



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/5**

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

Contratto prot.n. 21540 si/gce/fbe

Documento **MATRICE: ACQUA**

**MACROATTIVITÀ: RILEVAZIONE DELLA
TORBIDITÀ IN CONTINUO**

II RAPPORTO DI VALUTAZIONE

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA SETTEMBRE A
DICEMBRE 2009**

Versione **2.0**

Emissione **19 Marzo 2010**

Redazione

Dott.ssa Caterina Dabalà
(CORILA)

Verifica

Dott. Luca Zaggia
(ISMAR-CNR)

Verifica

Prof. Giampaolo Di Silvio

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

1. INTRODUZIONE E METODOLOGIA.....	3
1.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.....	3
1.2 Strumentazione per la misura della torbidità.....	9
1.3 Descrizione dell'attività di gestione della rete di stazioni fisse.....	9
1.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati.....	12
1.4.1 Procedura per la filtrazione dei picchi istantanei.....	12
1.4.2 Correzione per il fouling	13
1.5 Calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM	13
2. ANALISI DEI DATI.....	15
2.1 Serie temporali della torbidità/SPM.....	18
2.2 Analisi dei picchi di torbidità.....	26
2.3 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche.....	27
2.4 Struttura dell'archivio dei dati.....	28
3. BIBLIOGRAFIA.....	29

Alla stesura del presente rapporto hanno contribuito:

F. Costa (ISMAR – CNR, Venezia)

C. Dabalà (CORILA)

G. Di Silvio (IMAGE – UNIPD)

R. Fiorin (LagunaProject)

G. Lorenzetti (ISMAR – CNR, Venezia)

G. Manfè (ISMAR – CNR, Venezia)

M. Meneghin (ISMAR – CNR, Venezia)

F Riccato (LagunaProject)

R. Ruggeri (ISMAR – CNR, Venezia)

F. Simionato (ISMAR – CNR, Venezia)

L. Zaggia (ISMAR – CNR, Venezia)

1. INTRODUZIONE E METODOLOGIA

I programmi di monitoraggio ambientale dei cantieri ove sono previste operazioni di scavo e dragaggio di fondali prevedono ormai abitualmente la determinazione del particolato solido in sospensione (Suspended Particulate Matter - SPM) e della torbidità in acqua. Questa variabile è particolarmente importante quando ci si trova in prossimità di habitat sensibili, quali sono quelli prossimi alle tre bocche di porto della laguna di Venezia.

Il Disciplinare Tecnico dello Studio B.6.72 B/5, come i precedenti, prevede specifiche attività per la misura della concentrazione e del flusso di particolato solido sospeso generato dalle attività di cantiere dentro e fuori le sezioni del canale di bocca. Tali attività intendono monitorare la torbidità generata dalle operazioni di scavo in relazione ai seguenti parametri:

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

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

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

Nel caso B) le acquisizioni si riferiscono, invece, alla misura della torbidità in continuo mediante strumenti fissi (torbidimetri), opportunamente posizionati, nelle aree di pertinenza dei tre canali di bocca, sia entro la laguna sia all'esterno delle bocche. In questo caso la misura puntuale della torbidità fornisce un'indicazione della presenza del particolato sospeso al variare del campo di corrente nei diversi cicli di marea e del moto ondoso in laguna e in mare.

Le misure della torbidità in continuo hanno dimostrato carattere di necessità al fine di stabilire il livello “naturale” sopra il quale avviene il disturbo della torbidità generata dagli scavi. Gli eventi naturali in grado di influenzare l'andamento della concentrazione del particolato in sospensione si succedono infatti in maniera irregolare e una particolare concentrazione o assenza di episodi significativi possono dare luogo ad una non corretta valutazione del tempo di ritorno degli eventi di una certa intensità. Da cui la necessità di disporre di una serie temporale il più possibile prolungata in modo da colmare la lacuna rappresentata dalla storica mancanza di un rilevamento sistematico della torbidità nelle bocche di porto della laguna di Venezia. Inoltre, le trasformazioni morfologiche dell'area prossima alle bocche, potrebbero avere degli effetti anche sull'idrodinamica e il trasporto. Il monitoraggio della torbidità può quindi risultare funzionale non solo alla conoscenza degli effetti a breve termine delle attività di cantiere, ma anche degli effetti a lungo termine indotti dalla presenza delle opere, che per quanto riguarda la parte in grado di influenzare l'idrodinamica e il trasporto, si possono considerare già in avanzato stato di realizzazione.

1.1 La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo

La misura della torbidità in continuo alle bocche di porto ha il doppio obiettivo di valutare la diffusione del plume di torbida generato dalle operazioni dei cantieri e monitorare i valori di torbidità di fondo ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio.

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

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

Come evidenziato nel passato Rapporto Finale (Studio B.6.72 B/4), nel periodo che va da Maggio 2008 a Marzo 2009 nella bocca di Lido non erano presenti attività in grado di influenzare significativamente la torbidità della colonna d'acqua, a differenza delle altre due bocche di porto. Per questo motivo è stato deciso di mantenere in esercizio la rete di stazioni fisse limitatamente alle bocche di Malamocco e Chioggia, dove tuttavia si ritiene indispensabile lasciarle in quanto il recesso di barriera non è ancora stato scavato.

La Figura 1.1 mostra la localizzazione di tutte le stazioni di misura della torbidità nelle aree dei cantieri alle bocche di porto; in rosso le stazioni utilizzate il quinto anno di monitoraggio; esse coincidono con quelle utilizzate nel corso del precedente Studio B.6.72 B/4. Nella Tabella 1.1 sono riassunte le caratteristiche delle stazioni, e per ciascuna di queste, sono riportate le coordinate geografiche espresse nel sistema UTM WGS 84 e Gauss Boaga e la profondità del battente d'acqua rispetto al livello medio del mare espressa in metri. La posizione del sensore è in tutti i casi alla quota di 1.5 metri dal fondo eccetto per LMR-2, in cui il sensore era a circa 7.5 metri dal fondo.

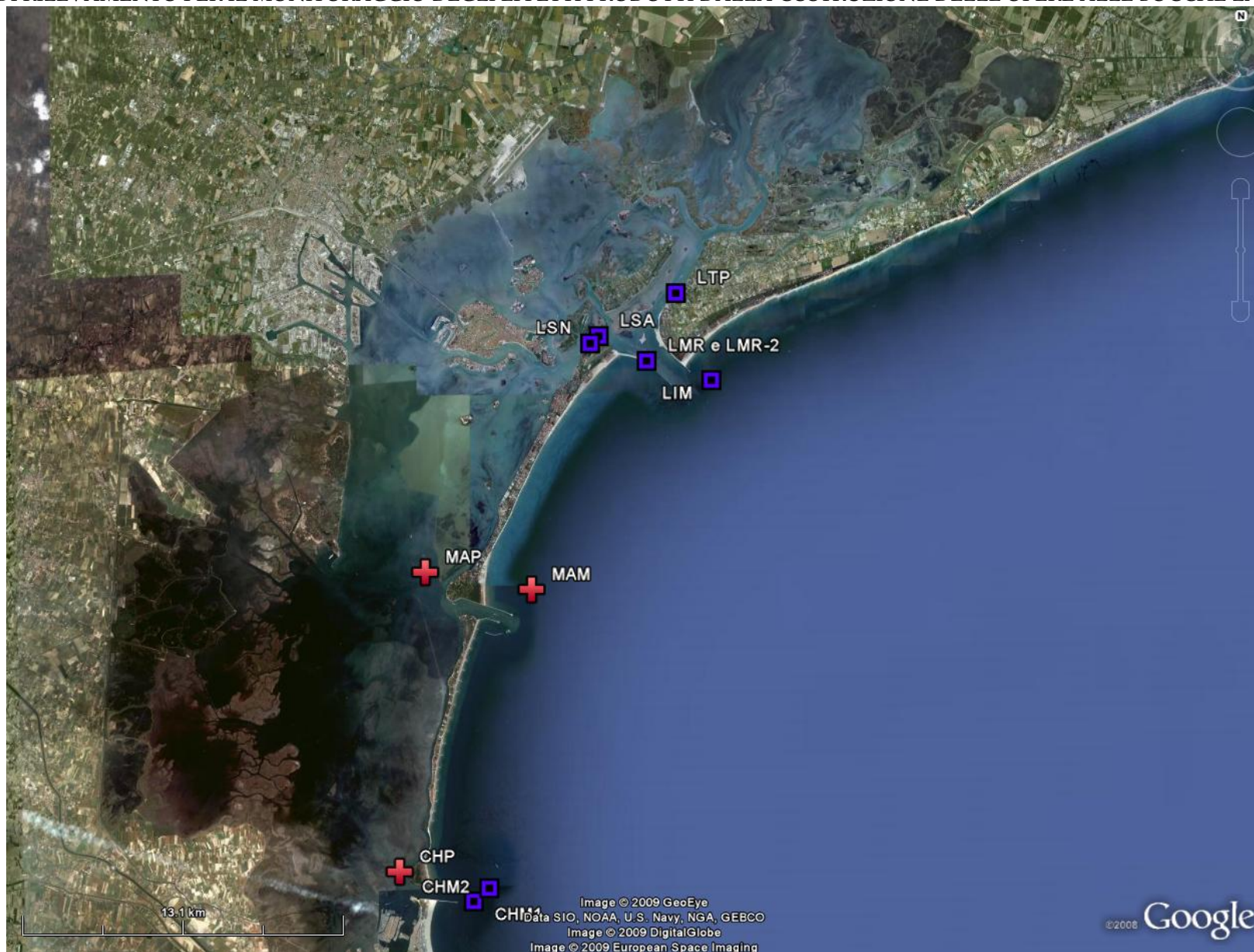


Figura 1.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo. In rosso le stazioni attive nel periodo 2009-2010.

CORILA

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

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

Sigla Identificativa	Località	Tipo postazione	Ente	Fondale (m)	Coordinate UTM WGS 84	Coordinate Gauss Boaga	Periodo di utilizzo
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
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
LMR	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/1 Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
LMR-2	LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga Sud	APAT	9.5	297740 E 5033614 N	2318223.64 5033215.04	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
LSA	LIDO Canale S. Nicolò	Meda Bianco- Nera	Capitaneria Porto - Marifari	5	295870 E 5034915 N	2315918.06 5034973.54	Studio B.6.72 B/2 Studio B.6.72 B/3 Studio B.6.72 B/4
LSN	LIDO Canale S. Nicolò	Postazione mareografica	MAV	7.0	295624 E 5034542 N	2315566.36 5034465.53	Studio B.6.72 B/1
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

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
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
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

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

Come risulta dalle informazioni sul periodo di utilizzo riportate in tabella, la rete è attualmente costituita da tre sole stazioni: le due stazioni MAP e CHP sono posizionate in aree vicine alle bocche di porto verso la laguna, mentre la stazione MAM è posizionata in mare.

