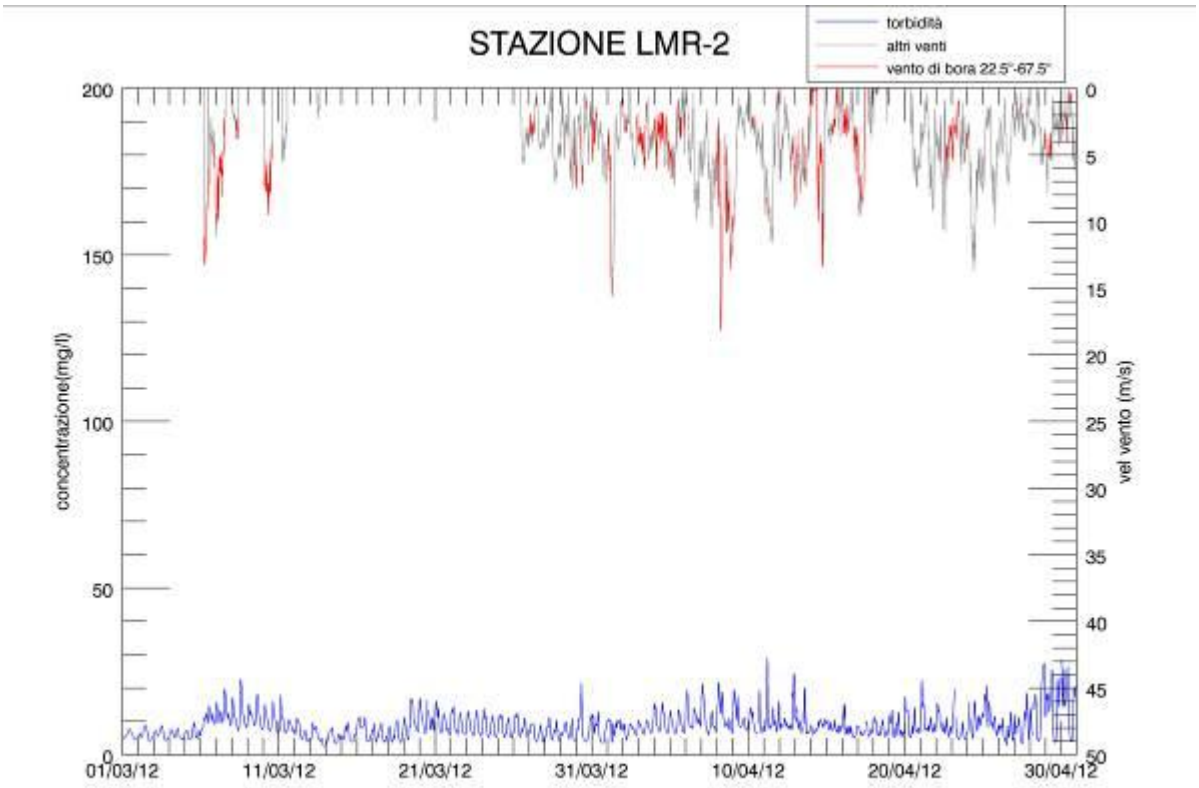


(b)

Figura 3.12. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LMR-2 nel periodo Gennaio-Febbraio 2012.

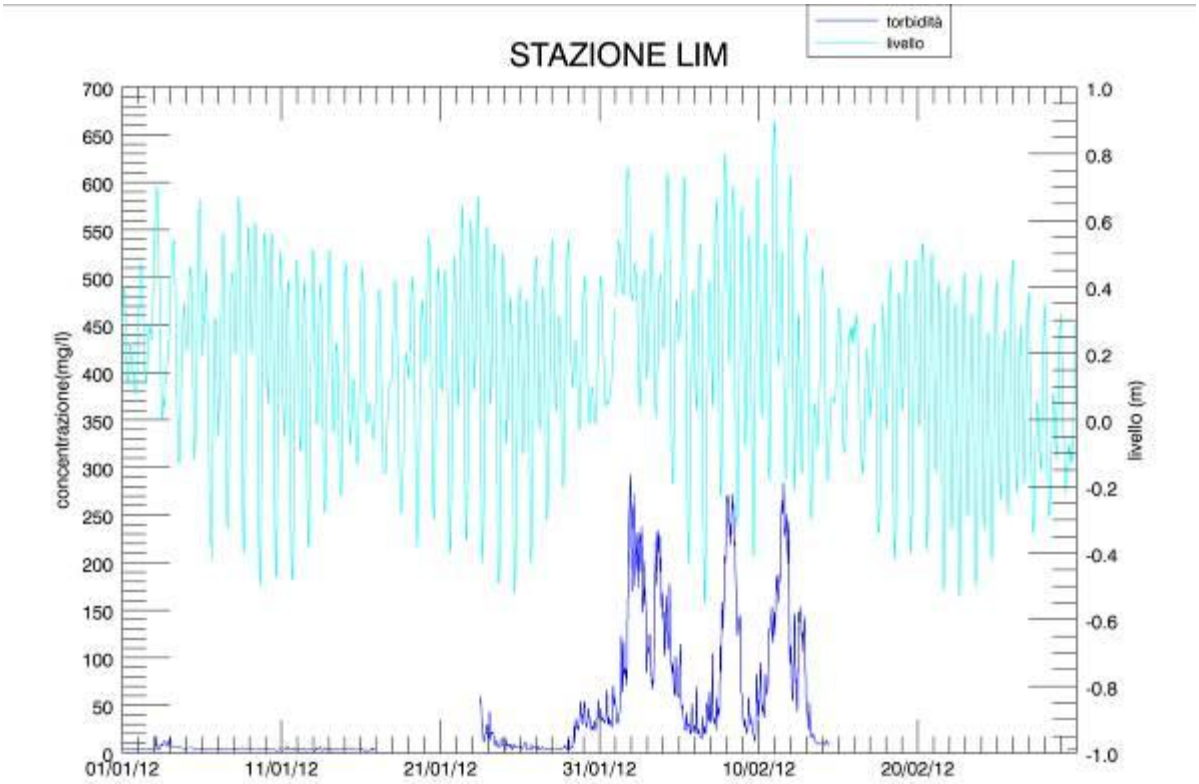


(a)

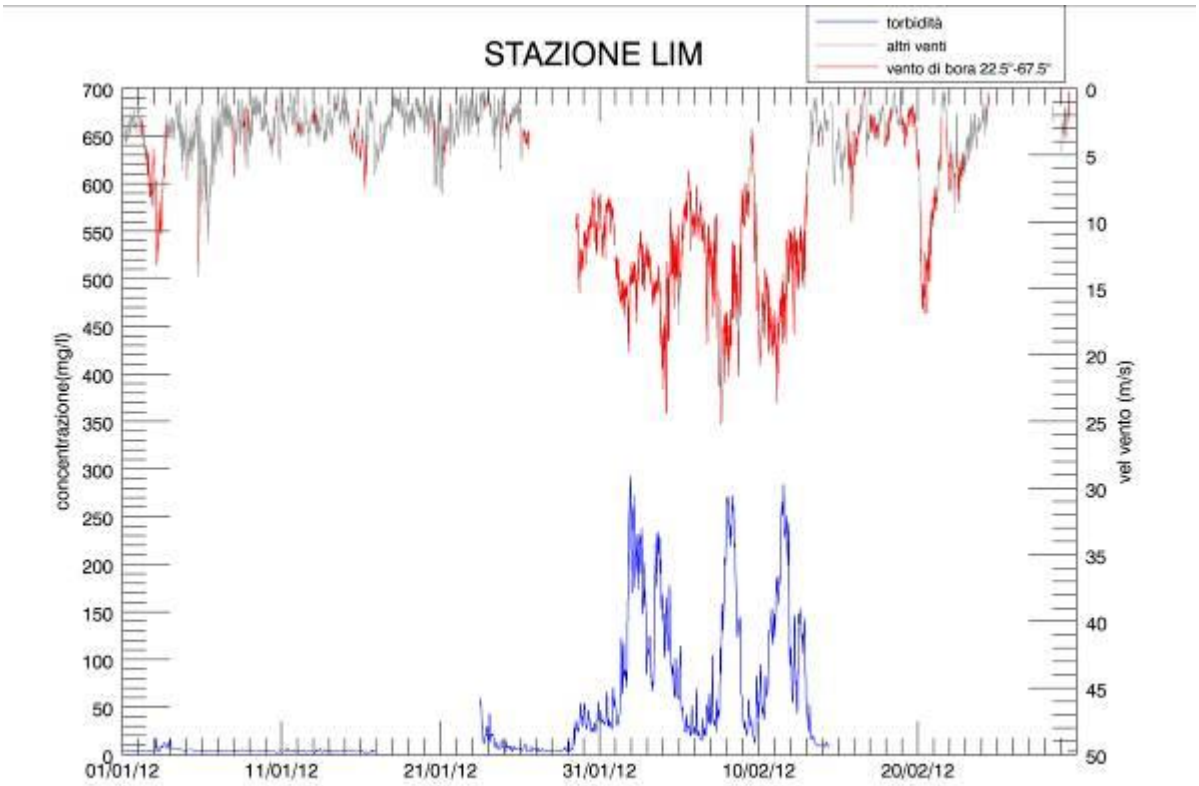


(b)

Figura 3.13. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LMR-2 nel periodo Marzo-Aprile 2012.

