



**STUDIO B.6.72 B/I
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL
MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI
DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE
BOCCHIE LAGUNARI**

Contratto prot.n. 31572 si/gce/fbe

RAPPORTO DI PIANIFICAZIONE OPERATIVA

Area: Matrice acqua

15 novembre 2006

**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

Supervisore macroattività	Supervisore macroattività	Responsabile d'Area	Approvazione
<u>Dott. Luca Zaggia</u>	<u>Dott. Miroslav Gačić</u>	<u>Prof. Giampaolo Di Silvio</u>	<u>Ing. Pierpaolo Campostrini</u>

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

Indice

1.	Introduzione	3
2.	Stima della produzione di torbida e di trasporto del materiale sospeso	4
2.1	Modalità di esecuzione delle misure	4
2.2	Strumentazione impiegata	6
2.2.1	Misure di corrente (e backscattering)	6
2.2.2	Proprietà fisiche della colonna d'acqua.....	8
2.3	Prelievo di campioni d'acqua	10
2.4	Posizionamento ed orario di riferimento.....	10
2.5	Determinazione del Particellato Solido Sospeso.....	11
2.6	Calibrazione dei dati di Backscattering Acustico	11
2.7	Riferimenti Bibliografici	12
3.	Rilevazione della torbidità in continuo.....	13
3.1	La rete di stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.....	14
3.2	Strumentazione per la misura della torbidità	17
3.3	Descrizione dell'attività di gestione della rete di stazioni fisse.....	19
3.4	Metodologia per il trattamento dei dati registrati.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
3.5	Riferimenti bibliografici	20

1. INTRODUZIONE

Il presente documento descrive in dettaglio la strumentazione usata, le metodologie operative delle campagne di misura, le operazioni preliminari effettuate sulla strumentazione e sull'imbarcazione impiegate per lo svolgimento delle misure del flusso di particellato solido sospeso generato dalle attività di cantiere, come previste dal Disciplinare Tecnico per le attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari (Magistrato delle Acque, Nuovi Interventi per la Salvaguardia di Venezia, Studio B.6.72 B/I, 2004).

Le attività descritte nel Disciplinare Tecnico prevedono, infatti, di monitorare la torbidità generata dalle operazioni di scavo come:

- A) torbidità prodotta direttamente dai sistemi di scavo (draghe);
- B) dispersione spaziale del particellato sospeso.

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.

Le campagne di misura, condotte per periodi limitati di tempo, ma ripetuti per ciascuna Bocca di Porto, sono mirate alla caratterizzazione della sorgente di torbida nelle diverse condizioni operative ed in particolare:

- i sistemi e le modalità di dragaggio utilizzati;
- le condizioni meteo-marine durante le operazioni di scavo (moto ondoso, correnti di marea);
- le caratteristiche granulometriche dei sedimenti, che generano il materiale sospeso.

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 mediata della distribuzione spaziale del particellato sospeso al variare dei campi di corrente nei diversi cicli di marea.

Il CORILA ha affidato all'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS ed all'Istituto di Scienze Marine ISMAR - CNR di Venezia l'incarico di eseguire le attività necessarie al Piano di Monitoraggio di cui sopra.

2. STIMA DELLA PRODUZIONE DI TORBIDA E DI TRASPORTO DEL MATERIALE SOSPESO

Tutte le attività di dragaggio causano un impatto ambientale poiché determinano variazioni della morfologia locale, attraverso cambiamenti della topografia dei fondali, sia nell'area interessata dallo scavo che nell'area destinata alla ricollocazione del materiale dragato. Vi sono, poi, una serie di effetti, direttamente connessi alla conduzione stessa delle attività di cantiere, che comprendono principalmente l'aumento della torbidità lungo la colonna d'acqua, il potenziale disturbo del comparto biotico, il possibile rilascio di contaminanti durante lo scavo, il rumore prodotto dagli impianti e l'impatto visivo dei natanti impegnati nello scavo. È necessario, dunque, che ogni progetto di dragaggio sia preceduto da uno studio dettagliato, che stabilisca le condizioni ambientali esistenti nell'area di intervento, identifichi gli impatti potenziali degli interventi a breve e lungo termine, fornisca una base di dati da cui partire per il monitoraggio delle attività di scavo e proponga dei metodi per ridurre a livelli accettabili gli impatti.

L'effetto certamente più immediato del dragaggio è l'aumento della risospensione di sedimenti lungo la colonna d'acqua. La sua intensità dipende dalle condizioni idrodinamiche e dalla qualità dell'acqua nell'area di scavo, dal tipo di suolo dragato e dalle modalità di dragaggio adottate. È importante sottolineare che è impossibile stabilire in modo esatto il tasso e le modalità di rilascio nella colonna d'acqua di particellato solido in sospensione (SPM) durante un'operazione di dragaggio come pure gli effetti ecologici derivanti dall'aumento della risospensione di sedimento. Per la complessità dei processi che intervengono in questo particolare ambito, prima di affrontare uno studio, è necessario definire un programma di monitoraggio delle attività in sincronia con le operazioni di scavo ed in grado di consentire l'acquisizione di un numero adeguato di misure affidabili, sufficienti a tracciare in modo dettagliato il percorso del pennacchio di sedimenti prodotto e la sua evoluzione nel tempo. Inoltre, il programma di monitoraggio deve permettere di verificare se le possibili restrizioni da imporre alle attività di dragaggio sono realistiche e garantiscono un livello adeguato di protezione all'ambiente. In generale, è preferibile applicare un approccio precauzionale, che, però, dovrà essere supportato e validato dai dati sperimentali acquisiti.