Le prime due stazioni sono state allestite utilizzando le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 1.3 e 1.4). Per la stazione MAM è stata utilizzata una struttura già esistente impiegata anch'essa come mareografo, ma con caratteristiche tecniche completamente diverse da quelle delle postazioni mareografiche in laguna (Figura 1.2).

Le stazioni coincidono con le postazioni utilizzate nello Studio B.6.78/I.



Figura 1.2 Stazione MAM.



Figura 1.3. Stazione MAP.



Figura 1.4. Stazione CHP.

1.2 Strumentazione per la misura della torbidità

Per il rilievo della torbidità in continuo è stata utilizzata, per ogni stazione, una sonda multiparametrica autoregistrante Idronaut Mod. OceanSeven 304 CTD-T [Idronaut Srl., February 2005], equipaggiata con un sensore OBS (Optical Backscatter Sensor) del tipo Seapoint Turbidity Meter [Idronaut Srl., March 2005], che misura il *backscattering* ottico, generando una tensione di uscita proporzionale alla quantità di particolato solido sospeso lungo la colonna d'acqua. Il sensore scelto è controllato da un microprocessore, che imposta automaticamente l'intervallo di misura e la risoluzione più appropriati alle caratteristiche delle acque in cui opera. Questa opzione è stata, tuttavia, disattivata a causa della presenza di un problema nel *firmware*, responsabile del malfunzionamento dello strumento e della registrazione di valori inattendibili. Dopo un breve periodo di test della strumentazione, in cui è stato riscontrato questo problema, si è, quindi, deciso di impostare per quasi tutti gli strumenti un intervallo di misura compreso fra 0 e 125 FTU. Questa scelta è stata peraltro giustificata dalla necessità di mantenere una sufficiente precisione nella descrizione dell'andamento della variabile nelle condizioni più frequentemente incontrate nelle bocche di porto, dove le concentrazioni tipicamente misurate sono dell'ordine di 10 mg/l o inferiori. Sulla base dell'esperienza ormai decennale nella calibrazione di questo tipo di sensori, in laguna e nei canali del centro storico, i valori attesi per le letture della variabile in FTU ricadrebbero infatti per la gran parte entro l'intervallo selezionato.

Inoltre, grazie alle esperienze maturate nel corso delle prime campagne di monitoraggio, si è ipotizzato che, data la distanza delle postazioni dalle zone di scavo, la dispersione dei materiali movimentati nell'area di cantiere avrebbe difficilmente dato luogo a sensibili variazioni del valore della concentrazione in corrispondenza delle stazioni scelte. Era, quindi, necessario disporre di una buona sensibilità in modo da poter registrare le minime variazioni attese in corrispondenza delle stazioni di misura. La scelta operata ha comportato la perdita dei valori estremi in corrispondenza degli eventi meteomarinari intensi, come quelli che si sono verificati nel periodo Novembre 2005 - Gennaio 2006, per i quali, tuttavia, erano disponibili i dati di *backscattering* acustico acquisiti dall'ADCP fisso al fondo della bocca di Porto di Lido (come riferimento per la concentrazione entro le bocche di porto).

Nella Tabella 1.2 sono riassunte le caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati nelle 3 stazioni fisse.

Tabella 1.2. Caratteristiche dei sensori montati sulla sonda OceanSeven 304 CTD-T.

Sensore	Intervallo di misura	Accuratezza	Sensibilità
Pressione	0 - 1000 dbar	0.05% f.s.	0.015%
Temperatura	-3 - +35 °C	0.005 °C	0.0006 °C
Conducibilità	0 - 64 mS/cm	0.005 mS/cm	0.001 mS/cm
Torbidimetro SEAPOINT	0 - 750 FTU	<2%	200 - 2 mV / FTU
	25 FTU	<2%	200 mV / FTU
	125 FTU	<2%	40 mV / FTU
	500 FTU	<2%	10 mV / FTU
	750 FTU	<2%	2 mV / FTU (•)

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

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

I torbidimetri posizionati nelle stazioni sopra descritte hanno funzionato acquisendo 1 dato ogni 15 minuti. Il singolo dato viene rilevato come media delle 5 acquisizioni, effettuate una al minuto,

all'inizio dell'intervallo temporale di 15 minuti. I file di dati registrati nella memoria di ciascuno strumento sono stati scaricati con una frequenza di circa 15 giorni.

Gli strumenti di misura che fanno parte della rete sono stati installati nel 2005 e tenuti in funzione per l'acquisizione dei dati in maniera quasi continua per più di 4 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.

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

Per quanto riguarda le operazioni di pulizia, esse vengono svolte come consuetudine con cadenza settimanale e prevedono il recupero della sonda a bordo di un'imbarcazione, la pulizia dei sensori (con particolare riguardo ai sensori di conducibilità e torbidità) ed il prelievo di campioni d'acqua alla quota di posizionamento del sensore OBS.

Giacchè i valori di torbidità misurati dai sensori OBS vengono registrati come dati grezzi espressi in FTU e le risposte strumentali degli OBS sono differenti tra di loro, è necessario convertire il dato grezzo in valori di concentrazione del particolato solido sospeso (in mg/l). Tale conversione avviene utilizzando le relazioni di regressione fra le concentrazioni determinate nei campioni d'acqua appositamente prelevati in occasione degli interventi di manutenzione e il valore della torbidità (in FTU) registrata da ciascuno strumento.

Il prelievo dei campioni d'acqua viene effettuato per mezzo di una "bottiglia a sifone" da 1000 cc, alla quota di posizionamento del sensore OBS di ciascuna sonda ed in corrispondenza dell'intervallo di misura, pari a 5 minuti, dello strumento.

Le determinazioni dei solidi sospesi vengono eseguite in laboratorio utilizzando la metodica IRSA (Quaderno 100/2050/94). Tale metodica impiega per la filtrazione membrane in policarbonato (Millipore HTP04700) con porosità di 0.4 μm e diametro di 47 mm. Le membrane, attraverso le quali viene filtrato un determinato volume d'acqua (p.e. 200 ml), vengono pesate prima dell'uso, riposte in scatole Petri immediatamente dopo la filtrazione e conservate a +4°C. Dopo la filtrazione, le membrane vengono essiccate a +105°C per 12 ore, quindi raffreddate in essiccatore a vuoto ed infine ripesate. La concentrazione di SPM si ottiene come differenza dal peso iniziale della membrana rapportata al volume d'acqua filtrato. Tutte le operazioni di pesatura sono effettuate mediante l'utilizzo di una bilancia analitica.

Nel capitolo 2 sono riportate per ognuna postazione di misura i diagrammi sperimentali e le specifiche rette utilizzate per la conversione.

Per la stazione a mare MAM, caratterizzata da un elevato fondale (11 metri circa) è stato progettato un sistema di posizionamento ed ancoraggio al fondo della strumentazione di misura [Simionato, 2006] per consentire un agile recupero della sonda per le operazioni di scarico dati, manutenzione, pulizia e riposizionamento alla quota di misura, fissata a 1,5 m dal fondo. Nella Figura 1.5 è mostrato uno schema tipico di posizionamento e ancoraggio.

Tutte le operazioni in campo sono state registrate dagli operatori, su apposite schede, in occasione di ciascuna operazione di scarico dei dati (Figura 1.6).

CORILA

 $\sim 3\text{m}$

MAP

BOCCA DI MALAMOCCO - Porto

Postazione	Nome (ID)	Coordinate UTM WG84	Fondale (m.)
Postazione Mareografica	MAP	0288410 E 5024129 N	2.7
Sensore	N. di Serie	Data di installazione	Sensore dal fondo (m)
OS304 CTD-T	49	8 giugno 2006	1

[illegible]

TORBIDITÀ-II RAPPORTO VALUTAZIONE B/5

1.4 Metodologia per il trattamento dei dati registrati

La qualità dei dati registrati dagli strumenti per la misura della torbidità in continuo è fortemente condizionata dalle caratteristiche ambientali del corpo idrico nel quale gli stessi strumenti sono posti ad operare. Trattandosi di una misura ottica, qualsiasi ostacolo che si trovi nella regione spaziale investigata dal sensore è, infatti, in grado di produrre perturbazioni significative che sono causa di errori, i quali molto spesso si traducono nell'impossibilità pratica di utilizzare le informazioni registrate. Questi fenomeni possono essere indotti dall'accumulo temporaneo di materiale macroscopico (residui di piante acquatiche e macroalghe o breve stazionamento di organismi marini) sui sensori o sull'armatura di protezione degli stessi, oppure dalla crescita progressiva di *fouling* (alghe e organismi, Figura 1.7). Normalmente il primo problema si risolve spontaneamente all'inversione della marea, quando la direzione della corrente cambia e il materiale si distacca dall'apparecchiatura. Nel secondo caso, invece, il problema si risolve soltanto dopo un'accurata pulizia dei sensori e del corpo della sonda. Si ricorda che gli interventi di manutenzione e pulizia delle sonde sono stati pianificati settimanalmente.

Nonostante queste precauzioni, in molti casi, specialmente nei periodi più caldi e per le stazioni in cui lo strumento operava a bassa profondità, la contaminazione da parte del *fouling* riprende dopo 1-2 giorni dall'intervento di pulizia, rendendo praticamente inutilizzabile l'intera serie di valori compresa fra due interventi di manutenzione.



Figura 1.7. Immagine di una sonda multiparametrica a cui è attaccata una piccola ostrica.

1.4.1 Procedura per la filtrazione dei picchi istantanei

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

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

1.4.2 Correzione per il fouling

La presenza di *fouling* sul sensore ottico per la misura della torbidità dà luogo ad effetti diversi sulla qualità delle informazioni registrate dalla strumentazione. La situazione più frequente è quella di una deriva progressiva dei valori che aumentano seguendo un andamento approssimabile ad una relazione lineare o, più spesso, con una relazione esponenziale o una polinomiale di secondo grado. Nel caso più semplice (probabilmente piccole incrostazioni che crescono lentamente sulla finestra ottica del sensore) questa deriva non comporta un aumento significativo delle oscillazioni istantanee ed è, quindi, sufficiente correggere la serie temporale sottraendone la polinomiale (generalmente di grado 1 o 2), che meglio descrive l'andamento dei valori della linea di base delle funzione originaria nel tratto interessato dal fenomeno. La procedura comporta effettivamente un certo grado di soggettività, tuttavia l'operazione viene svolta tenendo conto dei valori di controllo costituiti dalla concentrazione nei campioni d'acqua prelevati durante gli interventi di pulizia, corrispondenti alla fine dei tratti caratterizzati dalla deriva. La condizione a cui è soggetta la scelta della funzione correttiva è che quest'ultima restituisca un valore finale prossimo a quello del campione d'acqua prelevato nella stazione di misura.

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

1.5 Calibrazione dei sensori di torbidità per la stima della concentrazione di SPM

L'SPM, che include sia la frazione organica che inorganica, è, di fatto, una misura del peso secco del materiale sospeso per unità di volume d'acqua e viene espresso in milligrammi di solidi per litro d'acqua (mg/l).