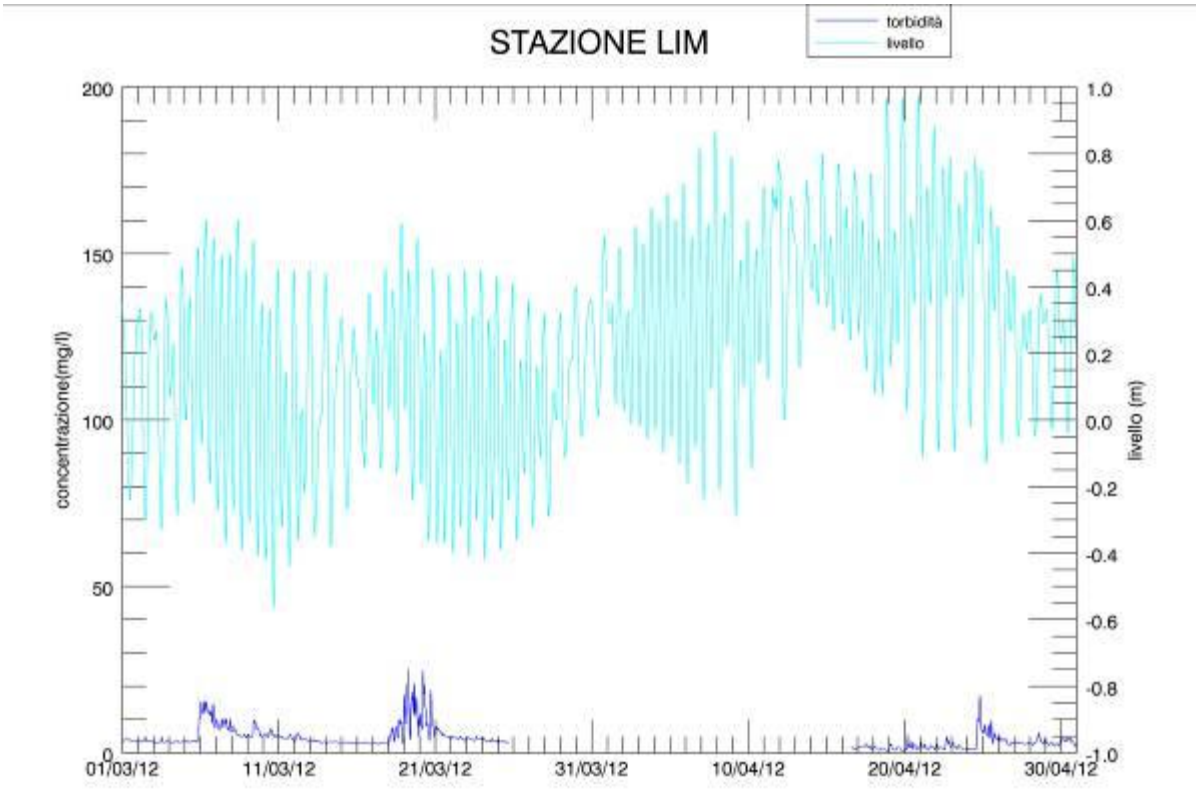


(a)

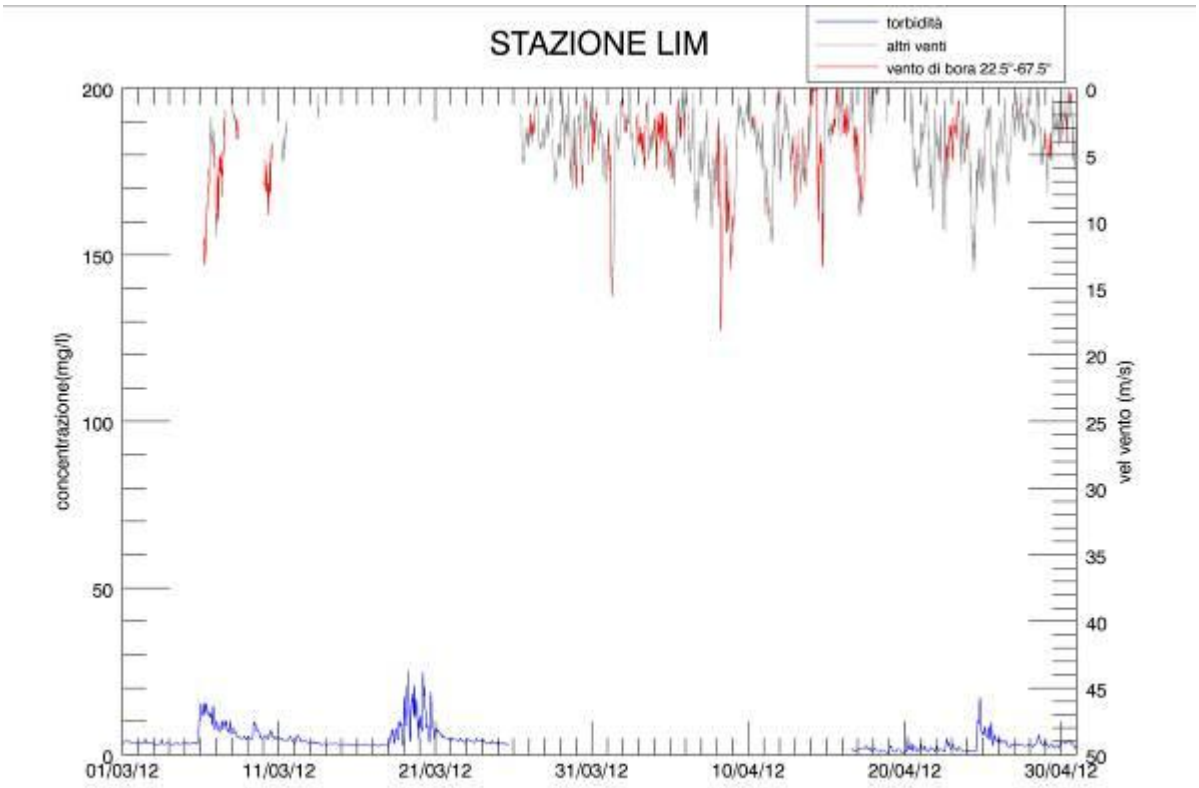


(b)

Figura 3.14. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LIM nel periodo Gennaio-Febbraio 2012.

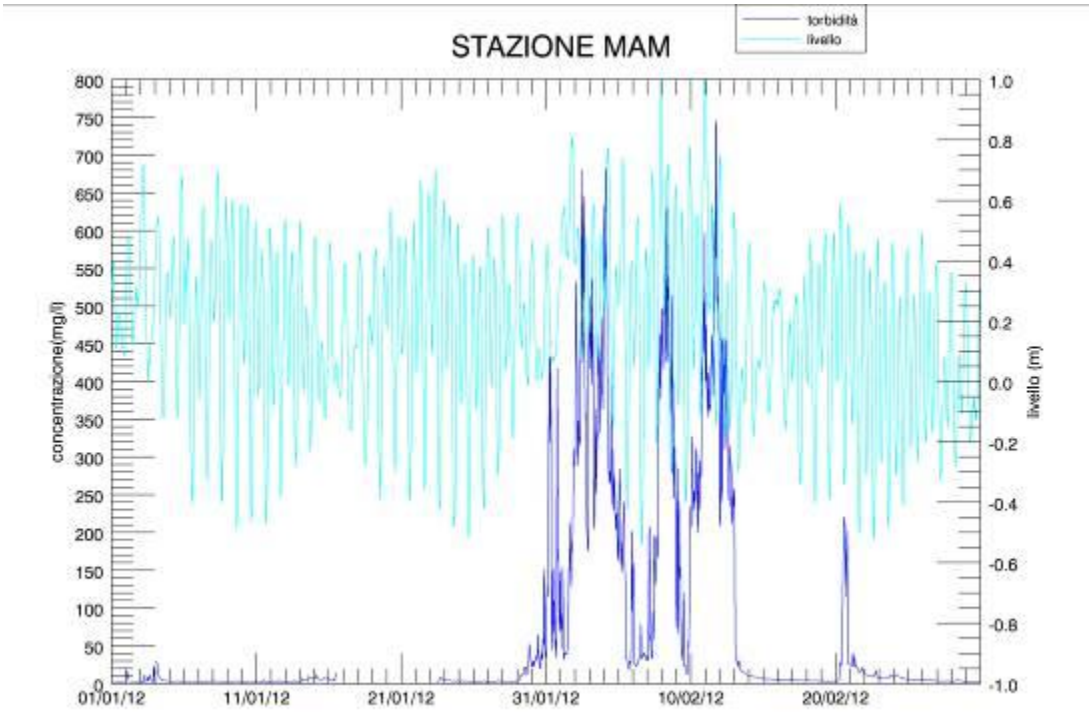


(a)