2.1 Modalità di esecuzione delle misure

In ciascun canale delle tre Bocche di Porto sono previste dal Disciplinare Tecnico 6 settimane effettive di misurazioni (campagne di misura). La Bocca di Lido viene considerata suddivisa in due parti distinte: il canale Treporti ed il Canale S. Nicolò. Le due parti verranno monitorate separatamente e, pertanto, l'attività complessiva sarà di 24 settimane.

Ciascuna campagna di misura, della durata di 5 giorni, viene eseguita all'interno del canale di bocca, in cui operano le draghe, e ripetuta nel corso del primo anno di attività dei cantieri.

Lo scopo delle campagne è quello di caratterizzare la sorgente e la produzione di materiale sospeso attraverso l'esecuzione di misure di torbidità e di trasporto del materiale sospeso. La torbidità dipende essenzialmente dal sistema di dragaggio utilizzato e dal tipo di benna; mentre la dispersione del particellato sospeso dalle condizioni meteo-marine (marea, intensità della corrente, moto ondoso, ecc.) e dalle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

Le attività di monitoraggio e misura vengono eseguite utilizzando un'imbarcazione equipaggiata con un sistema strumentale, che comprende un correntometro acustico ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ed un sistema profilatore integrato, costituito da una sonda CTD, un torbidimetro

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

a sensore ottico OBS (Optical Backscatter Sensor) ed un campionatore multiplo Rosette®, per il prelievo di campioni d'acqua a varie profondità.

L'apparato strumentale è completato da un verricello comandato a mano o elettricamente e da un sistema computerizzato per la gestione della strumentazione e l'acquisizione dei dati.

I rilievi eseguiti durante le attività possono essere di due tipi:

- in prossimità delle operazioni di dragaggio, girando attorno alla draga; oppure effettuando dei transetti "a zig-zag" allontanandosi dalla draga (lungo la direzione di dispersione del pennacchio);
- in sezioni di bocca, a monte ed a valle dell'area di scavo in cui opera la draga.

Nel primo caso l'imbarcazione, posizionata ad una distanza opportuna dalla draga, segue una rotta circolare attorno alla stessa, mantenendosi il più possibile ad una distanza costante. Nel secondo caso, invece, l'imbarcazione segue un "transetto" muovendosi su una sezione trasversale alla bocca per tutta la sua larghezza. Il transetto può essere effettuato a monte dell'area di scavo, per caratterizzare le condizioni della sezione in assenza di perturbazione, o a valle della stessa e a diverse distanze dalla zona di lavoro, per caratterizzare l'entità e l'estensione del pennacchio di materiale risospeso e la sua persistenza.

Durante ciascuno spostamento, sia esso transetto o percorso intorno alla draga, viene registrato il segnale di backscattering del correntometro acustico ADCP posizionato sulla fiancata dell'imbarcazione, appena sotto la superficie dell'acqua e rivolto verso il fondo. Subito dopo il completamento del transetto, su uno o più punti della sezione considerata vengono eseguiti uno o più profili CTD e di torbidità e, contemporaneamente, prelevati campioni d'acqua (500 - 1000 ml) a differenti profondità.

Su tali campioni vengono successivamente determinate le concentrazioni del particolato solido sospeso, utili per la taratura del sensore di torbidità del tipo OBS integrato nella sonda e, quindi, dei dati grezzi di backscattering acquisiti dal correntometro ADCP.

L'imbarcazione con l'ADCP ed il sistema profilatore/campionatore esegue in sequenza le misure nelle diverse sezioni.

Un ciclo di misure è generalmente costituito da:

- l'esecuzione di un transetto da una riva all'altra in andata e ritorno;
- l'esecuzione di almeno un profilo CTD e di torbidità su una verticale lungo il transetto stesso;
- la raccolta di campioni d'acqua (chiusura delle bottiglie in tempo reale) a quote stabilite durante l'esecuzione del profilo CTD e di torbidità;
- il trasferimento dei campioni d'acqua dalle bottiglie di campionamento della Rosette ai contenitori in PET, utilizzati per la conservazione ed il trasporto dei campioni.

Il completamento di un intero ciclo di misura avviene in un intervallo di tempo compreso tra 20 e 30 minuti.

L'imbarcazione è anche dotata di sistema DGPS (Sistema EGNOS), collegato al sistema di acquisizione dei dati. È, quindi, possibile registrare le coordinate, espresse nel sistema di riferimento WGS 84, dei punti di inizio e di fine di ogni transetto e dei punti nei quali sono stati effettuati i profili CTD e di torbidità e la contemporanea raccolta dei campioni d'acqua. L'accuratezza delle misure di posizione, in condizioni dinamiche, risulta pari a circa +/- 5 m.

2.2 Strumentazione impiegata

2.2.1 Misure di corrente (e backscattering)

Le misure di corrente vengono effettuate dall'imbarcazione in movimento mediante ADCP (Workhorse Rio Grande 600 kHz [Technical Manual, 2002] - River Direct Reading ADCP™, RD Instruments, CA-USA), installato a bordo di un natante, che percorre a bassa velocità ed a scansione temporale costante la sezione di misura. Le caratteristiche dello strumento sono riportate nella Tabella 2.1.

Tabella 2.1. Caratteristiche Workhorse Rio Grande ADCP.