La misura della torbidità, invece, sfrutta la proprietà ottica dell'acqua di attenuare o disperdere un fascio di luce che attraversa un determinato volume (fenomeno di *scattering*). In questo caso la concentrazione del particolato solido sospeso, espressa in NTU (Nephelometric Turbidity Units) o FTU (Formazine Turbidity Units), viene determinata misurando l'attenuazione di un raggio di luce proiettato nell'acqua in direzione di una fotocellula (*lightscattering*) o la luce dispersa rispetto un angolo formato dal raggio incidente (*backscattering*).

Anche se non c'è una relazione generale tra torbidità e SPM, la misura di torbidità ha ormai sostituito quella di SPM nelle determinazioni puntuali, in tutti i casi in cui sia necessario disporre di valori in tempo reale, o nei monitoraggi, poiché la frequenza di campionamento richiederebbe il prelievo e l'analisi di un numero eccessivo di campioni d'acqua [ANPA, 1999]. La misura della torbidità è, infatti, molto più agevole rispetto alla misura di SPM, che richiede la disponibilità di un laboratorio e tempi di esecuzione non compatibili con la necessità, spesso richiesta, di rilevare variazioni a breve scala temporale (dell'ordine dell'ora o inferiori), come nel caso del monitoraggio di attività di cantiere in corpi idrici soggetti all'escursione di marea.

Trattandosi di un argomento che esula dalle finalità di questo Rapporto, non viene qui approfondito il tema della correlazione fra torbidità ed SPM. Si ricorda, comunque, che i due parametri, pur essendo in relazione con gli stessi fenomeni, sono funzione di variabili differenti. La misura del SPM dipende, infatti, dal peso totale delle particelle in sospensione con diametro maggiore di $0.4\ \mu\text{m}$ ed è, quindi, funzione diretta del numero, della dimensione e del peso specifico delle particelle. La torbidità, invece, è una funzione diretta del numero, della superficie e dell'indice di rifrazione delle particelle in sospensione, ma, nel contempo, è una funzione inversa delle dimensioni delle stesse.

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

La calibrazione dei sensori per la misura della torbidità ai fini della stima delle concentrazioni istantanee di SPM è stata effettuata sulla base delle concentrazioni del particolato in sospensione misurate nei campioni d'acqua, prelevati in corrispondenza ai settimanali interventi di manutenzione, effettuati sulla strumentazione impiegata nelle diverse stazioni. Tuttavia, solo successivamente alla rimozione delle diverse perturbazioni presenti nelle serie temporali della torbidità è stato possibile ottenere delle rette di regressione sufficientemente affidabili per una stima della concentrazione di SPM, sulla base dei valori della torbidità istantanei acquisiti dagli strumenti. Conseguentemente, poiché una percentuale di dati della torbidità è stata rimossa dall'applicazione della procedura di correzione, solo un sottoinsieme delle coppie di valori di torbidità e concentrazione di SPM disponibili è stato utilizzato per la calibrazione. Tuttavia, per tutte le stazioni, la quantità di dati disponibili si può ritenere sufficiente per una stima piuttosto attendibile delle concentrazioni. Inoltre, in quasi tutti i casi, l'intervallo di valori utilizzati per la calibrazione è sufficiente a descrivere le concentrazioni più tipicamente riscontrate nei diversi settori del sistema considerato.

2. ANALISI DEI DATI

Di seguito è riportata la percentuale dei dati validati dopo la procedura di filtrazione delle serie temporali su tutto il periodo del monitoraggio settembre-dicembre 2009. Nel conteggio totale sono inclusi anche i periodi in cui i dati mancavano per malfunzionamento degli strumenti.

Tabella 2.1. Percentuale dei dati validati nel periodo settembre-dicembre 2009.

Stazione	Dati validati sul totale del monitoraggio
CHP	94.1
MAM	54.5
MAP	96.1

La percentuale di informazioni utili dopo la procedura di verifica e filtrazione delle serie temporali dai dati spuri è, nelle due stazioni in bocca di porto, superiore al 90%, come accaduto nel quadrimestre precedente. La maggior copertura si riscontra per la stazione MAP (96.1%). Le alte percentuali generalmente riscontrate nelle stazioni lagunari sono dovute ai settimanali interventi di pulizia delle sonde. Al contrario, la stazione a mare MAM, che per motivi logistici viene mantenuta ogni due settimane, è stata fortemente soggetta a fouling (numerosi episodi di formazione di *fouling* sui sensori e in particolare sul sensore ottico per la misura della torbidità), tanto che i dati utilizzabili per le analisi sono pari al 54.5% dei dati inizialmente registrati dallo strumento.

Per facilitare la comprensione del grado di copertura delle registrazioni, nel diagramma di Figura 2.1 viene visualizzata l'estensione temporale delle acquisizioni effettuate dai singoli strumenti. Come si può notare, i mesi maggio-dicembre 2009 è stato caratterizzato dalla perdita di pochissimi dati per malfunzionamento degli strumenti, dopo la necessaria manutenzione dell'anno precedente.

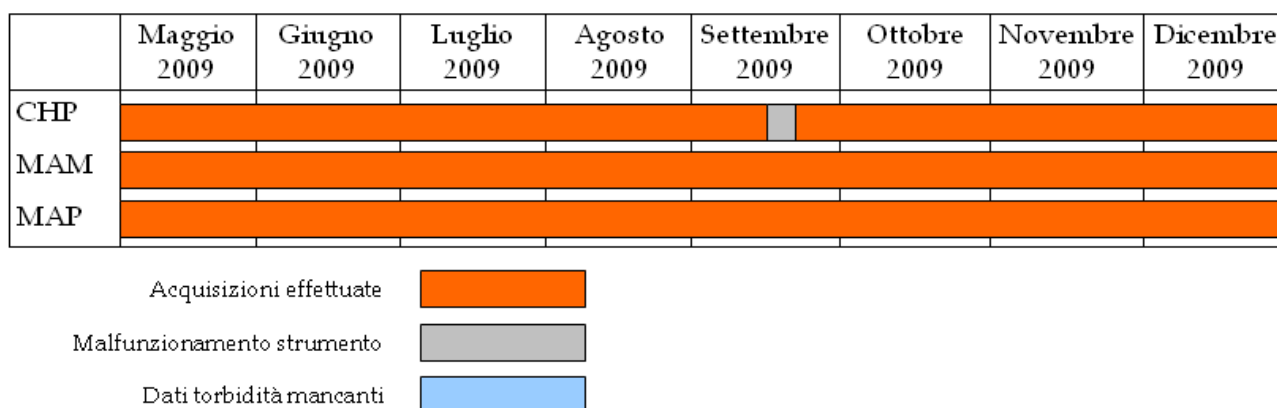


Figura 2.1. Visualizzazione schematica dei periodi di acquisizione degli strumenti impiegati nelle tre stazioni oggetto del monitoraggio.

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

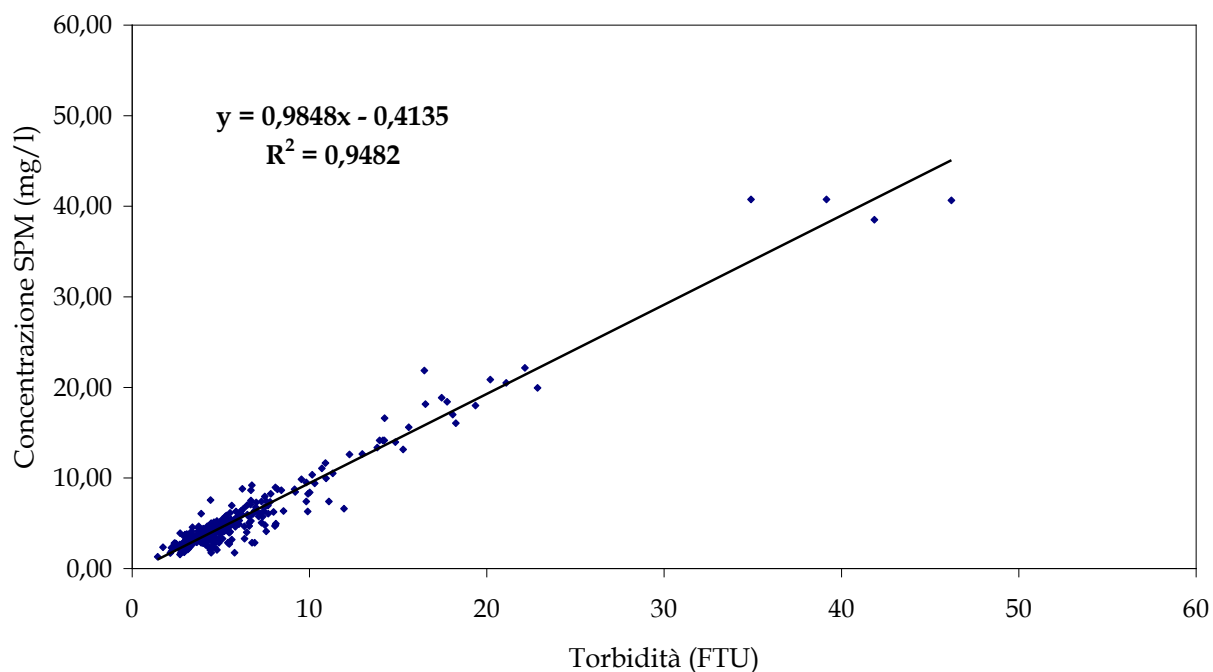
CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

utilizzata per derivare la serie temporale della concentrazione di SPM a partire dalle serie della torbidità della corrispondente stazione, ottenute dalla procedura di correzione descritta nella precedente sezione.

Tabella 2.2. Coefficienti delle rette di regressione utilizzate per la calibrazione dei sensori OBS.