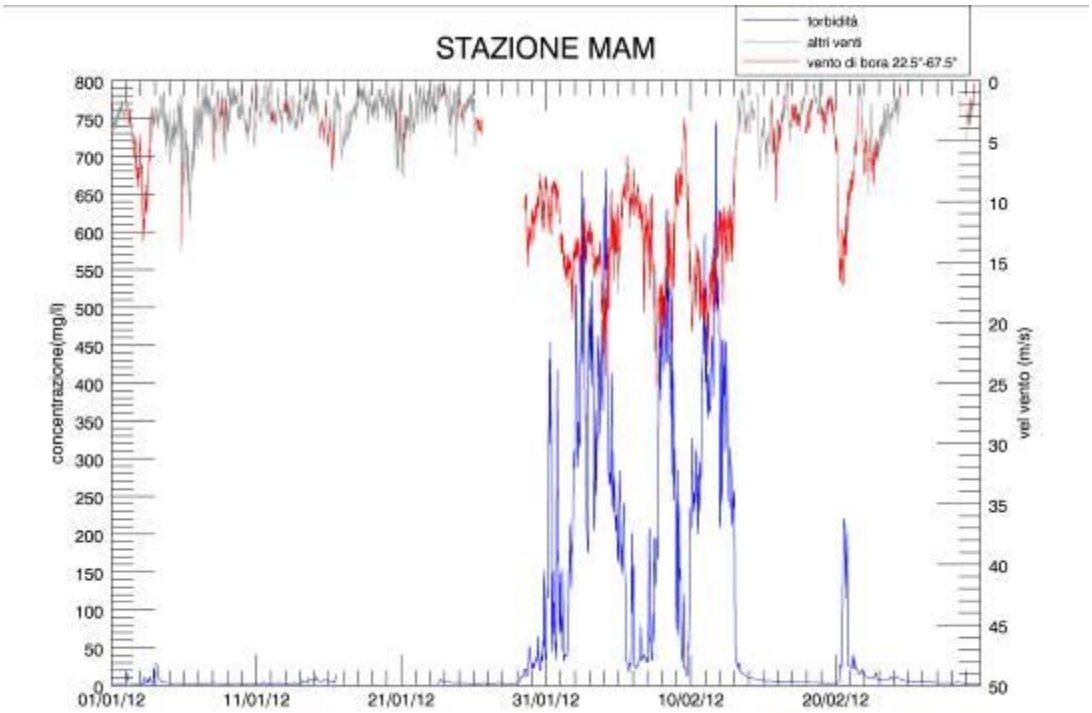


(b)

Figura 3.15. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione LIM nel periodo Marzo-Aprile 2012.

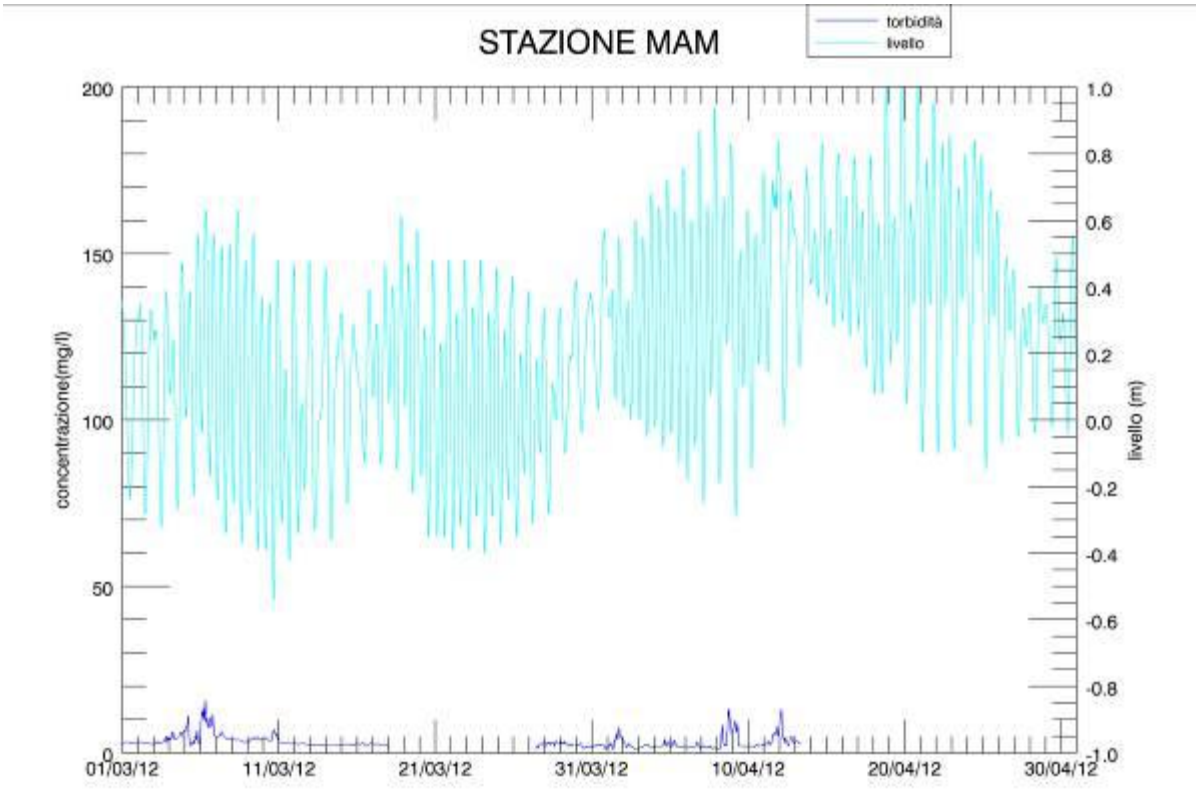


(a)

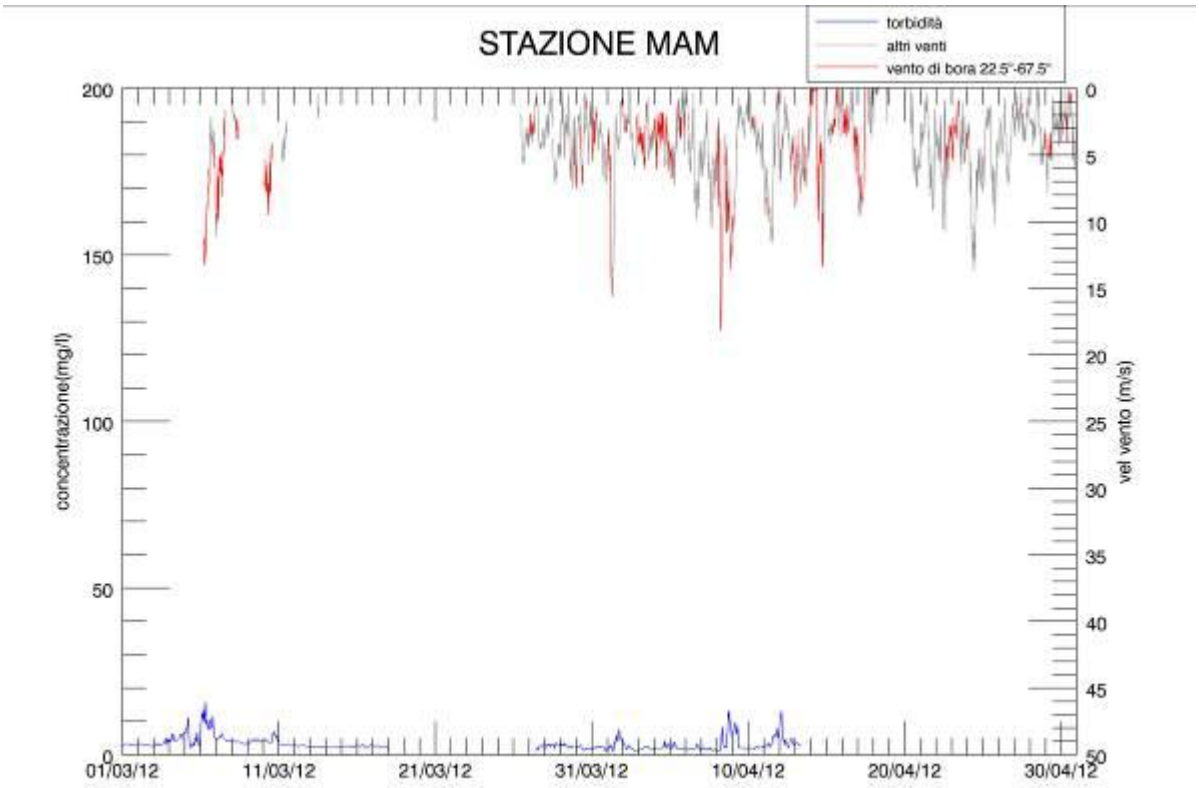


(b)

Figura 3.16. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAM nel periodo Gennaio-Febbraio 2012.