Accuratezza	Risoluzione	Range
$\pm 0.25\%$ della velocità (acqua + imbarcazione)	1 mm/s	± 3 m/s
± 2.5 mm/s		range massimo ± 20 m/s

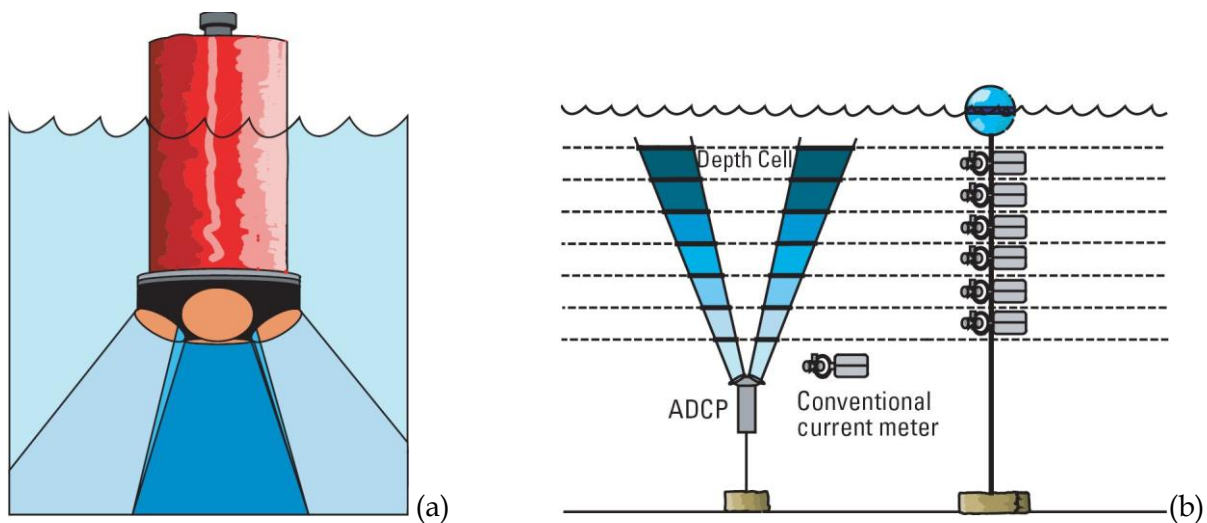


Figura 2.1. (a) Visione schematica del profilatore acustico Doppler ADCP. Sono evidenziate le traiettorie del segnale acustico che si origina dai 4 trasduttori rivolti verso il basso. (b) Schema della suddivisione del segnale emesso in celle (bins) lungo la verticale (ensemble) per uno strumento montato sul fondo.

L'ADCP è dotato di quattro trasduttori (Figura 2.1a) posizionati nella parte inferiore dello strumento, ognuno dei quali emette una serie di impulsi acustici che vengono riflessi (fenomeno di backscattering) dalle particelle solide in sospensione lungo la colonna d'acqua. L'eco di ritorno prodotto viene suddiviso (Figura 2.1b), in funzione del tempo di ricezione, in celle (o bins), ognuna corrispondente all'intervallo di campionamento scelto (nel nostro caso 50 cm) e posizionata ad una certa quota lungo la verticale (o ensemble).

La dimensione verticale delle celle è impostata dall'operatore, mentre quella orizzontale dipende dalla velocità dell'imbarcazione.

Le velocità sono quindi ottenute dal ritardo con cui lo strumento registra l'eco di ritorno riflesso dal particellato presente nella colonna d'acqua. La velocità e la direzione della corrente sono calcolate come media pesata dei valori misurati nella cella e sono attribuite al centro della cella stessa.

La combinazione, in sede di post-elaborazione, dei dati delle singole misure (ping) in ensemble costituiti da più ping, consente di ottenere un compromesso ottimale fra l'accuratezza della misura di velocità nelle singole celle e la risoluzione orizzontale delle misure.

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

Durante l'acquisizione di un transetto lo strumento esegue delle misure complementari, che sono necessarie per tracciare il profilo del fondo (funzione bottom tracking). Inoltre, sono disponibili varie modalità di profilazione (water mode profiling) che consentono di eseguire le misure di velocità e direzione in diversi strati, fino a 128, a partire da profondità minime di alcune decine di cm, fino alle profondità massime rilevate nelle diverse sezioni.

Le diverse modalità di profilazione consentono di adattare il funzionamento dell'ADCP alle differenti condizioni di flusso, in modo da garantire le migliori prestazioni rispetto anche alle caratteristiche della sezione di misura (profondità e geometria).

A titolo di esempio vengono riportate nella Tabella 2.2 le caratteristiche delle diverse funzioni operative.

Tabella 2.2. Caratteristiche delle funzioni operative dell'ADCP.

	Dim. celle (m)	Dev. std (mm/s)	Prof. centro I ^a cella (m)	Prof. min (m)	Prof. max (m)
General profiling Mode (Modo 1)	0.5	70	0.8	1.5	14
	1	30	1.3	2.5	16
	2	20	2.3	4.4	18
High Resolution water profiling mode (velocità relativa max 1 m/s)	0.05	150	0.3	0.4	2
	0.1	100	0.3	0.5	2
	0.25	60	0.4	0.6	2

Le condizioni operative (risoluzione verticale e modalità operativa) possono essere ottimizzate sul campo oppure programmate in precedenza attraverso uno specifico software per la configurazione dello strumento e la valutazione preliminare della qualità del dato (PlanADCP vers. 2.02 della RD Instruments). Inoltre l'ADCP è configurato per effettuare profilazioni correntometriche in lettura diretta e quindi i dati vengono acquisiti in tempo reale, attraverso Personal Computer, mediante il software WinRiver ver. 1.06 della RD Instruments.

Per le misure riguardanti l'attività prevista dal Disciplinare Tecnico, l'ADCP è stato configurato impostando la modalità di profilazione High Resolution water profiling mode (Modo 12).

Il Modo 12 è una versione migliorata del Modo 1, la quale consente di lavorare con impulsi multipli e, quindi, frequenze di campionamento più elevate, ottenendo, in questo modo, deviazioni standard inferiori a parità di dimensione della cella, oppure deviazioni standard comparabili, ma con un aumento significativamente della risoluzione verticale delle misure.

