



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/2**

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

Contratto prot.n. 17128 si/gce/fbe

Documento **MATRICE: ACQUA**

**MACROATTIVITÀ: MISURE  
GRANULOMETRICHE DEL PARTICOLATO  
SOSPESO ESEGUITE IN SITU NELLA COLONNA  
D'ACQUA**

**RAPPORTO DI VALUTAZIONE: DA MAGGIO  
2006 AD APRILE 2007**

Versione **1.0**

Emissione **15 Maggio 2007**

Redazione

Verifica

Approvazione

Dott. Luca Zaggia  
(ISMAR-CNR)

Prof. Giampaolo Di Silvio Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Principi di funzionamento.....	9
2.2 Approccio sperimentale.....	11
<b>3. TRATTAMENTO DEI DATI</b> .....	<b>15</b>
<b>4. TEST SULLA METODOLOGIA LISST</b> .....	<b>19</b>
4.1 Verifica dell'affidabilità della metodologia LISST .....	19
4.2 Confronto con altre metodologie.....	25
<b>5. RISULTATI OTTENUTI DALLE CAMPAGNE LISST</b> .....	<b>28</b>
<b>6. RISULTATI OTTENUTI</b> .....	<b>54</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>57</b>

Alla stesura del presente rapporto hanno contribuito:

F. Costa (ISMAR - CNR, Venezia)

V. Defendi (ISMAR - CNR, Venezia)

S. Donà (ISMAR - CNR, Venezia)

G. Lorenzetti (Università di Padova, Dipartimento di Geoscienze)

F. Simionato (ISMAR - CNR, Venezia)

L. Zaggia (ISMAR - CNR, Venezia)

## 1. INTRODUZIONE

La distribuzione granulometrica del particolato solido sospeso è un parametro di fondamentale importanza per la valutazione della dispersione del sedimento risospeso per effetto di fattori naturali (correnti, moto ondoso) o per effetto di interventi di dragaggio con finalità diverse.

Nell'ambito delle attività di monitoraggio della torbidità generata dalle operazioni di cantiere, per la costruzione delle opere alle bocche della laguna di Venezia [Magistrato Alle Acque, 2006], questo aspetto assume particolare interesse, soprattutto ai fini delle simulazioni numeriche di dispersione del materiale prodotto dalle sorgenti di scavo, effettuate con modelli matematici.

Le misure granulometriche su campioni d'acqua prelevati e successivamente analizzati in laboratorio con strumentazione laser scatter presentano dei limiti intrinseci, in particolare in presenza di basse concentrazioni, come spesso accade alle bocche lagunari. In questi casi, questo approccio non garantisce risultati affidabili rendendo necessarie diverse ripetizioni delle analisi, con un aggravio dei costi ed una dilatazione dei tempi di lavoro.

Per ovviare ai limiti sopracitati è stata utilizzata la metodologia LISST (*Laser In Situ Scattering and Trasmisometry*) in alternativa all'analizzatore di particelle da laboratorio. La distribuzione granulometrica del materiale analizzato (*particle size distribution*, PSD) viene determinata dal LISST mediante il principio della diffrazione di un fascio laser. L'utilizzo della diffrazione laser per questo tipo di misure venne sperimentato a partire dal 1970 per poi diventare il metodo ottico più sviluppato, a causa dell'indipendenza del fenomeno dall'indice di rifrazione e, dunque, dalla composizione del materiale.

In letteratura sono riportati parecchi casi di studio in cui il LISST è stato utilizzato, in ambienti diversi, per ottenere la distribuzione granulometrica e la concentrazione volumetrica del particolato solido sospeso [Fugate and Friedrichs, 2002; Mikkelsen and Pejrup, 2000; Mikkelsen and Pejrup, 2001; McCandliss *et al.*, 2002; Voulgaris and Meyers, 2004; Casamitjana *et al.*, 2002]. Mikkelsen e Pejrup [2001] hanno dimostrato che il LISST può misurare accuratamente sia le dimensioni medie del particolato solido sospeso che la concentrazione volumetrica ed hanno, inoltre, introdotto un metodo per calcolare la densità media e la velocità media di sedimentazione del materiale in sospensione. Gli stessi autori sopra citati hanno usato il LISST per monitorare le dimensioni e la densità delle particelle risospese durante operazioni di dragaggio, analizzando le variazioni che avvengono lungo l'estensione del pennacchio di torbida [Mikkelsen and Pejrup, 2000]. Fugate e Friedrichs [Fugate and Friedrichs, 2002] hanno impiegato contemporaneamente l'ADV (*acoustic Doppler velocimeter*), l'OBS (*optical backscatter sensor*) ed il LISST nella baia di Chesapeake, proponendo un metodo per distinguere tra loro diverse popolazioni di particelle solide presenti in un'area di estuario, sulla base della granulometria, delle concentrazioni e della velocità di sedimentazione. Gartner *et al.* [2001] hanno distinto, nella baia di San Francisco, diverse popolazioni di particelle sulla base delle loro dimensioni, deducendo che questo potrebbe indicare un'origine diversa per le popolazioni individuate. Il LISST è stato anche applicato in ambito biologico per distinguere, in base alle dimensioni, diverse popolazioni di plancton [Casamitjana *et al.*, 2002]. Grazie ad una serie di misure di laboratorio su campioni contenenti particelle comprese tra le sabbie ed il limo, Traykovski *et al.* [1999] hanno dimostrato che il LISST è in grado di riconoscere e ben descrivere sia le distribuzioni granulometriche unimodali che bimodali.