(a)



(b)

Figura 3.17. Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (a) e della velocità del vento (b) alla stazione MAM nel periodo Marzo-Aprile 2012.

Vista la mancanza di dati relativi alla velocità del vento misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR per il mese di Marzo 2012 si riportano anche i grafici con i dati della stazione posta presso la diga sud della bocca di porto di Lido facente parte della Rete Mareografica Nazionale (da Figura 3.18 a Figura 3.24).

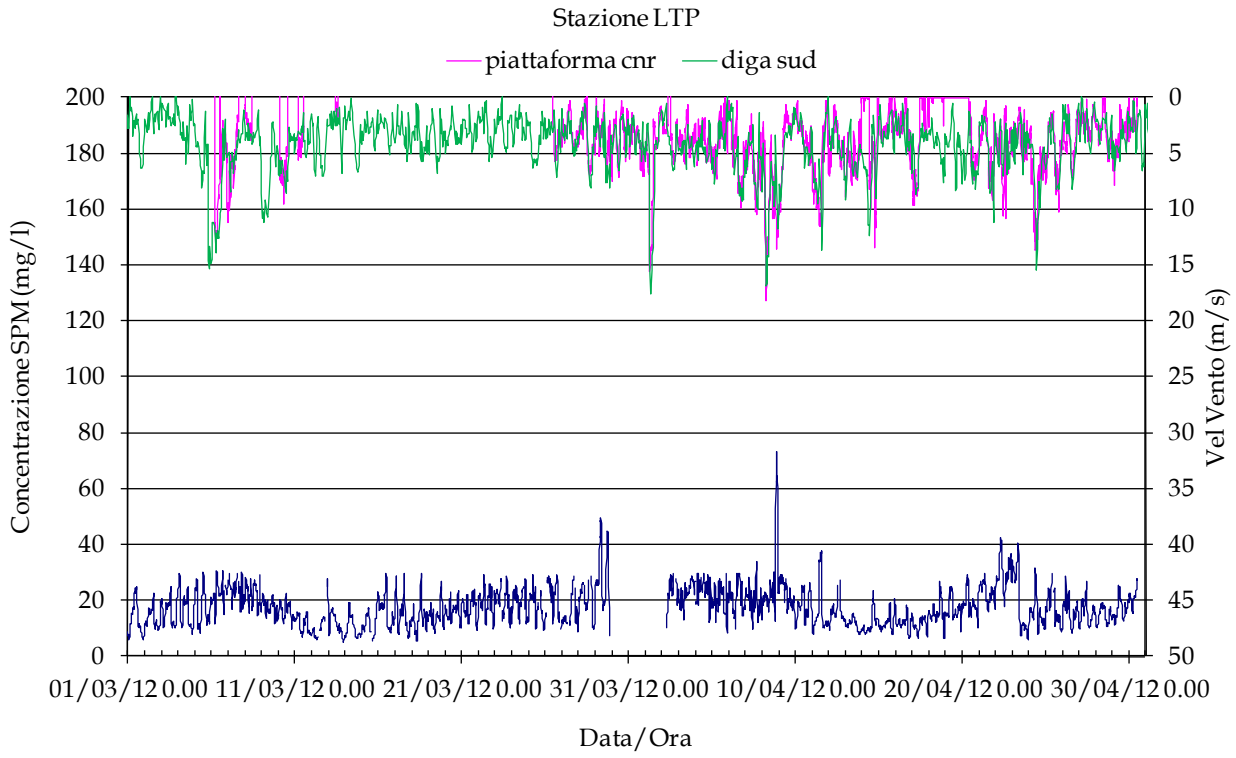


Figura 3.18. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione LTP nel periodo Marzo-Aprile 2012.

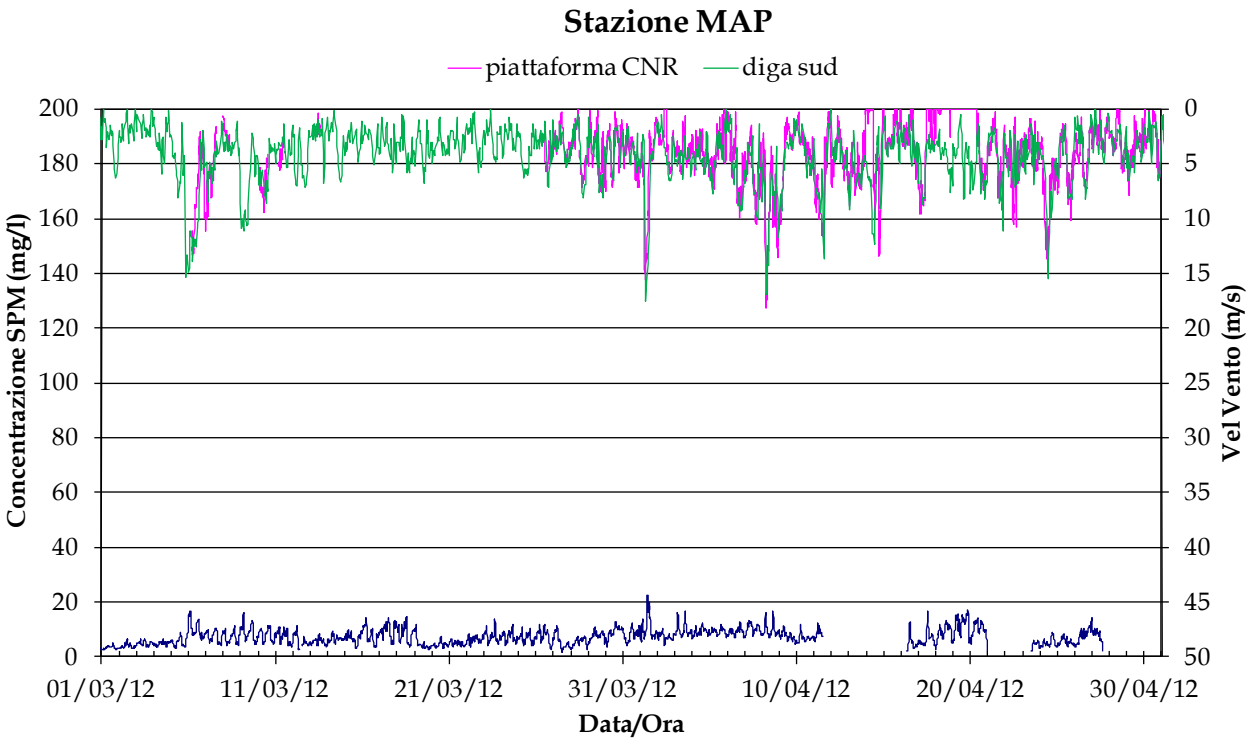


Figura 3.19. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione MAP nel periodo Marzo-Aprile 2012.