Nella Tabella 2.3 sono riassunte le caratteristiche della configurazione tipo impiegata nelle campagne di misura alle Bocche lagunari. La dimensione delle celle è pari a 50 cm, come indicato in Tabella 2.2.3. Il numero delle celle e di conseguenza i parametri di configurazione illustrati, possono venir modificati in funzione delle caratteristiche specifiche delle sezioni d'indagine e delle condizioni ambientali presenti nel sito di misura.

Tabella 2.3. Caratteristiche generali della modalità operativa Modo 12 dell'ADCP.

High Resolution water profiling mode	Dim. cella (m)	Prof. centro I ^a cella (m)	Prof. centro ultima cella (m)	Dev. std (mm/s)	Prof. max (m)
MODO 12	0.5	1.25	15.75	38	24.6

Ci sono alcune zone in cui le possibilità operative dello strumento sono limitate, come illustrato in modo schematico in Figura 2.2. L'ADCP non è in grado di acquisire in superficie nello strato d'acqua in cui è immerso e nello strato immediatamente sottostante (blanking zone) in quanto lo strumento deve avere il tempo necessario a registrare l'eco di ritorno dopo la trasmissione. Altre zone di blanking sono localizzate in corrispondenza del fondale dove i lobi laterali (side lobes) del segnale emesso dal trasduttore raggiungono il fondo prima del lobo principale, interferendo così con la misura; e delle estremità della sezione, dove il natante non può essere condotto e le aree di blanking sopra descritte convergono.

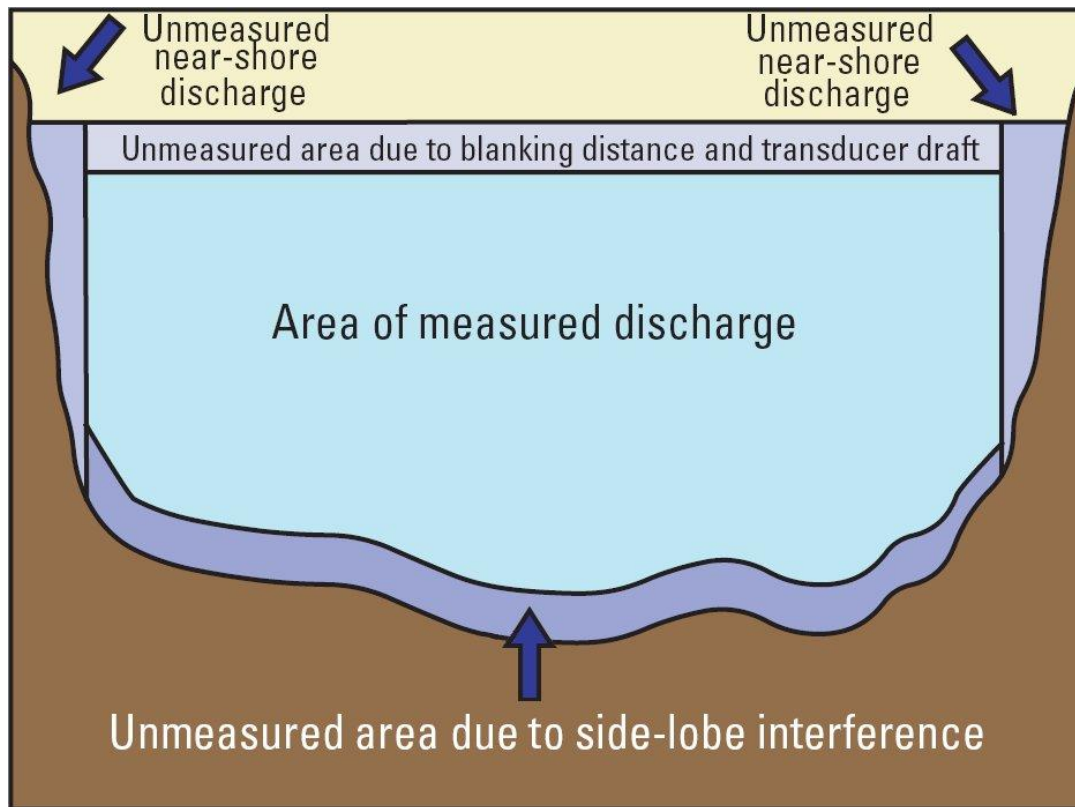


Figura 2.2. Schematizzazione delle aree di misura dell'ADCP.

I valori delle zone di buio vengono automaticamente stimati dallo strumento, secondo funzioni impostate dall'utente che possono essere ottimizzate in fase di post-elaborazione.

2.2.2 Proprietà fisiche della colonna d'acqua

In ciascuna delle sezioni corrispondenti ai transetti possono venire individuate da 1 a 3 verticali lungo le quali si eseguono profili di temperatura, conducibilità, torbidità, pH e ossigeno disciolto. Le misure sono effettuate mediante una sonda OCEAN SEVEN 316 CTD, Idronaut, Italia [OCEAN SEVEN 316/319 CTD Multiparameter Probes - Operator's Manual, 2002], oppure mediante una sonda SBE 19plus SEACAT Profiler [SBE 19plus SEACAT PROFILER - User Manual, Version 012 - Sea-Bird Electronics, Inc. Washington USA].

Trattandosi di attività necessarie alla calibrazione del segnale di backscattering registrato dall'ADCP durante i transetti (vedi paragrafo 2.6), i profili vengono eseguiti in numero e modalità diverse a discrezione degli operatori in campo, in base alle condizioni operative, in particolare alla profondità della sezione di bocca ed al numero di campioni d'acqua che si decide di raccogliere.

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

Simultaneamente all'esecuzione del profilo verticale delle variabili chimico-fisiche viene attivato l'ADCP, in modo da registrare una serie di dati da utilizzare per la conversione del backscattering acustico in valori di concentrazione (paragrafo 2.6).