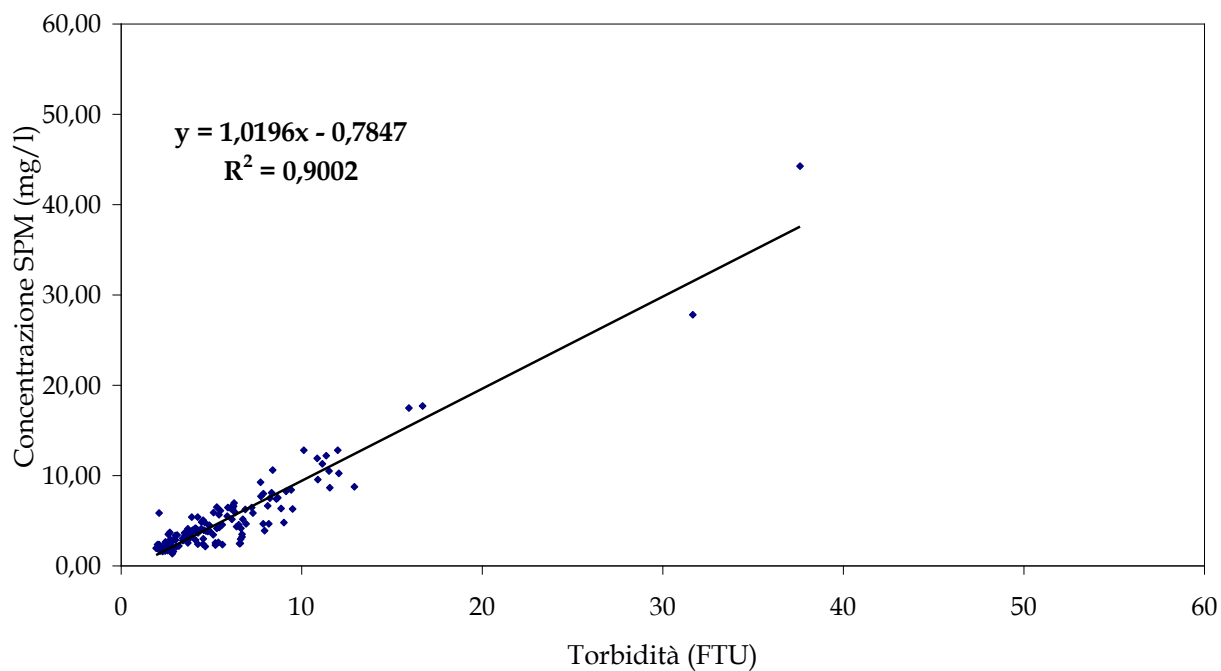
Stazione	Coefficiente retta di calibrazione
CHP	$y = 0,9848x - 0,4135$ $R^2 = 0,9482$
MAM	$y = 1,0196x - 0,7847$ $R^2 = 0,9002$
MAP	$y = 0,9375x - 0,3471$ $R^2 = 0,9197$

Stazione CHP



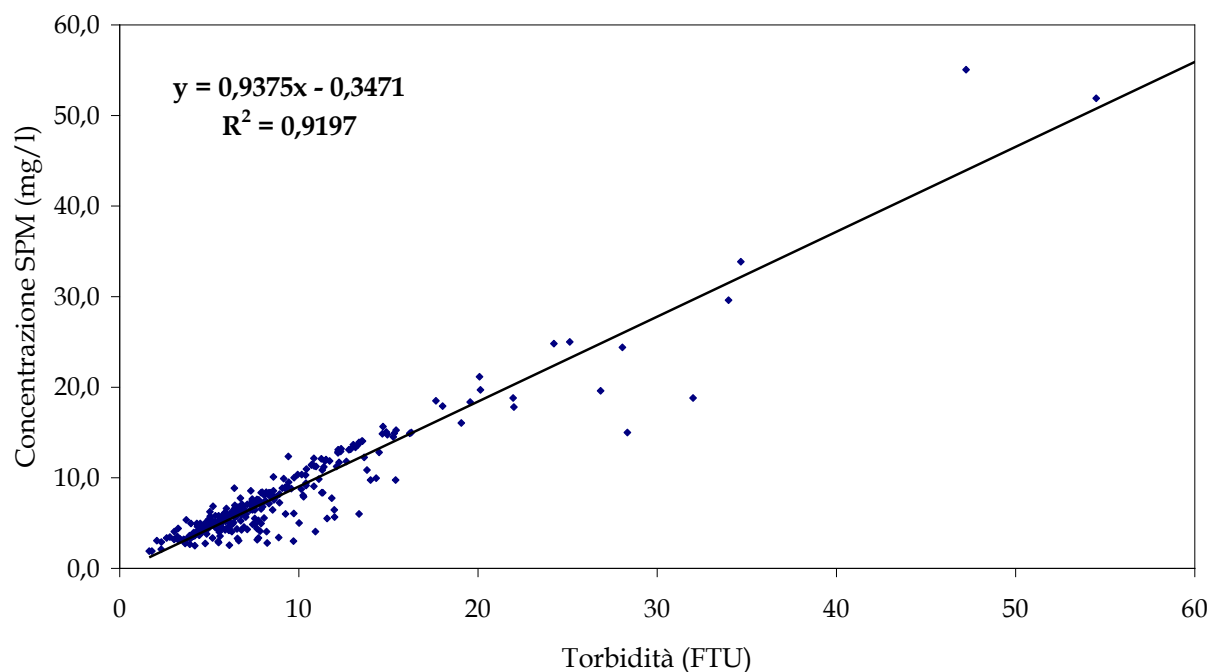
(a)

Stazione MAM



(b)

Stazione MAP



(c)

Figura 2.2. Diagrammi di regressione fra la torbidità registrata dalle sonde nelle diverse stazioni considerate ed i corrispondenti valori di concentrazione di SPM nei campioni d'acqua prelevati in concomitanza agli interventi di manutenzione. Le rette sono state elaborate includendo tutti i valori disponibili, fino a Dicembre 2009.

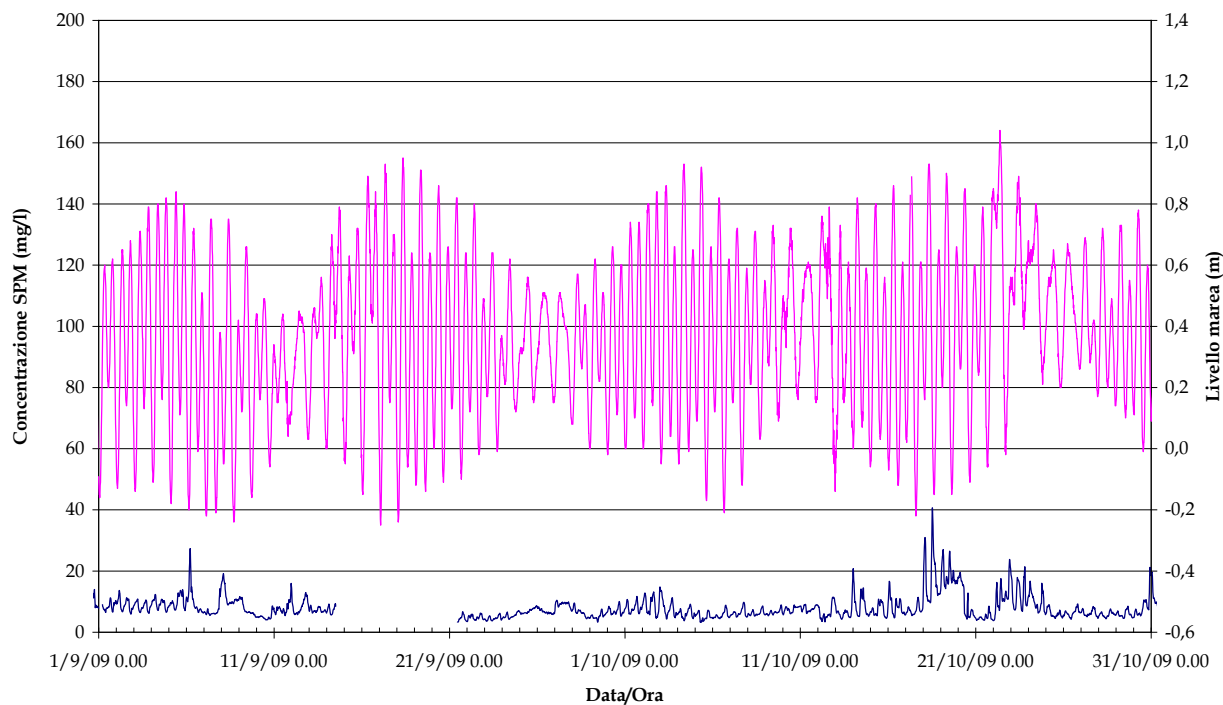
2.1 Serie temporali della torbidità/SPM

Le serie temporale del periodo Settembre-Dicembre 2009 ed i relativi grafici bimestrali della concentrazione del particolato in sospensione, in funzione del livello di marea e del vento, sono inclusi nei files del database allegato al presente Rapporto. Per quanto riguarda gli elaborati grafici vengono presentate due versioni: nella prima la concentrazione di SPM è rappresentata insieme alla curva di marea del mareografo più vicino alla stazione in questione (Diga Nord di Malamocco, Diga Sud di Chioggia, - Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia), mentre nella seconda l'SPM è rappresentato insieme all'andamento orario della velocità del vento, misurato alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR.

L'intera serie temporale del periodo di osservazione per ciascuna delle stazioni, su scala bimensile, è rappresentata nelle Figure 2.3-2.5 (in alto), insieme all'andamento del livello di marea. L'evoluzione della concentrazione in funzione dell'intensità del vento è, invece, rappresentata nelle Figure 2.3-2.5 (in basso). I risultati dell'elaborazione statistica delle informazioni disponibili per le otto stazioni sono riportati nella Tabella 2.3.

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

Stazione CHP



Stazione CHP

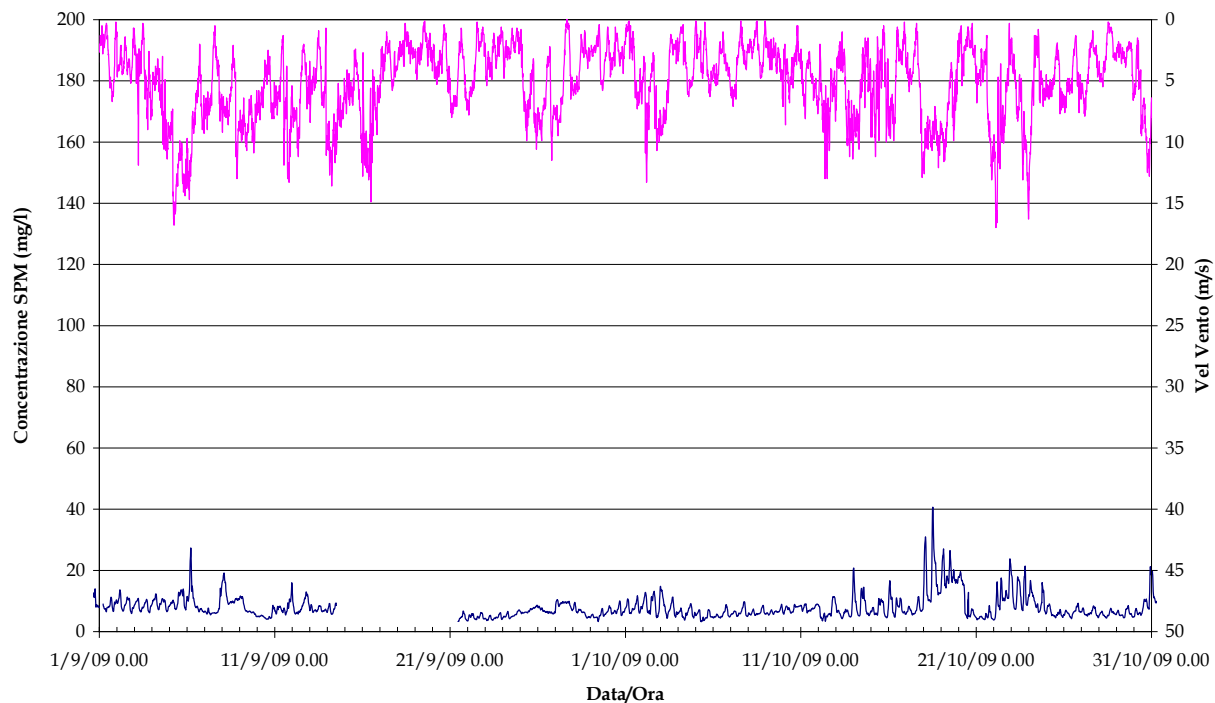


Figura 2.3 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Settembre-Ottobre 2009.