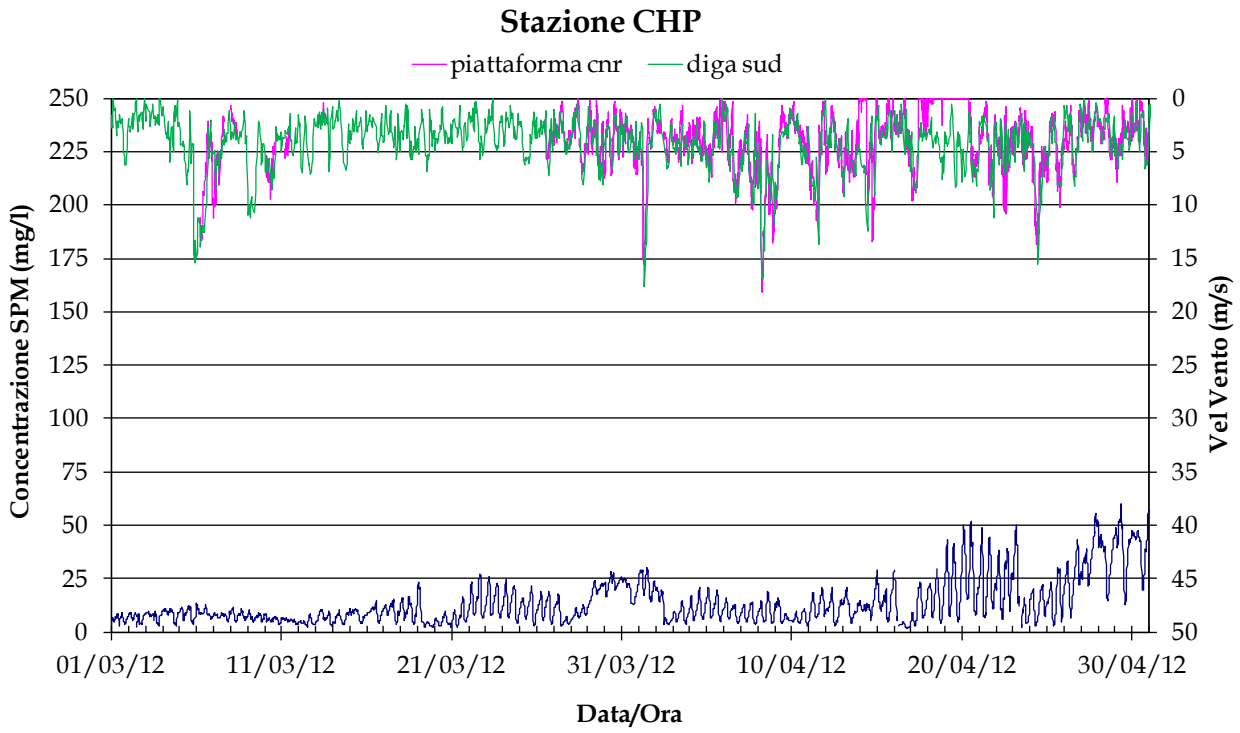


Figura 3.20. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione CHP nel periodo Marzo-Aprile 2012.

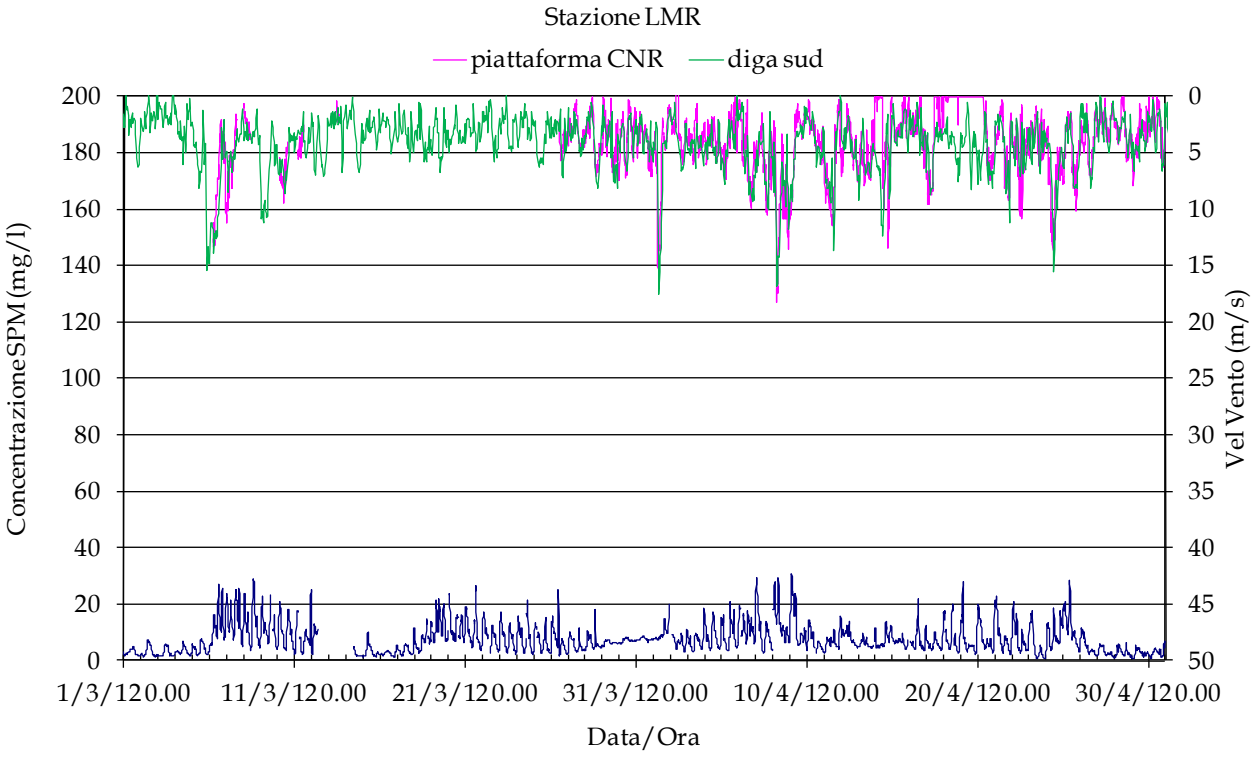


Figura 3.21. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione LMR nel periodo Marzo-Aprile 2012.

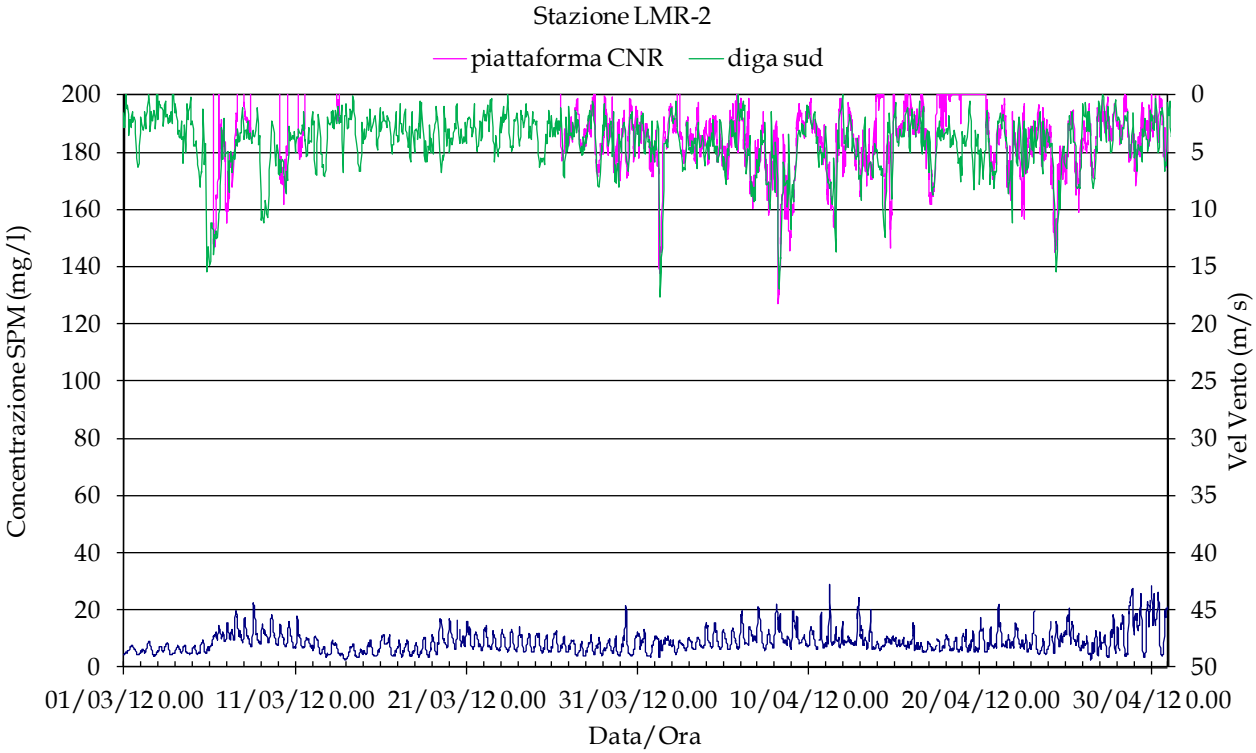


Figura 3.22. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione LMR-2 nel periodo Marzo-Aprile 2012.