L'unità di misura della torbidità, registrata dall'OBS, è FTU (Formazin Turbidity Units) che è lo standard più comunemente usato. La formazina è la sostanza usata per la calibrazione dello strumento.

Le caratteristiche dei sensori utilizzati per le misure lungo la colonna d'acqua sono riportate nelle Tabelle 2.4-5.

Tabella 2.4. Caratteristiche dei sensori utilizzati per le misure lungo la colonna d'acqua della sonda OCEAN SEVEN 316 CTD.

Sensore	Range di misura	Accuratezza	Sensibilità
Pressione	0 ÷ 200 dbar	0.1% f.s.	0.03%
Temperatura	-3 ÷ +50 °C	0.003 °C	0.0005 °C
Conducibilità	0 ÷ 64 mS/cm	0.003 mS/cm	0.001 mS/cm
Ossigeno Disciolto	0 ÷ 50 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm
pH	0 ÷ 14	0.01	0.001
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.

Tabella 2.5. Caratteristiche dei sensori utilizzati per le misure lungo la colonna d'acqua della sonda SBE 19plus SEACAT Profiler.

Sensore	Range di misura	Accuratezza	Stabilità (nel mese)	Risoluzione	Campionamento massimo
Pressione	0 ÷ 110 dbar	0.1% f.s.	0.004% fondo scala	0.002% del range	
Temperatura	-5 ÷ +35 °C	0.005 °C	0.0002 °C	0.0001 °C	
Conducibilità	0 ÷ 9 S/m	0.0005 S/m	0.0003 S/m	0.00005 S/m	
OBS-3	0 ÷ 100 FTU	+/- 0.1 FTU			10 Hz
	100 ÷ 500 FTU	+/- 1 FTU			
	5000 ÷ 2000 FTU	+/- 5 FTU			

Il torbidimetro montato sulla sonda CTD OCEAN SEVEN 316 è del tipo Seapoint Turbidity Meter (Seapoint Sensor, Inc., USA) ed è in grado di rilevare il backscattering ottico, dovuto alle particelle sospese nell'acqua, generando una tensione di uscita proporzionale alla torbidità o alla concentrazione del particolato sospeso. La particolarità del sensore sta nel fatto che il fondo scala è controllato da un microprocessore, che sceglie automaticamente il range di misura e la risoluzione più appropriati alle caratteristiche delle acque in cui opera.

La sonda SBE 19plus SEACAT Profiler è munita di un sensore ottico per la misura della torbidità OBS-3 Optical Backscatter Sensor prodotto dalla D&A Instrument Company USA [OBS-3

Suspended Solids & Turbidity Monitor – Instruction Manual, Rev. 3/91]. Lo strumento misura la torbidità mediante il rilevamento della radiazione infrarossa dispersa dal materiale sospeso.

2.3 Prelievo di campioni d'acqua

Le misure di torbidità lungo la colonna d'acqua sono misure ottiche e non rappresentano i valori di concentrazione in mg/l; è necessario, quindi, che, in corrispondenza delle verticali su cui si effettuano i profili di torbidità, vengano prelevati campioni d'acqua a diverse quote. Su tali campioni vengono successivamente determinate le concentrazioni del particolato sospeso, ed, eventualmente, la sua distribuzione granulometrica. Mediante questi dati è possibile ottenere una curva di calibrazione per la stima delle concentrazioni, espresse in (mg/l), a partire dalle acquisizioni del sensore di torbidità, espresse in FTU. Le concentrazioni misurate sono anche utilizzate per la calibrazione del backscattering acustico registrato dall'ADCP, come descritto nel paragrafo 2.6.

I campioni d'acqua vengono raccolti tramite il sistema Model 1014 Mini-Rosette® Multibottle Water Sampling (General Oceanics, Inc. FL-USA) [Model 1014 Mini-Rosette® Multibottle Water Sampling - Operating Manual, 2003], in grado di montare fino a 12 bottiglie di campionamento del tipo Niskin con capacità variabile da 500 ml a 2.5 litri. In alternativa a tale sistema, si utilizza un sistema a rosette SBE 32SC Subcompact Carousel Water Sampler (Sea-Bird Electronics, INC. Washington USA) [SBE 32SC Subcompact Carousel Water Sample – User Manual, Version 013], equipaggiato con 6 bottiglie tipo Niskin con capacità di 1,7 litri.

Le bottiglie Niskin sono cilindri di materiale plastico, aperti su entrambi i lati e montati verticalmente, che vengono chiusi in sequenza con un comando impartito dall'operatore, quando viene raggiunta la profondità di prelievo.

Il sistema di campionamento può, inoltre, montare, al posto di una bottiglia, il profilatore CTD. Questa opportunità consente all'operatore di osservare durante l'acquisizione il profilo di torbidità dalla superficie al fondo e di stabilire, in tempo reale, la chiusura delle bottiglie di campionamento, per raccogliere il campione alla quota prefissata o al raggiungimento di particolari valori della torbidità.

Il sistema consente, inoltre, di ottenere la conferma dell'avvenuta chiusura della bottiglia di campionamento, la registrazione del grafico relativo al profilo CTD e di torbidità, dei numeri delle bottiglie utilizzate e delle rispettive quote di prelievo.

Sul sistema a rosette SBE 32SC Subcompact Carousel Water Sampler, ad esempio, è montata la sonda CTD unitamente al torbidimetro, alimentata e controllata in tempo reale, tramite l'unità di comando SBE 33 Deck Unit [SBE 33 Deck Unit - User Manual, Version 005], che mediante il software della Sea-Bird [Seasave-Win32 Version 5.33, SeaTerm Version 1.50] permette di comandare via PC tutte le operazioni di chiusura bottiglie, acquisizione dei profili CTD e visualizzazione in tempo reale dei dati.