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

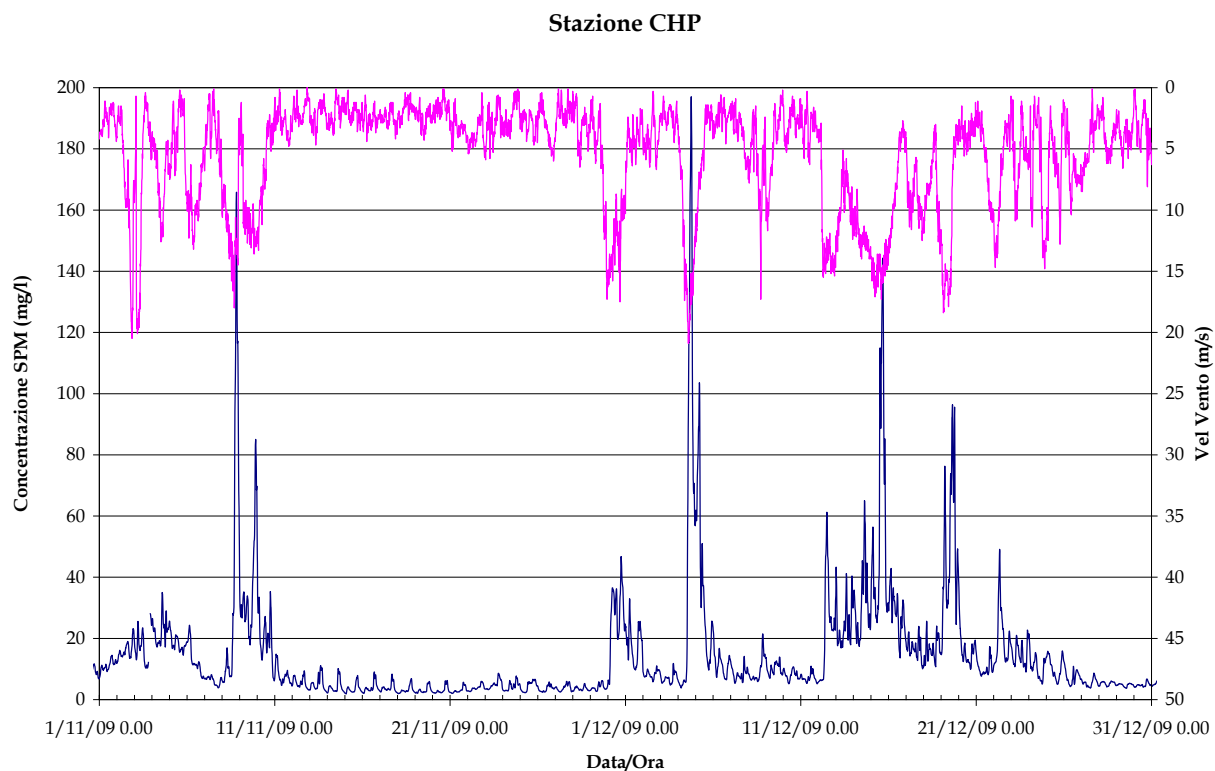
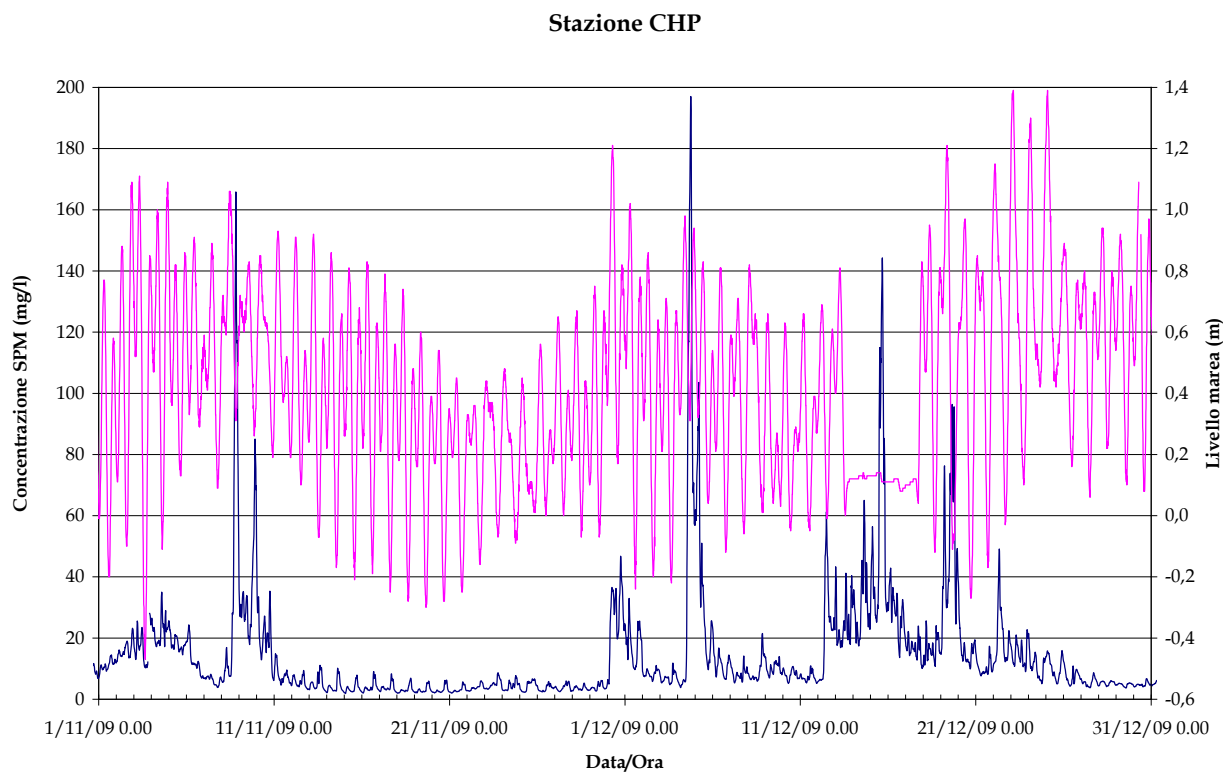
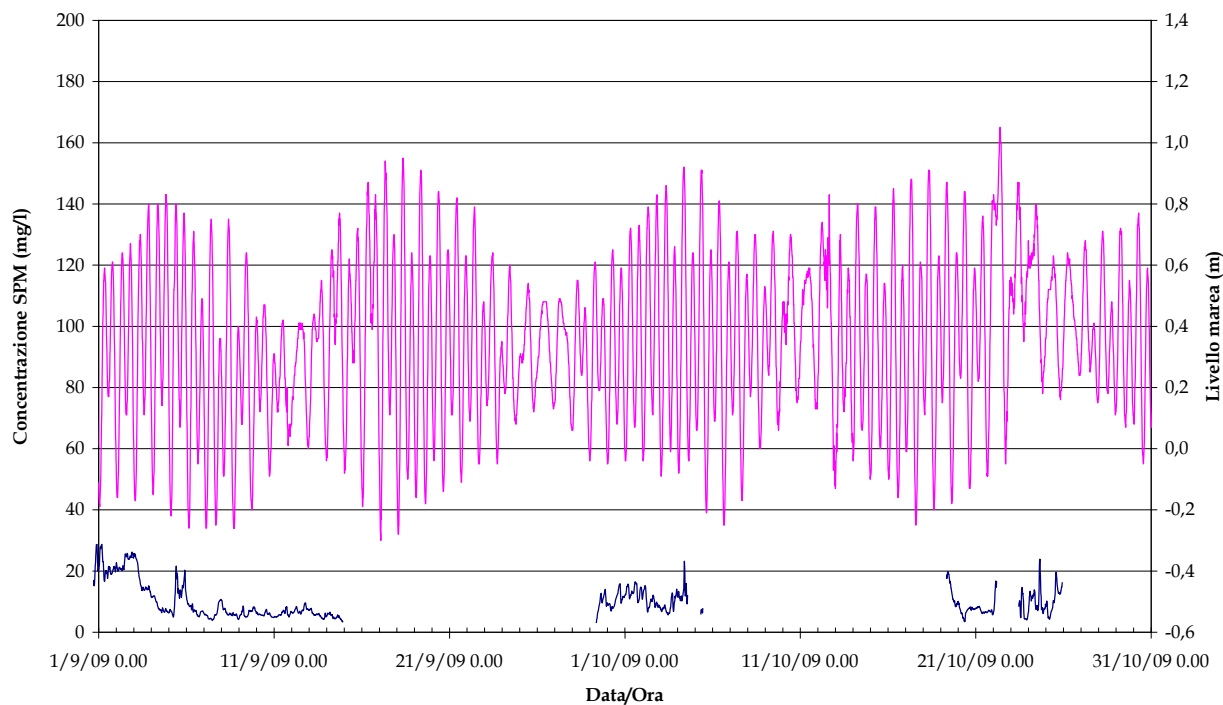


Figura 2.3 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione CHP nel periodo Novembre-Dicembre2009.