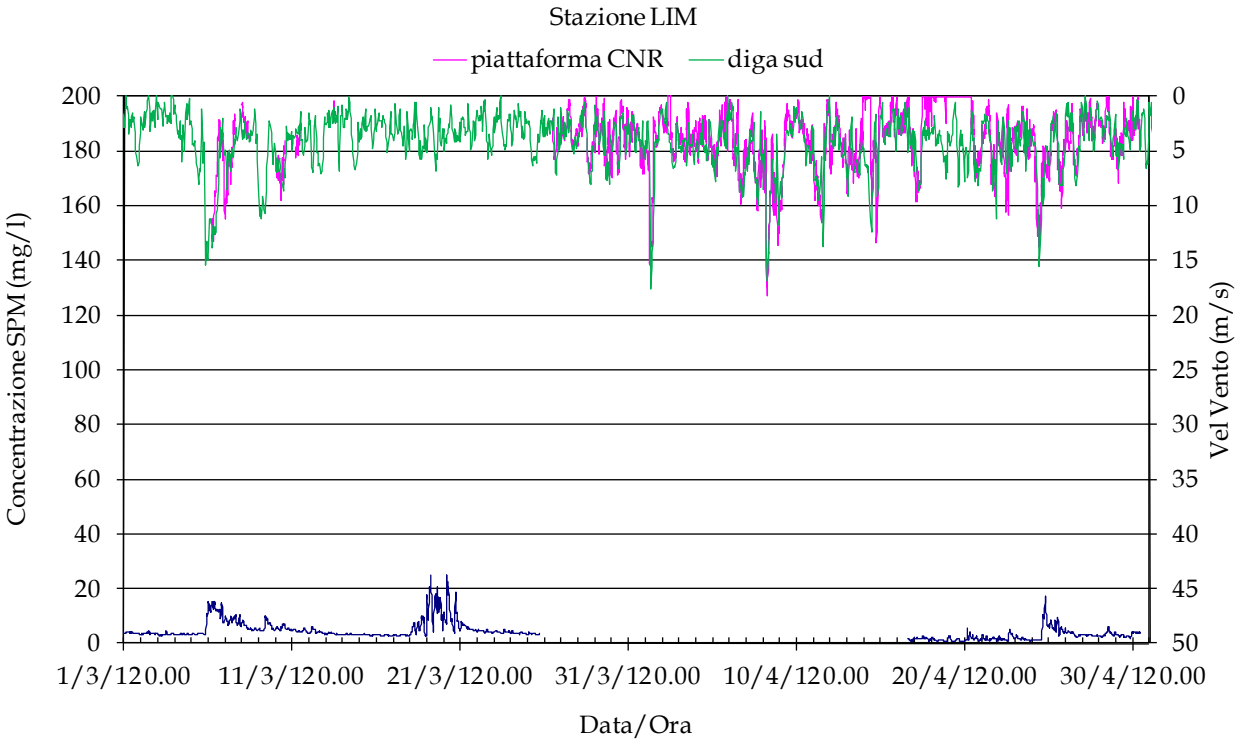


Figura 3.23. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione LIM nel periodo Marzo-Aprile 2012.

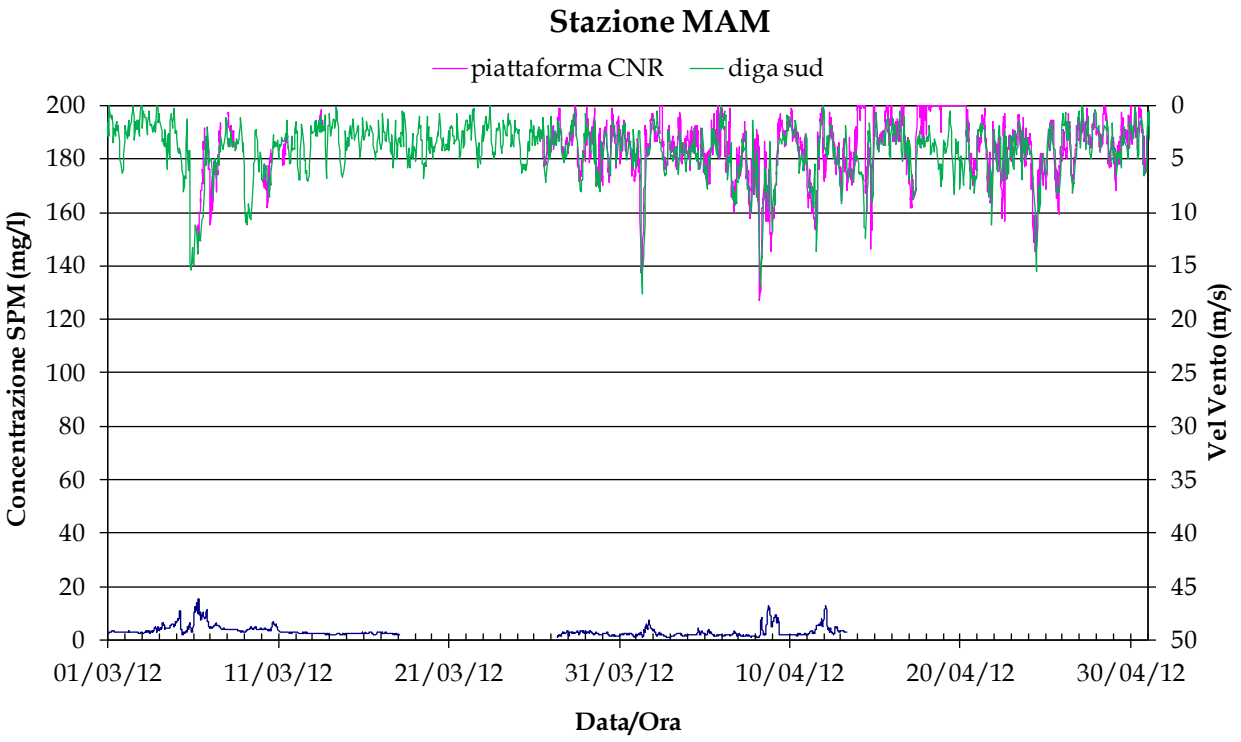


Figura 3.24. Serie temporale della concentrazione di SPM e della velocità del vento alla stazione MAM nel periodo Marzo-Aprile 2012.

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.

	Stazioni in laguna			*Stazioni in bocca*		*Stazioni a mare*	
PARAMETRI	**LTP**	**MAP**	**CHP**	**LMR**	**LMR-2**	**LIM**	**MAM**
Ntot	10766	10559	10900	11296	11537	7434	8344
Media	27.5	11.5	14.5	21.8	17.2	22.7	44.0
Dev. Std.	41.7	17.8	16.7	51.4	30.7	49.1	112.8
Max.	661.8	153.4	130.4	462.0	284.2	293.0	746.0
Min.	4.1	0.9	1.6	0.7	1.6	0.6	0.8
25° percentile	11.7	3.8	4.8	3.1	5.8	3.3	2.6
50° percentile	16.4	5.8	8.0	6.3	8.1	4.2	3.4
75° percentile	24.2	9.5	17.1	12.4	12.4	10.1	8.3
95° percentile	90.5	46.3	49.5	113.3	68.9	142.9	348.1
Media interquartile	17.9	6.7	10.9	7.7	9.1	6.7	5.4

Media, massimo e minimo, deviazione standard, media interquartile

Per quanto riguarda i valori minimi, che rappresentano le condizioni dell'acqua in assenza di perturbazioni sia biologiche sia meteomarine, sono tra loro confrontabili e variabili tra 0.6 e 1.6 mg/l, ad eccezione della stazione LTP (4.1 mg/l).

Per quanto riguarda le medie si hanno valori più bassi per le stazioni MAP (11.5 mg/l), CHP (14.5 mg/l) e LMR-2 (17.2 mg/l), più elevato per MAM (44.0 mg/l) e intermedi e confrontabili tra loro per LMR (21.8 mg/l) ,LIM (22.7 mg/l) e LTP (27.5 mg/l).

La deviazione standard per tutte le stazioni assume valori superiori alla media e il rapporto deviazione standard/media è maggiore dell'unità il che implica una notevole dispersione dei dati.

Pertanto è utile utilizzare la media interquartile (media tra il 25° e il 75° percentile), che rappresenta il valore medio non influenzato dagli outlier cioè dagli eventi estremi. Analizzando tale parametro si nota che si hanno valori più bassi per la stazione MAM (5.4 mg/l) , MAP e LIM (6.7 mg/l), LMR (7.7 mg/l), più elevati per LTP (17.9 mg/l) e intermedi e confrontabili tra loro per LMR-2 (9.1 mg/l) e CHP (10.9 mg/l).