2.4 Posizionamento ed orario di riferimento

Ogni singola misura acquisita in mare deve essere univocamente localizzata nello spazio e nel tempo, per poter essere correlata ad altre misure eseguite.

La posizione in cui si effettua la misura è, nel caso di OGS, quella dell'imbarcazione. Essa viene fornita dal GPS (Global Positioning System) installato a bordo; il tempo è egualmente fornito dallo stesso strumento, con il quale vengono sincronizzati i Personal Computer, utilizzati per

l'acquisizione dei dati sia ADCP che concernenti i parametri fisici dell'acqua. Quindi l'orario utilizzato in tutte le misure è l'ora UTC (Universal Time Coordinated).

Il GPS utilizzato, dopo aver verificato l'incompatibilità del GPS di bordo con i programmi ArcPad ed ArcView [Software ArcView Ver. 3.2; Software ArcPad 5, ESRI, USA], è un AgGPS prodotto dalla Trimble. Lo strumento che ha una precisione di ± 5 m e un campionamento massimo di 10Hz, permette di plottare le rotte seguite dall'imbarcazione e fissare i punti di inizio e fine dei transetti ADCP, nonché i punti in cui vengono eseguiti i profili CTD, tramite il citato software Arcpad. Il software ArcView viene usato per il post-processing dei dati acquisiti e la restituzione in forma grafica.

2.5 Determinazione del Particellato Solido Sospeso

Dopo aver recuperato a bordo il sistema profilatore, i campioni d'acqua vengono trasferiti dalle bottiglie di campionamento in contenitori PET da 500 ml. Ogni contenitore viene quindi contrassegnato con una sigla e conservato nel frigorifero dell'imbarcazione fino al momento della filtrazione, che avviene a conclusione di ogni giornata di misura.

Il campione d'acqua viene filtrato in situ per evitare che si verifichino variazioni, a volte anche sensibili, della sua composizione chimica e granulometrica, dovute a fenomeni di adsorbimento, rilascio, mineralizzazione, ecc.

Per la determinazione del particellato solido sospeso (SPM) è stata utilizzata la metodica IRSA (Quaderno 100/2050/94). Tale metodica impiega per la filtrazione membrane in policarbonato (Millipore HHTP04700) con porosità di $0.4\mu\text{m}$ e diametro di 47 mm.

Le membrane, attraverso le quali viene filtrato un determinato volume d'acqua (p.e. 200 ml), vengono pesate prima dell'uso, riposte in scatole Petri immediatamente dopo la filtrazione e conservate a $+4^{\circ}\text{C}$.

Dopo la filtrazione, le membrane vengono trasferite in laboratorio, essiccate a $+105^{\circ}\text{C}$ per 12 ore, quindi raffreddate in essiccatore a vuoto ed infine ripesate. La concentrazione del 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 (Gibertini, Mod. E50S).

2.6 Calibrazione dei dati di Backscattering Acustico

Sui dati grezzi, acquisiti durante l'esecuzione dei transetti, vengono ricavate le stime della concentrazione del SPM attraverso un software dedicato (Sediview, Dredging Research Limited - DRL, UK) [DRL-Sediview Sediview Procedure Manual, 2003]. Il software consente di convertire i dati di backscattering acustico, acquisiti dall'ADCP lungo le sezioni trasversali alla bocca, in concentrazioni del particellato in sospensione (in mg/l) sulla base dei valori di concentrazione, misurati nei campioni d'acqua appositamente prelevati. La calibrazione viene effettuata prelevando, in punti specifici lungo i transetti, dei campioni d'acqua a diverse quote mediante il sistema di campionamento a rosetta abbinato alla sonda multiparametrica.

Ad ogni serie di dati acquisiti dall'ADCP sono, quindi, associate due serie di informazioni aggiuntive: le concentrazioni del SPM determinate nei campioni d'acqua e necessarie alla calibrazione dei dati da ADCP ed i valori di temperatura e salinità lungo la colonna d'acqua, che risultano indispensabili per derivare il coefficiente di assorbimento dell'energia acustica in acqua, fondamentale per la procedura di calibrazione.

Le differenze tra le concentrazioni misurate e quelle stimate vengono analizzate e corrette dal modulo di calcolo del programma, mediante una procedura di ottimizzazione controllata dall'operatore.

Le stime della concentrazione sono ottenute, successivamente alla correzione dei dati dell'intensità di backscattering, tenendo conto dell'attenuazione causata dalla dispersione dell'impulso acustico, dall'assorbimento dell'acqua, dall'assorbimento e riflessione dovuta al carico sospeso. Il modulo di calcolo di Sediview applica tutte queste correzioni, oltre a calcolare la relazione sito-specifica tra intensità di backscattering corrette e le concentrazioni di SPM. Il calcolo delle concentrazioni inizia dalla cella più vicina ai trasduttori dell'ADCP senza applicare nessuna correzione, che consideri l'attenuazione del segnale dovuta al particellato. Il processo di calcolo viene ripetuto lungo tutte le celle di misura di cui è composta la verticale, mediante iterazioni in cui il coefficiente di attenuazione dell'intensità di backscattering viene raffinato ad ogni passaggio, finché la concentrazione non è soggetta ad ulteriori variazioni.

2.7 Riferimenti Bibliografici

DRL-Sediview "Sediview Procedure Manual - Software User Manual" Ver. 3.0, DRL Software Ltd, July 2003.

Model 1014 Mini-Rosette® Multibottle Water Sampling - Operating Manual, General Oceanics, Inc., September 2003.

OBS-3 Suspended Solids & Turbidity Monitor - Instruction Manual Rev. 3/91- D&A Instrument Company USA.

OCEAN SEVEN 316/319 CTD Multiparameter Probes - Operator's Manual, IDRONAUT Srl, 09-2002.