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

Stazione MAM



Stazione MAM

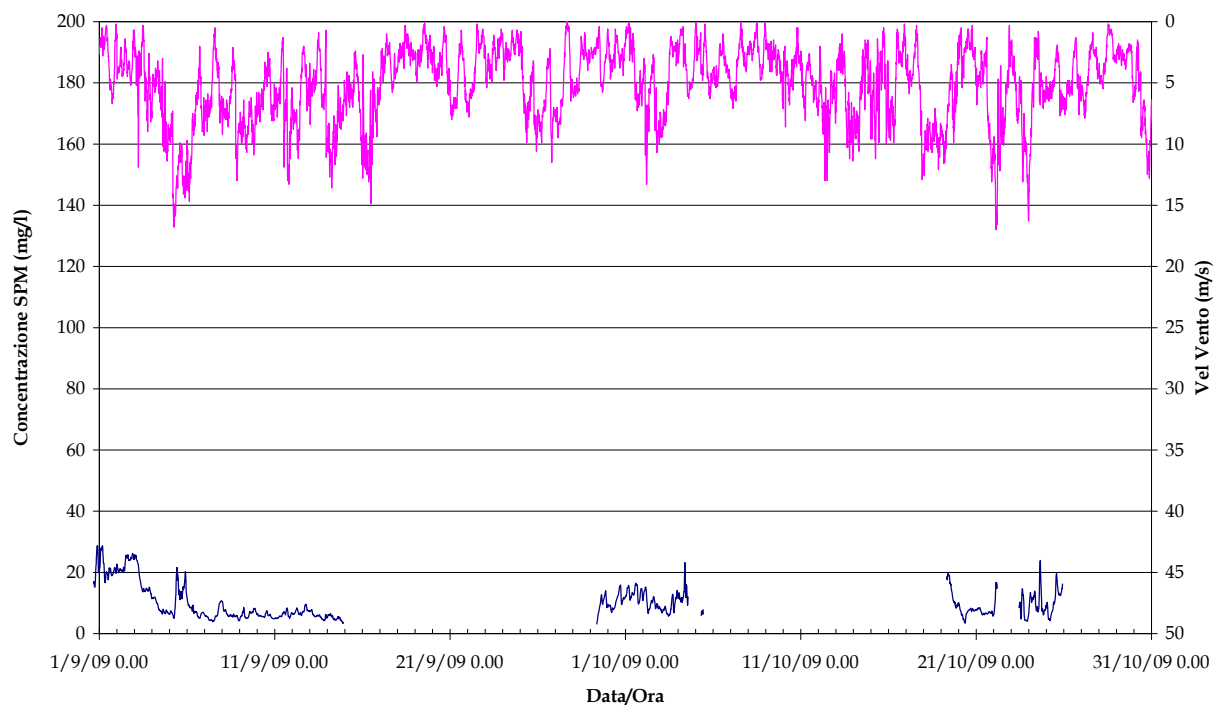
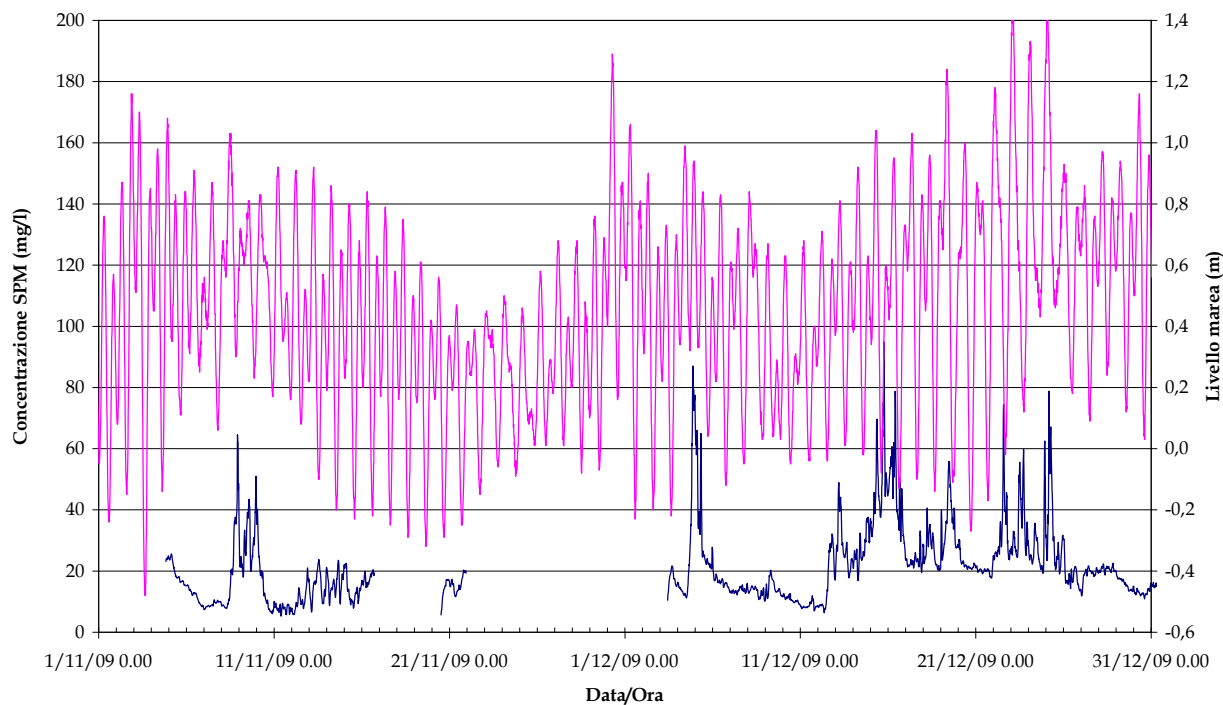


Figura 2.4 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Settembre-Ottobre 2009.

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

Stazione MAM



Stazione MAM

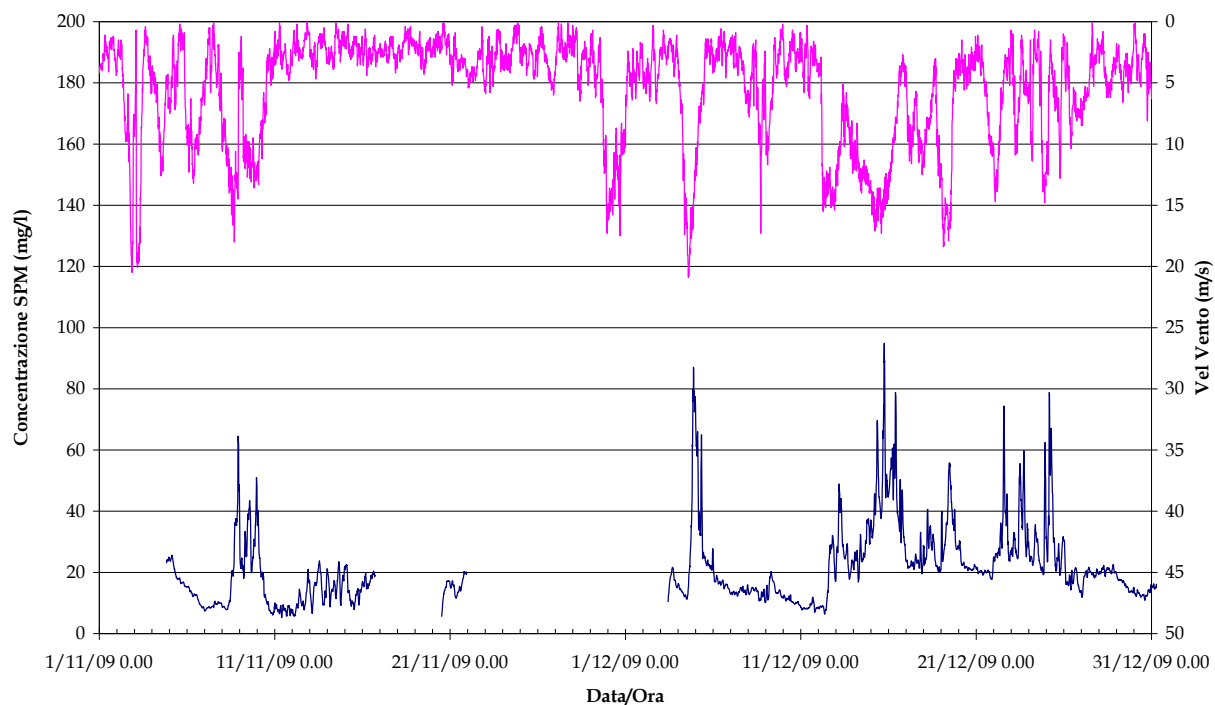


Figura 2.4 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAM nel periodo Novembre-Dicembre2009.

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

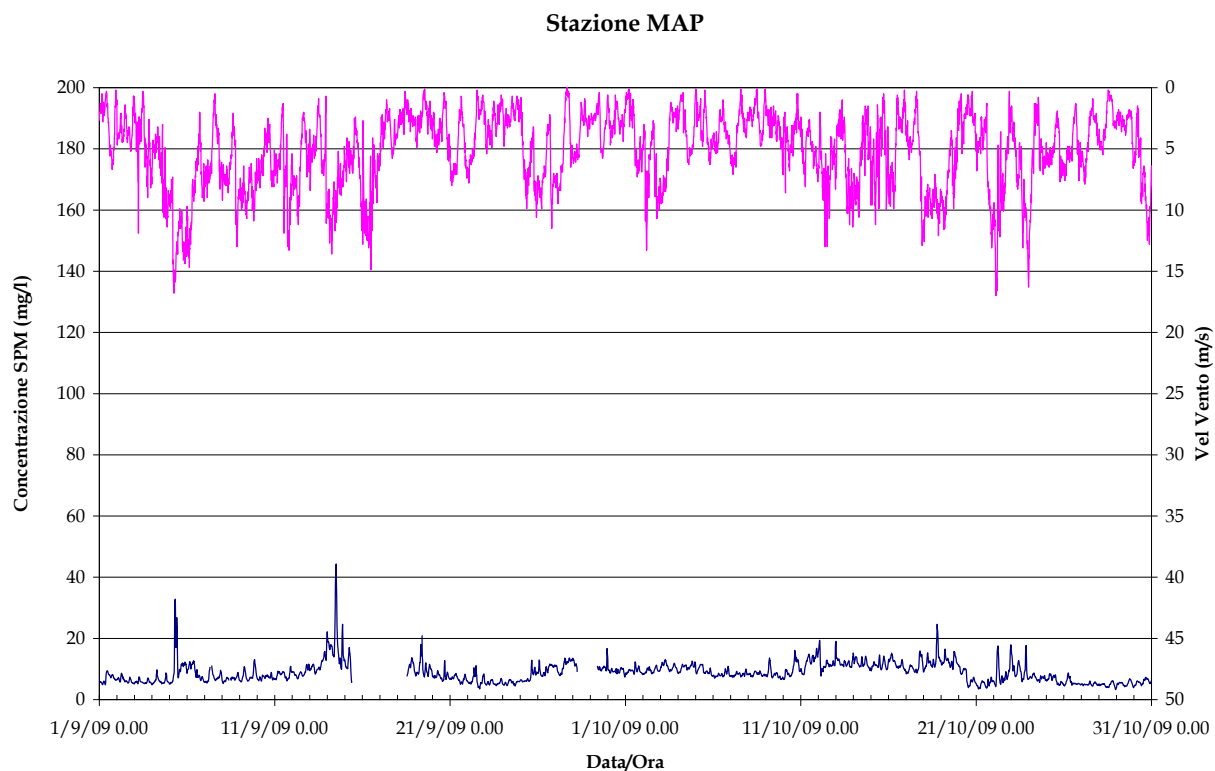
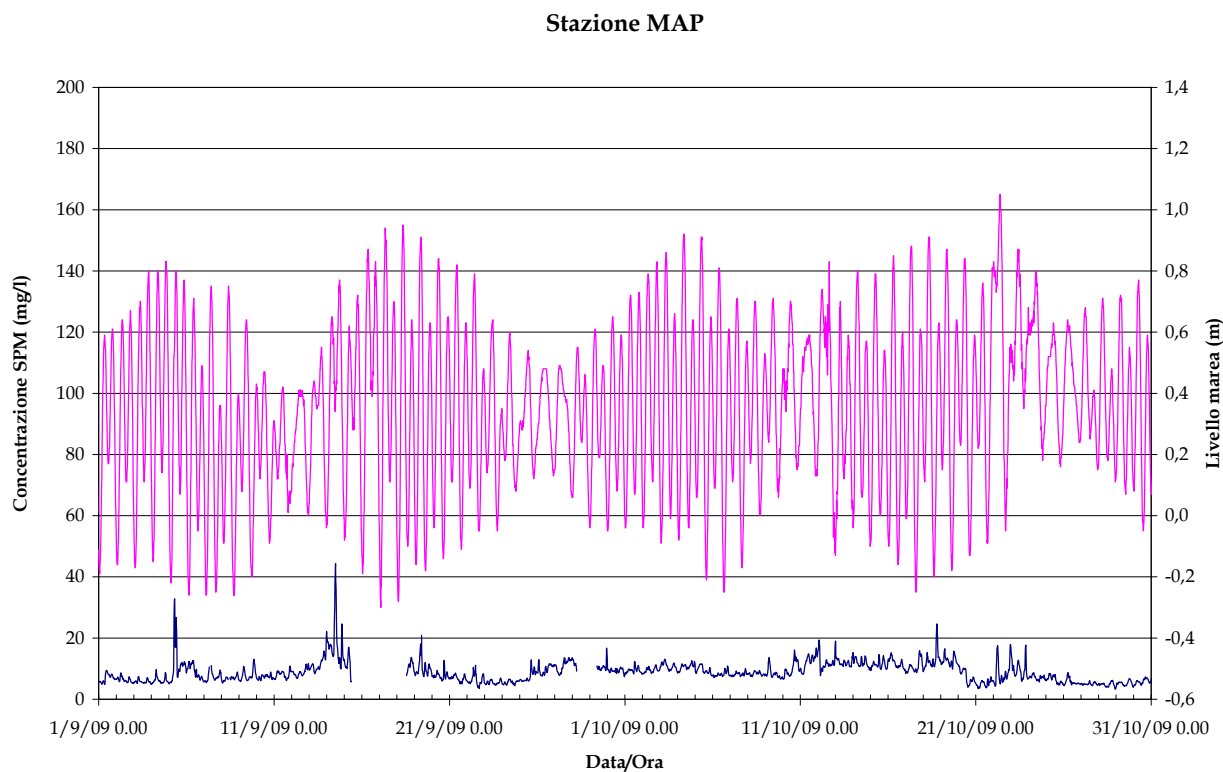