Per quanto riguarda i valori di torbidità massimi si hanno per tutte le stazioni durante l'evento meteo intenso di Febbraio 2012 e in particolare :il giorno 11 Febbraio nella stazione MAM (746.0 mg/l), LTP (661.8), LMR-2 (284.2), il giorno 10 Febbraio nella stazione CHP (130.4), il giorno 4

Febbraio nelle stazioni LMR (462.0 mgl/l) e MAP (153.3) e il giorno 1 Febbraio nella stazione LIM (293.0 mgl/l).

Percentili

I valori del 25° percentile rappresentano convenzionalmente le condizioni ordinarie di assenza di perturbazioni, cioè assenza di rilevante moto ondoso e velocità della corrente di marea inferiore a qualche cm/s. Si nota come i valori più bassi si hanno per la stazioni a Malamocco (2.6 mg/l a MAM, 3.8 mg/l a MAP) e Lido (3.1 mg/l a LMR, 3.3 mg/l a LIM) il valore maggiore si ha per la stazione LTP (11.7 mg/l) mentre valori intermedi si hanno per le altre stazioni (4.8 mg/l per CHP, 5.8 mg/l per LMR-2).

Il 50° percentile coincide con il valore mediano e quindi rappresenta le condizioni più probabili. In questo caso si nota come i valori più bassi si hanno per la stazioni a mare (3.4 mg/l a MAM, 4.2 mg/l a LIM), il valore maggiore si ha per la stazione LTP (16.4mg/l) mentre valori intermedi si hanno per le altre stazioni (5.8 mg/l per MAP, 6.3 mg/L per LMR, 8.0 mg/L per CHP e 8.1 mg/L per LMR-2).

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. In questo caso i valori delle stazioni a Malamocco sono più bassi (8.3 mg/l a MAM, 9.5 mg/l a MAP), sono tra loro simili al Lido (12.4 mg/l per LMR, 12.4 mg/L per LMR-2, 10.1 mg/L per LIM). Più elevati invece sono per CHP (17.1 mg/l) e LTP (24.2 mg/l).

Infine, la distribuzione del 95° percentile è rappresentativa dei valori estremi legati al verificarsi di eventi meteomarini intensi, che possono provocare un apprezzabile innalzamento della concentrazione del materiale solido sospeso in laguna, nonché un aumento del trasporto di sedimenti lungo costa con aumenti del carico rilevabili anche nei giorni successivi all'evento.

In questo caso si hanno i valori più bassi per le stazioni in laguna MAP (46.3 mg/l) e CHP (49.5 mg/l), valori intermedi per LMR-2 (68.9 mg/l) e LTP (90.5 mg/l) e valori elevati per LMR (113.3 mg/l),LIM (142.9 mg/l) e MAM (348.1).

Si nota come la stazione LTP in questo quadrimestre abbia i percentili 25°, 50°,75° più alti delle altre stazioni: ciò significa che è stata maggiormente soggetta a risospensione anche durante condizioni meteo non perturbate, probabilmente a causa della sua posizione lungo un canale interno alla laguna dove vi è molto passaggio di imbarcazioni. E' confermato anche dalla media interquartile più elevata.

Per quanto riguarda invece il 95° è più elevato per le stazioni a mare LIM e MAM, il che significa che hanno risentito maggiormente degli eventi estremi.

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 e alla stazione posta presso la diga sud della bocca di Lido (per il mese di Marzo) ha superato i 10 m/s e 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.

Tabella 3.4 Eventi meteo significativi (velocità del vento superiori a 10 m/s) registrati nel periodo Gennaio-Aprile 2012 . Si evidenziano in rosso i superamenti della soglia di 30 mg/l.

Giorno	**Orario**	**Velocità del vento (m/s)**	**Direzione media (°) e tipo di vento**	**Concentrazione massima (mg/l)**						
				LAGUNA			**BOCCA**		**MARE**	
				LTP	**MAP**	**CHP**	**LMR**	**LMR-2**	**LIM**	**MAM**
3 Gennaio	3:45-11:30	8.5-13.3	46° bora	8.94	6.58	14.27	4.60	5.30	12.93	11.64
5 Gennaio	19:00-19:30	10.5-13.1	14° bora	15.26	8.62	2.85	4.60	5.01	3.54	3.69
6 Gennaio	9:00-10:30	9.2-11.5	302° maestrale	8.81	6.74	4.33	5.90	5.89	3.92	2.47
29-30 Gennaio	12:30-12:30	9.1-15.4	56° bora	52.72	31.39	37.66	127.00	62.08	54.54	64.79
30 Gennaio	17:00-21:30	9.9-12.5	57° bora	27.73	20.17	14.04	144.5	79.95	51.30	151.32
31 Gennaio	2:30-9:00	9.5-12.8	54° bora	48.54	16.16	17.75	57.60	44.32	41.15	454.63
31 Gennaio	16:30	10.9	59° bora	28.76	16.49	7.33	38.80	29.33	32.01	42.03
31 Gennaio – 5 Febbraio	20:45-7:15	9.0-24.4	55 ° bora	535.70	153.36	128.86	462.00	224.09	293.01	682.47
5 Febbraio	11:45	10.0	36° bora	124.83	47.31	14.15	167.10	125.99	41.39	75.70
5-6 Febbraio	18:00-1:15	9.1-12.2	54° bora	246.93	57.24	38.23	36.59	56.22	51.41	201.79
6 Febbraio	3:30-7:15	9.3-11.4	30° bora	130.87	39.24	25.51	40.30	11.40	25.71	26.98
6 -8 Febbraio	9:30-22:15	9.4-25.2	60° bora	451.87	134.05	119.48	357.6	257.60	272.31	629.97
9 Febbraio	1:15-2:45	9.8-10.4	32° bora	71.84	55.85	40.51	155.0	69.36	33.96	285.09
	17.45-19:15	10.3-13.1	64° bora	55.18	34.76	10.79	78.60	41.10	17.54	32.22
9-12 Febbraio	20:15-22:15	10.3-23.6	57° bora	661.84	128.79	130.40	400.56	284.17	283.87	745.97

Giorno	Orario	Velocità del vento (m/s)	Direzione media (°) e tipo di vento	Concentrazione massima (mg/l)						
				LAGUNA			BOCCA		MARE	
				LTP	MAP	CHP	LMR	LMR-2	LIM	MAM
12 Febbraio	23:00-23:15	10.1-10.3	57° bora	313.31	62.00	60.70	147.04	10.30	75.59	256.83
20 Febbraio	3:45-20:00	10.0-16.9	55° bora	167.84	33.35	83.35	110.38	73.76	\	220.86
20 Febbraio	21:45	10.4	54° bora	110.52	29.85	19.91	65.75	53.33	\	27.98
20 Febbraio	22:30	10.2	54° bora	74.76	29.99	22.29	55.54	44.52	\	25.81
5-6 Marzo	20:00-13:00	10.4-15.4	85° levante	30.58	16.65	15.4	26.83	14.63	15.44	15.62
6-7 Marzo	23:00-1:30	9.4-11.2	71° levante	29.42	8.16	8.92	23.87	15.72	10.16	4.77
9 Marzo	1:00-10:00	9.2-11.2	97° levante	22.55	16.03	10.47	22.91	15.10	9.86	4.72
1 Aprile	5:45-8:00	10.5-15.6	68° bora	\	9.02	26.40	8.39	7.68	\	3.09
	8:15-10:15	10.7-13.7	73 ° levante	\	22.52	26.59	8.73	9.59	\	2.29
7 Aprile	15:15-15:30	9.7-10.5	182° mezzogiorno	28.29	10.11	13.37	13.75	12.03	\	1.65
	16:00-16:15	10.4-10.5	182° mezzogiorno	33.75	9.58	13.91	10.81	12.92	\	1.41
8 Aprile	4:30-5:45	11.7-18.8	56° bora	22.78	15.82	14.70	14.79	17.53	\	1.58
	6:00-8:30	12.5-17.4	94 ° levante	22.19	12.94	10.75	29.54	18.82	\	8.33
	8:45-9:15	11.4-12.7	115 ° scirocco	20.09	8.07	4.61	20.50	16.94	\	7.29
	14:45-15:00	10.0-10.8	59° bora	26.22	15.72	18.27	11.79	9.71	\	4.48
	15:45	10.8	60° bora	19.88	15.64	15.34	10.37	9.12	\	6.20
	16:45	10.5	56 ° bora	27.61	9.79	13.40	7.61	8.17	\	8.37
	17:45	10.8	69° bora	23.52	8.69	10.00	7.04	8.55	\	13.14

Giorno	**Orario**	**Velocità del vento (m/s)**	**Direzione media (°) e tipo di vento**	**Concentrazione massima (mg/l)**						
				LAGUNA			**BOCCA**		**MARE**	
				LTP	**MAP**	**CHP**	**LMR**	**LMR-2**	**LIM**	**MAM**
	20:00-23:45	10.3-13.6	65° bora	73.40	9.72	11.00	11.75	10.08	\	10.05
9 Aprile	0:15-2:30	9.5-10.5	88° levante	29.11	8.86	14.18	30.70	19.58	\	8.26
11 Aprile	10:30-13:45	10.0-11.6	127° scirocco	37.46	\	9.31	9.71	12.00	\	5.55
14 Aprile	18:00-20:00	9.3-13.4	65° bora	15.26	\	15.2	5.57	9.34	\	\
22 Aprile	11:00-11:30	10.0-10.6	163° bora	27.63	\	15.81	3.86	9.61	1.38	\
	14:45	10.8	338° tramontana	29.31	\	30.85	10.22	8.16	2.13	\
24 Aprile	7:00-12:30	10.3-13.7	175° mezzogiorno	31.64	5.2	9.9	18.62	16.19	1.32	\
25 Aprile	18:45	10.2	162° mezzogiorno	13.64	5.8	24.1	6.16	9.64	5.39	\

Dalla Tabella 3.4 si nota che il prolungato e intenso evento meteo che ha interessato la fine Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012, ha causato una notevole risospensione di sedimenti e il superamento del valore di soglia in tutte le stazioni della rete.