PlanADCP ver. 2.02 e WinRiver Ver. 1.06, RD Instruments, CA-USA

SBE 19plus SEACAT PROFILER - User Manual, Version 012 - Sea-Bird Electronics, Inc. Washington USA.

SBE 32SC Subcompact Carousel Water Sample - User Manual, Version 013 - Sea-Bird Electronics, Inc. Washington USA.

SBE 33 Deck Unit - User Manual, Version 005 - Sea-Bird Electronics, Inc. Washington USA.

Seasave-Win32 Version 5.33 Sea-Bird Electronics, Inc. Washington USA.

SeaTerm Version 1.50 Sea-Bird Electronics, Inc. Washington USA.

Software ArcView Ver. 3.2; Software ArcPad 5, ESRI USA.

Technical Manual "Acoustic Doppler Current Profiler Workhorse Rio Grande 600 KHz - River Direct Reading ADCP™, RD Instruments, CA-USA P/N 957-6150-00, January 2002.

3. RILEVAZIONE DELLA TORBIDITÀ IN CONTINUO

La determinazione del particolato solido in sospensione (Suspended Particulate Matter - SPM) e della torbidità in acqua è abitualmente prevista nei programmi di monitoraggio ambientale a seguito di operazioni di scavo e dragaggio di fondali.

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 documento, 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 di 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.

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 stagionali della frazione 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 - sia delle variazioni nelle caratteristiche granulometriche dei materiali.

Le modalità di calibrazione per la conversione dei valori di torbidità (in FTU) misurati dalla strumentazione impiegata nel monitoraggio in valori della concentrazione di SPM (in mg/l), sono descritte in maniera più dettagliata in una specifica sezione riportata nel seguito.

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

Per gli scopi descritti al punto B) dell'Introduzione, sono state previste ed installate 8 stazioni di misura opportunamente posizionate nei canali di bocca.

Nella scelta della localizzazione delle stazioni si è tenuto conto del fatto che le aree di scavo in ciascuna bocca sono di diversa estensione e sono soggette a differenti regimi idrodinamici. Inoltre, è stato considerato che le aree potenzialmente interessate ad un aumento della torbidità avrebbero potuto comprendere ecosistemi "sensibili", presenti ad una certa distanza dalla zona delle operazioni. Sono stati perciò valutati i seguenti criteri:

- a. ricorso all'utilizzo di postazioni impiegate in precedenti studi, i cui risultati costituiscono un riferimento per la valutazione delle condizioni *ante operam* [Magistrato alle Acque di Venezia, 2003, 2005] e situate in posizioni considerate adatte anche per questa attività, con lo scopo di soddisfare l'esigenza di estendere le serie temporali di torbidità già esistenti;
- b. utilizzo di supporti fissi già esistenti per l'installazione della strumentazione di misura, al fine di contenere i costi di allestimento della rete.

La Figura 3.1 mostra la localizzazione delle stazioni di misura della torbidità per il monitoraggio in corso nelle aree dei cantieri alle bocche di porto. Nella Tabella 3.1 sono, invece, riassunte le caratteristiche delle 8 stazioni, e per ciascuna di queste, sono riportate le coordinate geografiche espresse nel sistema UTM WGS 84 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.

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



Figura 3.1. La rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.

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

Tabella 3.1. Caratteristiche delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo.

Località	Tipo postazione	Sigla Identificativa	Ente	Fondale (m)	Coordinate UTM WGS 84
CHIOGGIA Porto	Post. mareografica	CHP	Comune VE CVN-MAV	2.1	286559 E 5012376 N
MALAMOCCO Porto	Post. mareografica	MAP	Comune VE CVN-MAV	2.7	288410 E 5024129 N
LIDO Canale Treporti	Post. mareografica	LTP	MAV	2.0	299083 E 5036390 N
LIDO Canale S. Nicolò	Post. mareografica	LSN	MAV	7.0	295624 E 5034542 N
LIDO Bocca di porto	Meda Rossa, Diga S	LMR	APAT	9.5	297740 E 5033614 N
CHIOGGIA Mare	Meda segnalazione	CHM (*)	CVN-MAV	13.5	289952 E 5011996 N
CHIOGGIA Mare	Post. mareografica	CHM 2	CVN-MAV	13.0	290278 E 5013092 N
MALAMOCCO Mare	Post. mareografica	MAM	CVN-MAV	11.0	292432 E 5024099 N
LIDO Mare	Post. mareografica	LIM	CVN-MAV	9.0	300744 E 5033387 N

(*) Stazione operante fino al 26/01/2006 e successivamente spostata nella posizione CHM2

Come risulta dai dati in tabella, la rete è, quindi, costituita da due gruppi di stazioni: il primo gruppo costituito da 5 stazioni posizionate in aree vicine alle bocche di porto verso la laguna, ed il secondo da 3 stazioni posizionate, invece, in mare.

Le stazioni del primo gruppo sono state allestite utilizzando prevalentemente le strutture delle postazioni mareografiche operanti in laguna (Figura 3.2). Le stazioni LTP, LSN, MAP e CHP coincidono con le postazioni utilizzate nel precedente Studio B.6.78/I. Per la stazione LMR 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 3.3).

Per le stazioni del secondo gruppo, quelle collocate a mare in aree prossime alle bocche, sono state utilizzate strutture già esistenti impiegate anch'esse come mareografi, ma con caratteristiche tecniche completamente diverse da quelle delle postazioni mareografiche in laguna (Figura 3.4). Le stazioni LIM e MAM coincidono con le stazioni usate nei precedenti studi [Magistrato alle Acque di Venezia, 2003]. Per la stazione CHM si è ricorsi, invece, ad una delle mede di segnalazione della testata nord della "lunata" realizzata alla bocca di Chioggia (Figura 3.5).



Figura 3.2. Stazione LTP.