Figura 2.5 (a). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Settembre-Ottobre 2009.

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

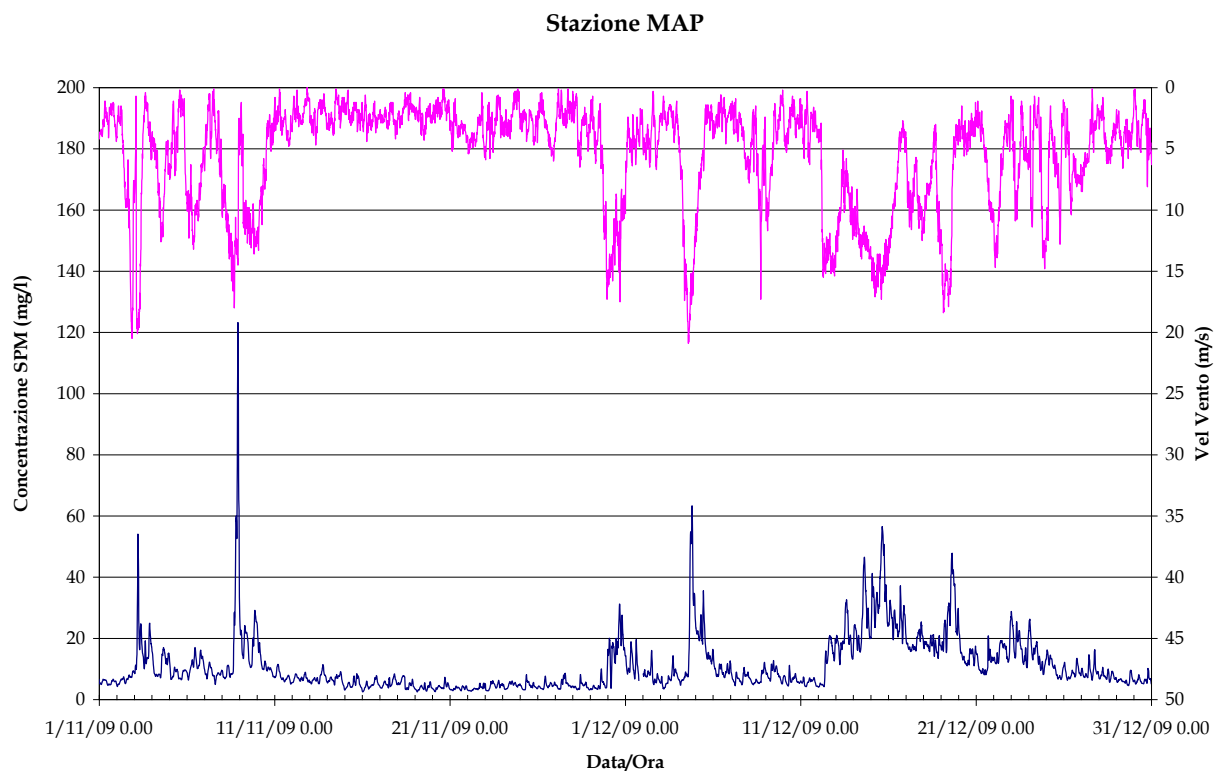
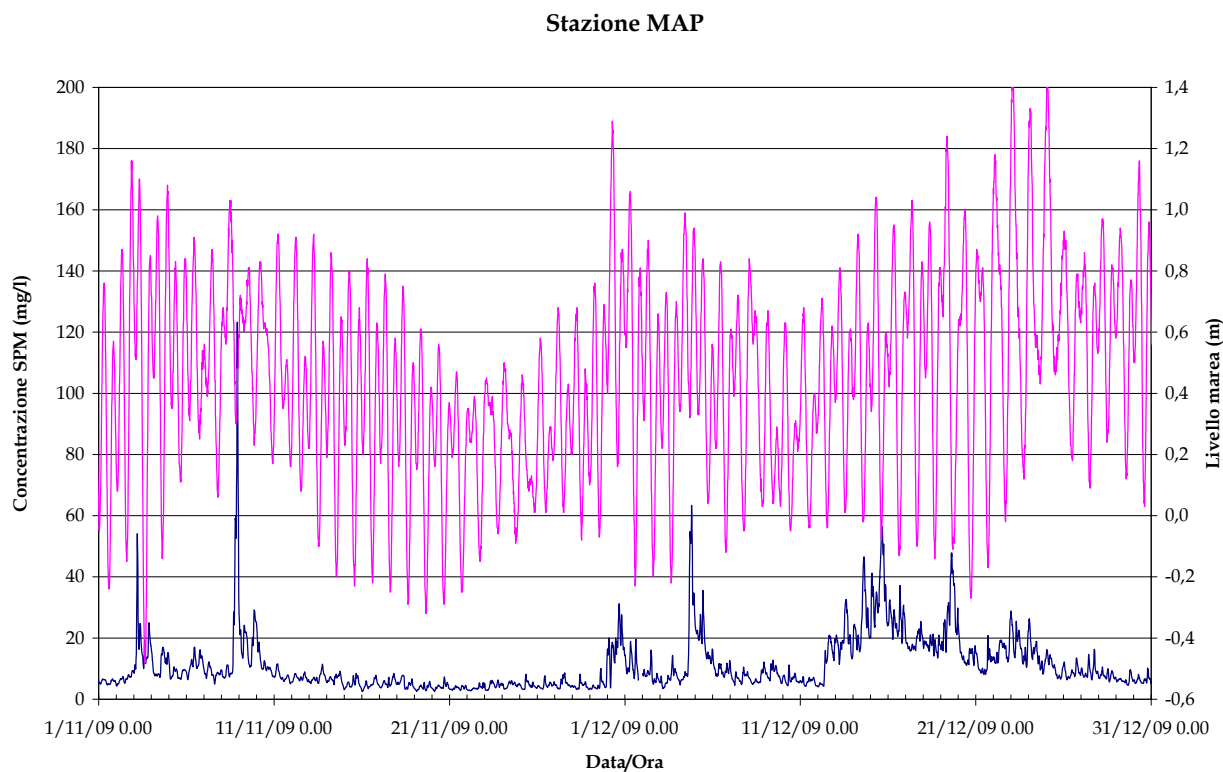


Figura 2.5 (b). Serie temporale della concentrazione di SPM e del livello idrico (in alto) e della velocità del vento (in basso) alla stazione MAP nel periodo Novembre-Dicembre2009.

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

Tabella 2.3. Parametri statistici rappresentativi delle serie temporali acquisite nelle stazioni di misura della torbidità. N_{tot} è il numero totale di dati sui quali è stata fatta l'elaborazione. Le concentrazioni sono in mg/l.

	CHP	MAM	MAP
Ntot	11022	6384	11260
Media	11.2	16.9	9.9
Dev. Std.	13.9	11.6	7.0
Max.	197.0	94.9	123.2
Min.	1.9	3.0	2.5
25° percentile	5.3	8.5	5.9
50° percentile	7.2	14.0	8.1
75° percentile	11.4	21.3	11.3
95° percentile	30.4	39.5	22.0

Per quanto riguarda il numero totale di dati disponibili, è necessario ricordare che il quadrimestre Settembre-Dicembre 2009 è stato caratterizzato da numerosi e prolungati periodi di sviluppo di *fouling* sui sensori della sonda MAM.

Il periodo autunnale è stato influenzato da una successione di eventi meteo marini che, a partire da settembre, hanno provocato aumenti della torbidità, di diversa intensità, nelle bocche di porto. Nel periodo analizzato la velocità media oraria del vento, misurata alla piattaforma oceanica "Acqua Alta" del CNR-ISMAR di Venezia, ha superato i 20 m/s in tre occasioni. I giorni 2 e 3 novembre sono stati caratterizzati da un evento di scirocco con velocità superiori ai 10 m/s per circa 5 ore che, dopo uno smorzamento durato circa 4 ore, è girato a bora, mantenendo una velocità superiore ai 13 m/s per circa 6 ore. Nel giorno 4 dicembre il vento, proveniente da nord est, ha mantenuto velocità superiore ai 15 m/s per più di 12 ore consecutive.

Per quanto riguarda le medie, come nel quadrimestre passato è evidente la somiglianza dei valori delle due stazioni all'interno delle bocche di porto (CHP con valore 11.2 mg/l e MAP 9.9 mg/l). Decisamente più elevato, invece, è il valore medio della stazione a mare MAM, che raggiunge i 17 mg/l. È necessario sottolineare, però, la scarsa rappresentatività di questa media dovuta allo scarso numero di dati (solo il 55% dei dati dell'intero quadrimestre sono stati validati e quindi utilizzati per l'analisi statistica).

Dalla tabella 2.3 risulta che i valori di torbidità massimi hanno una spiccata variabilità e che i valori più elevati si riscontrano nelle stazioni lagunari. La stazione CHP, infatti, raggiunge quasi i 200 mg/l, mentre il valore massimo registrato nella stazione a mare MAM è di 94.9 mg/l.