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. Si evidenzia che alcun eventi meteo del mese di Aprile hanno avuto effetto solo sulla stazione LTP.

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 Gennaio-Aprile 2012 e si individuano quelli che avvengono o meno in presenza di vento.

Tabella 3.5. Numero di superamenti della soglia di 30 mg/l nel periodo Gennaio-Aprile 2012

	Stazioni in laguna			***Stazioni in bocca di porto***		***Stazioni a mare***	
STAZIONE	**LTP**	**MAP**	**CHP**	**LMR**	**LMR-2**	**LIM**	**MAM**
Numero condizioni eccezionali con C>30 mg/l	1653	975	1342	1429	1280	1215	1315
Numero di superamenti CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento (v >10 m/s)	1555	975	873	1429	1280	1215	1315
Numero di superamenti la cui causa NON È CERTAMENTE legata alla risospensione da vento (v<10 m/s)	98	0	469	0	0	0	0

Dalla Tabella 3.4 appare evidente che nel periodo Maggio2011-Aprile 2012 quasi tutti i superamenti sono dovuti alla risospensione determinata da vento-moto ondoso.

- LTP: superamenti durante l'evento meteo che ha interessato la fine di Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012, e durante gli eventi meteo dei giorni 5-6 Marzo 2012,7-8-11-24 Aprile 2012.
- MAP: superamenti durante l'evento meteo che ha interessato la fine Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012

- CHP: superamenti durante l'evento meteo che ha interessato la fine Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012.
- LMR: superamenti durante l'evento meteo che ha interessato la fine Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012 e il giorno 9 Aprile in presenza di vento con velocità 10.2 m/s.
- LMR-2: superamenti durante l'evento meteo che ha interessato la fine Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012
- LIM: superamenti durante l'evento meteo che ha interessato la fine Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012
- MAM: superamenti durante l'evento meteo che ha interessato la fine Gennaio e tutto il mese di Febbraio 2012

In alcune stazioni, come anche evidenziato in Tabella 3.5 sono presenti superamenti non associabili alla contemporanea presenza di vento superiore a 10 m/s:

- nella stazione LTP è presente inoltre una concentrazione elevata in assenza di vento il giorno 29 Marzo: secondo le informazioni relative alle attività di dragaggio, rese disponibili dalla Direzione Lavori, risulta che in quei giorni fossero in corso attività di scavo in corrispondenza del porto rifugio (OP/360-4). E' improbabile però che queste attività possano aver causato un aumento di concentrazione rilevabile nella stazione LTP poiché avvenute in una struttura confinata e con un escursione mareale ridotta pertanto in presenza di basse velocità della corrente.
- nella stazione LTP è presente inoltre una concentrazione elevata in assenza di vento il giorni 22-23 Aprile: presumibilmente non è attribuibile alle attività di cantiere, ma l'esistenza di un' eventuale correlazione con la torbidità verrà effettuata non appena verranno rese disponibili informazioni sulle attività di scavo per il mese di Aprile.
- nella stazione CHP e' presente e una concentrazione superiore alla soglia in assenza di vento nei giorni 19-20 21 -22-23-26-27-28-29-30 Aprile: presumibilmente non é attribuibile alle attività di cantiere ma la verifica di un' eventuale correlazione con la torbidità verrà effettuata non appena verranno rese disponibili informazioni sulle attività di scavo per il mese di Aprile.
- Si ricorda che le correlazioni fra torbidità e eventi meteo-marini (vento, correnti di marea, correnti litoranee, correnti fluviali...) che vengono invocate per spiegare la successione cronologica dei rilievi, non hanno un valore strettamente deterministico. Il fenomeno di risollevamento dei sedimenti, infatti, è solo uno dei meccanismi che determina la torbidità locale e istantanea; la quale dipende altresì dal trasporto orizzontale dei sedimenti e dunque dagli sfasamenti del risollevamento nello spazio e nel tempo. Pur assumendo (sia pure molto approssimativamente) che tali sfasamenti si medino nel lungo periodo, è evidente che le correlazioni fra idrodinamica e torbidità sono tanto più plausibili quanto più a lungo è il periodo sul quale viene fatta la media in condizioni paragonabili. 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'obbiettivo 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 mediante la 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 ad attività di scavo.

Per il periodo corrispondente all'intervallo Gennaio-Marzo 2012 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. Non sono ancora state fornite informazioni sulle attività di scavo del mese di Aprile.

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**	**m³**
BOCCA DI LIDO	OP/424-4 OP/360-4	dal 14/01/12 e 28/2/12 dal 29/03/12 e 31/03/12	2 2	940 1627
BOCCA DI CHIOGGIA	OP/425-2A	dal 10/01/12 al 02/03/12	21	30000
BOCCA DI MALAMOCCO	OP/415-4C	Dal 25/01/12 al 30/03/12	20	26050

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 particellato in sospensione in ambienti acquatici. Rassegna bibliografica", Serie Documenti 9/1999, Settembre 1999.

Casamitjana, X., Serra, T., Soler, M. and Colomer, J. 2002. A study of the evolution of the particle boundary layer in a reservoir, using laser particle sizing, *Water Research*, 36, 4293-4300.

Fugate, D.C. and Friedrichs, C.T. 2002. Determining concentration and fall velocity of estuarine particle populations using ADV, OBS and LISST, *Continental Shelf Research*, 22, 1867-1886.

Gartner, J.W., Cheng, R.T., Wang, P. and Richter, K. 2001. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations, *Marine Geology*, 175, 199-219.

Hecht, E. 1987. Optics, 2nd edition. Addison Wesley.

Hydrolab." Series 4a | Water Quality Instruments"

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

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", Disciplinare Tecnico CVN/Technital, Venezia, Giugno 2003

Magistrato Alle Acque, 2006. Nuovi Interventi per la salvaguardia di Venezia (Convenzione rep. 7191 del 04/10/1991, a.a. rep. 8100 del 19/12/2005, Legge 29.11.1984 n. 798). Studio B.6.72 B/2, Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari, 2ª fase, p.8.

McCandliss, R.R., Jones, S.E., Hearn, M., Latter, R. and Jago, C.F. 2002. Dynamics of suspended particles in coastal waters (southern North Sea) during a spring bloom, *Journal of Sea Research*, 47, 285-302.

Middleton, G. V. 1976. Hydraulic interpretation of sand size distribution, *Journal of Geology*, 84, 405-426.

Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2000. In situ particle size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume, *Marine Geology*, 170, 443-459.

Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2001. The use of a LISST-100 laser particle sizer for in-situ estimates of floc size, density and settling velocity, *Geo-Marine Letters*, 20, 187-195.

Sequoia Scientific Inc., 2004. LISST-100X Particle Size Analyzer, User's Manual, Version 4.60, p. 76.

Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios, *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 151-158.

Simionato F. "Sistema di posizionamento della strumentazione utilizzato nelle stazioni a mare della rete di stazioni fisse per il rilievo della torbidità in continuo", Nota Tecnica T.N. n. 204, CNR-ISMAR Venezia, Aprile 2006

Traykovski, P., Latter, R.J. and Irish, J.D. 1999. A laboratory evaluation of the laser in situ scattering and transmissometery instrument using natural sediments, *Marine Geology*, 159, 355-367.

Visher, G. S. 1969. Grain size distributions and depositional processes, *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 1074-1106.

Voulgaris, G. and Meyers, S. 2004. Temporal variability of hydrodynamics, sediment concentration and sediment settling velocity in a tidal creek, *Continental Shelf Research*, 24, 1659-1683.

Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments, *Journal of Geology*, 30, 377-392.