Figura 3.3. Stazione LMR.



Figura 3.4. Stazione LIM.



Figura 3.5. Stazione CHM.

3.2 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. "OceanSeven 304 CTD-T OPERATOR MANUAL", 2005], equipaggiata con un sensore OBS (Optical Backscatter Sensor) del tipo Seapoint Turbidity Meter [Idronaut Srl. "Seapoint Turbidity Meter USER MANUAL", 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 giustificata dalla necessità di mantenere una sufficiente precisione nella descrizione dell'andamento della variabile nelle condizioni più frequentemente incontrate nelle bocche di

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

porto, dove le concentrazioni tipicamente misurate sono dell'ordine di 10mg/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, 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, per i quali, tuttavia, sono disponibili i dati di *backscattering* acustico acquisiti dall'ADCP fisso al fondo delle bocche di Porto (come riferimento per la concentrazione entro le bocche di porto), e della stazione CHM (come riferimento per la concentrazione a mare), il cui sensore è stato programmato per registrare la torbidità nell'intervallo di misura 0-500 FTU.

Nella Tabella 3.2 sono riassunte le caratteristiche tecniche dei sensori utilizzati in 7 delle stazioni fisse.

Tabella 3.2. Caratteristiche dei sensori montati sulla sonda OceanSeven 304 CTD-T.

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

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

Nella stazione LMR è stata, invece, installata una sonda correntometrica InterOcean S4 [InterOcean Systems Inc. "S4 CURRENT METER USER MANUAL (Rev B)", 1995], che consente di misurare la velocità e la direzione della corrente, la temperatura, la conducibilità dell'acqua e la torbidità grazie alla presenza di un sensore OBS. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella Tabella 3.3.

Tabella 3.3. Caratteristiche dei sensori montati sul correntometro S4.

Sensore	Intervallo di misura	Accuratezza	Risoluzione
Velocità	0 - 350 cm/s	2%	0.03 - 0.35 cm/s
Direzione	0 - 360 °	± 2 °	0.5 °
Profondità	0 - 70 m	± 0.15 % f.s.	4 mm
Temperatura	-5 +45 °C	± 0.2 °C	0.05 °C
Conducibilità	0-70 mS/cm	± 0.2 mS/cm	0.1 mS/cm
Torbidità	0 - 100 FTU		

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

I torbidimetri posizionati nelle stazioni sopra descritte funzionano ininterrottamente a partire dall'1 Maggio 2005, 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 ciascun strumento sono stati scaricati con una frequenza di circa 15 giorni.

In occasione dello scarico dei dati è stata effettuata una serie accurata di operazioni in campo, che prevedono il recupero della sonda a bordo di una imbarcazione, lo scarico dei dati dalla memoria dello strumento, la pulizia dei sensori con particolare riguardo ai sensori di conducibilità e torbidità, il controllo e l'avvio di una nuova acquisizione dei dati, il prelievo di campioni d'acqua alla quota di posizionamento del sensore OBS, in sincronia con il periodo di acquisizione della sonda stessa.

Dato l'elevato fondale che caratterizza le 3 postazioni a mare (10-14 m) si è dovuto progettare un sistema di posizionamento [Simionato, 2006] della strumentazione di misura, che consentisse 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 3.6 è mostrato uno schema di posizionamento e ancoraggio riferito alla stazione a mare CHM.

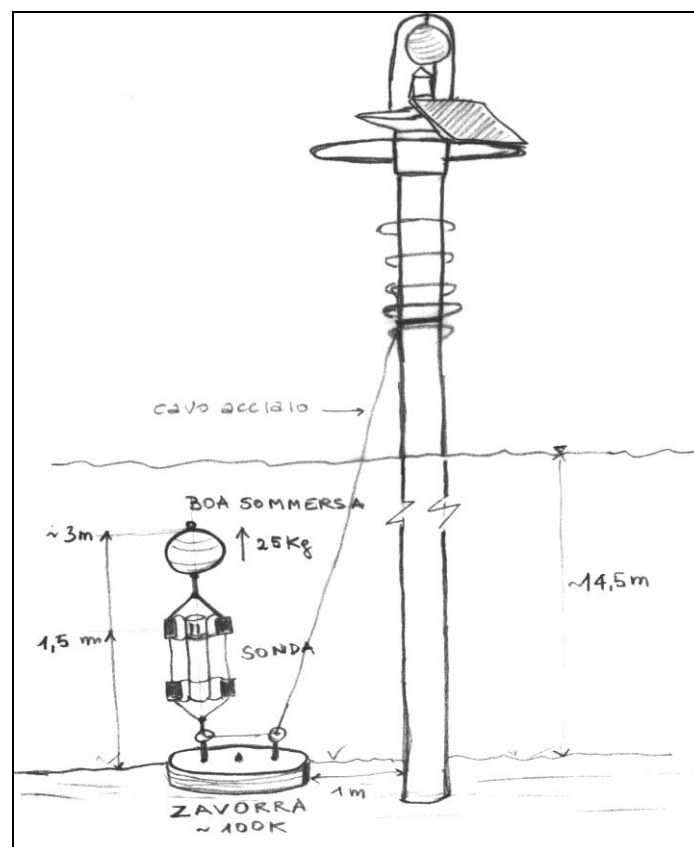


Figura 3.6. Schema del sistema di posizionamento e ancoraggio utilizzato nelle stazioni a mare. Stazione CHM.

Tutte le operazioni in campo sono state registrate dagli operatori, su apposite schede, in occasione di ciascun scarico dei dati (Figura 3.7).

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

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.6.78/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 di Venezia. "Studio B.6.72/A 1ª Fase - Controllo degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Rapporto Finale: lo stato di qualità attuale delle componenti ambientali", Venezia, Marzo 2005.

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 (in stampa).