Passando all'analisi dei percentili, si nota come la suddivisione in due gruppi, stazioni lagunari e stazione a mare, si mantiene.

Per quanto riguarda i valori del 25° percentile, che rappresentano con una buona approssimazione le condizioni di assenza di perturbazioni nelle stazioni considerate, le stazioni collocate nelle aree

all'interno delle bocche di porto presentano valori inferiori (rispettivamente CHP 5.3 mg/l e MAP 5.9 mg/l) di quella a mare MAM (8.5 mg/l).

Osservando i valori del 50° percentile, che rappresenterebbe le condizioni più frequentemente incontrate, si nota come le concentrazioni relative ai siti in laguna CHP e MAP si aggirano attorno ai 7-8 mg/l, valori decisamente inferiori di quello della stazione a mare MAM (14.0 mg/l).

Il 75° percentile si può considerare come indicatore dei valori di torbidità relativamente elevati: carico organico particolarmente elevato, come nei mesi estivi, o eventi meteo marini di moderata intensità. Nel periodo analizzato il valore maggiore si riscontra nella stazione a mare MAM (21.3 mg/l) e risulta quasi doppio rispetto ai valori registrati nelle altre due stazioni (11.4 mg/l nella bocca di Chioggia e 11.3 mg/l in quella di Malamocco)

Infine, la distribuzione del 95° percentile è rappresentativa dei valori estremi legati al verificarsi di eventi meteo marini intensi, che possono provocare un apprezzabile innalzamento della concentrazione del materiale solido sospeso in laguna, nonché un aumento del trasporto di sedimenti lungo costa con aumenti del carico rilevabili anche nei giorni successivi all'evento. In questo caso, come accaduto anche nel quadrimestre passato, la stazione MAP presenta un valore nettamente inferiore delle altre (22.0 mg/l contro i circa 30-40 mg/l di CHP e MAM).

2.2 Analisi dei picchi di torbidità

Di seguito viene proposta, per ogni stazione, l'analisi dei picchi di torbidità in relazione alla velocità del vento.

Sono stati presi in considerazione i livelli di torbidità superiori al valore soglia di 30 mg/l ("Definizione dei valori soglia della torbidità all'interno delle bocche di porto", Studio B.6.72 B/1, settembre 2005; "Linee guida misure speditive", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2006; "Rapporto Finale", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2006).

Tabella 2.4. Analisi dei picchi di torbidità durante il periodo Settembre-Dicembre 2009. Si considera che i torbidimetri funzionino acquisendo 1 dato ogni 15 minuti; il singolo dato viene rilevato come media delle 5 acquisizioni, effettuate una al minuto, all'inizio dell'intervallo temporale di 15 minuti.

Stazione	CHP	MAM	MAP
Numero condizioni eccezionali con C>30 mg/l	515	627	223
Numero di eventi CERTAMENTE dovuti a risospensione da vento	515	627	223
Numero di eventi la cui causa non è legata alla risospensione da vento	0	0	0

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

- eventi di risospensione indotti da fenomeni naturali causati del vento locale, soprattutto bora e scirocco;
- 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), è evidente soprattutto presso la stazione a mare;
- eventi di breve o brevissima durata (nell'arco di 1 ora circa) rilevati nelle stazioni all'interno delle bocche di porto ed in laguna possono essere dovuti al passaggio di imbarcazioni di

grandi dimensioni (navi da crociera nella bocca di Lido, porta-container o navi cisterna nella bocca di Malamocco) che sono caratterizzate da un pescaggio elevato (superiore ai 9 m.);

- l'attività di dragaggio dei canali alle bocche di porto porta alla risospensione di materiale nella colonna d'acqua che può occasionalmente essere rilevato dalla strumentazione impiegata. Per una trattazione più esaustiva dell'argomento, si veda il capitolo successivo.

Gli eventi meteomarinari che hanno influenzato maggiormente le concentrazioni della torbidità, in modo peraltro non uniforme in tutta la rete, sono riportati di seguito. I valori in parentesi rappresentano il valore massimo di torbidità rilevato nel periodo:

- Brevi eventi di vento superiore a 15 m/s in settembre e ottobre (per massimo 2 ore) con poco effetto sulla torbidità rilevata nelle tre stazioni;
- 2-3 Novembre: 2 eventi caratterizzati da vento teso (scirocco il giorno 2 Novembre con velocità massima 20.5 m/s, bora il giorno 3 con velocità massima pari a 20.1 m/s) si sono susseguiti a distanza di poche ore. Effetti sulla stazione MAP (3 Novembre 54.1 mg/l);
- 8- 9 Novembre: 2 eventi con vento di bora si sono susseguiti a distanza di 6 ore. Durante il primo evento il vento ha raggiunto i 18 m/s. Effetti su tutte le stazioni: CHP (165.8 mg/l), MAM (64.5 mg/l) e MAP (123.2 mg/l);
- 29-30 Novembre: evento prolungato con vento di scirocco superiore ai 10 m/s per circa 24 ore. Effetti sulla stazione CHP (46.7 mg/l);
- Il mese di Dicembre è stato caratterizzato da una serie di eventi meteorologici di durata ed intensità variabile, che sono culminati nel verificarsi dell'eccezionale acqua alta che, nel centro storico di Venezia, ha avuto valori massimi che superarono i 130 cm nei giorni 23-25 Dicembre. Gli eventi meteorologici hanno provocato un generalizzato e prolungato innalzamento della torbidità dell'acqua per più di 10 giorni (cfr Figure 2.3-2.5). I valori massimi rilevati dai torbidimetri sono stati: CHP 197.0 mg/l (5 Dicembre), MAM 94.9 mg/l (15 Dicembre), MAP 63.3 mg/l (5 Dicembre).

2.3 Effetti delle attività di scavo sulle registrazioni delle stazioni torbidimetriche

L'obiettivo del monitoraggio è stato sia quello di acquisire i valori di torbidità di fondo ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio sia quello di verificare la dispersione della torbidità generata dalle draghe. Il pennacchio (plume) di materiale risospeso dai mezzi di scavo operanti nelle aree di cantiere nel periodo di misura non presenta un'estensione tale da interessare significativamente le stazioni fisse per la registrazione della torbidità. Il plume generato dalle draghe è stato monitorato dalla strumentazione montata su imbarcazione e segnalato nei rapporti di campagna.

Nel periodo che va da Settembre a Dicembre 2009 presso la bocca di Malamocco le attività sono state localizzate nel canale di navigazione (sovralzi e protezione dei fondali-lato laguna), presso le opere civili di alloggiamento delle porte della conca di navigazione e nell'area di fronte alla sponda del forte S. Pietro. I volumi più significativi sono stati scavati per i sovralzi e la protezione dei fondali-lato laguna (circa 1.700 m³ al giorno, per 49 giorni), mentre nell'area delle porte della conca e di fronte alla sponda del forte S. Pietro sono stati fatti lavori con volumi meno rilevanti (i volumi ammontano a circa 1.600 m³ al giorno, per 15 giorni).

Presso la bocca di Chioggia non sono state effettuate attività di dragaggio.

Per il periodo corrispondente all'intervallo Settembre-Dicembre 2009 sono stati resi disponibili dalla Direzione Lavori i volumi scavati per le seguenti opere:

- Bocca di Malamocco: OP/326: dal 9/09/09 al 30/11/2009;

OP/414-2: dal 7 al 18/09/2009;

OP/482: dal 1/09/09 al 16/12/2009.

2.4 Struttura dell'archivio dei dati

L'archivio dei dati, allegato al presente Rapporto, raggruppa le serie temporali di ciascuna delle otto stazioni. Le serie temporali sono organizzate in file, ciascuno dei quali contiene le acquisizioni di una singola stazione ed è identificato con la sigla della stazione stessa secondo lo schema della Tabella 1.1.

Ogni cartella, in formato Microsoft Excel comprende una serie di fogli che contengono:

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

3. BIBLIOGRAFIA

- ANPA. "Le principali metodiche di campionamento e analisi del particolato in sospensione in ambienti acquatici. Rassegna bibliografica", Serie Documenti 9/1999, Settembre 1999.
- Casamitjana, X., Serra, T., Soler, M. and Colomer, J. 2002. A study of the evolution of the particle boundary layer in a reservoir, using laser particle sizing, *Water Research*, 36, 4293-4300.
- Fugate, D.C. and Friedrichs, C.T. 2002. Determining concentration and fall velocity of estuarine particle populations using ADV, OBS and LISST, *Continental Shelf Research*, 22, 1867-1886.
- Gartner, J.W., Cheng, R.T., Wang, P. and Richter, K. 2001. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations, *Marine Geology*, 175, 199-219.
- Hecht, E. 1987. Optics, 2nd edition. Addison Wesley.
- Idronaut Srl. "OceanSeven 304 CTD-T OPERATOR MANUAL", Brugherio (Milan), February 2005
- Idronaut Srl. "Seapoint Turbidity Meter USER MANUAL", Brugherio (Milan), March 2005
- InterOcean Systems Inc. "S4 CURRENT METER USER MANUAL (Rev B)", June 1995
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto di Pianificazione Operativa, Venezia, Novembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto di Variabilità Attesa, Venezia, Novembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Dicembre 2006. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/2 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2007. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/3 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Rapporto Finale, Venezia, Luglio 2008. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 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", I Rapporto di Valutazione, Venezia, Settembre 2009. 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", Disciplinary Tecnico CVN/Technital, Venezia, Giugno 2003
- Magistrato Alle Acque, 2006. Nuovi Interventi per la salvaguardia di Venezia (Convenzione rep. 7191 del 04/10/1991, a.a. rep. 8100 del 19/12/2005, Legge 29.11.1984 n. 798). Studio B.6.72 B/2, Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari, 2ª fase, p.8.

- McCandliss, R.R., Jones, S.E., Hearn, M., Latter, R. and Jago, C.F. 2002. Dynamics of suspended particles in coastal waters (southern North Sea) during a spring bloom, *Journal of Sea Research*, 47, 285-302.
- Middleton, G. V. 1976. Hydraulic interpretation of sand size distribution, *Journal of Geology*, 84, 405-426.
- Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2000. In situ particle size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume, *Marine Geology*, 170, 443-459.
- Mikkelsen, O.A. and Pejrup, M. 2001. The use of a LISST-100 laser particle sizer for in-situ estimates of floc size, density and settling velocity, *Geo-Marine Letters*, 20, 187-195.
- Sequoia Scientific Inc., 2004. LISST-100X Particle Size Analyzer, User's Manual, Version 4.60, p. 76.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios, *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 151-158.
- Simionato F. "Sistema di posizionamento della strumentazione utilizzato nelle stazioni a mare della rete di stazioni fisse per il rilievo della torbidità in continuo", Nota Tecnica T.N. n. 204, CNR-ISMAR Venezia, Aprile 2006
- Traykovski, P., Latter, R.J. and Irish, J.D. 1999. A laboratory evaluation of the laser in situ scattering and transmissometry instrument using natural sediments, *Marine Geology*, 159, 355-367.
- 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.