Nel presente rapporto sono presentati i risultati delle campagne di utilizzo del LISST-100X [Sequoia Scientific Inc., 2004] che misura il diametro medio delle particelle solide in 32 classi nel range 1.2 - 250  $\mu\text{m}$  e la concentrazione volumetrica delle particelle sia nelle singole classi sia come totale. Nel nostro caso, il LISST-100X (Figura 1) è stato utilizzato per la valutazione della distribuzione granulometrica del particolato solido sospeso nel corso di 15 sessioni di misura, sia in laboratorio che in campo (Tabella 1). Per quanto riguarda le applicazioni in campo, lo strumento

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

è stato impiegato alle bocche di Lido e di Chioggia, con modalità di campionamento diverse in diverse condizioni ambientali. Le stazioni di misura per la bocca di porto di Lido sono rappresentate nelle Figure 2 e 3, per la bocca di porto di Chioggia nella Figura 4. Nei paragrafi successivi sono descritte le diverse tipologie di utilizzo del LISST, le prove eseguite per testare la precisione e l'accuratezza dello strumento ed il confronto con le analisi granulometriche effettuate con altre metodologie. Infine, sono riportati alcuni esempi di applicazione della metodologia LISST ricavati dalle 15 sessioni di misura eseguite.



Figura 1. Foto del LISST-100X attrezzato per le analisi di laboratorio.

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



Figura 2. Mappa della bocca di porto di Lido. Posizione delle stazioni di misura L1, L2 ed L3 nel canale di Treporti; T1, T2, T3 e T4 nel canale di San Nicolò; punti 33 e 34 nel canale di Treporti in prossimità dell'isola nuova. Le coordinate di questi punti sono riportate in Tabella 1.

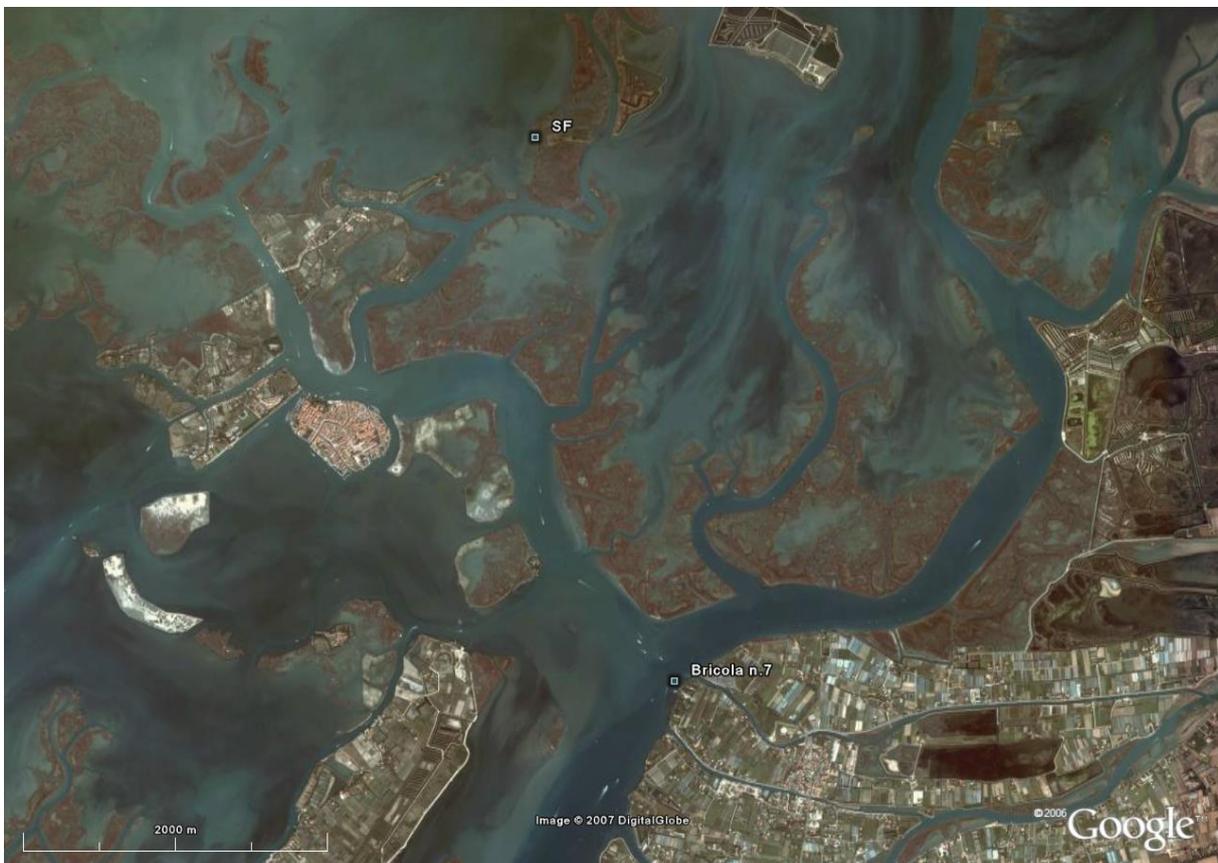


Figura 3. Mappa della bocca di porto di Lido. Posizione delle stazioni di misura SF e Bricola n.7

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



Figura 4. Mappa della bocca di porto di Chioggia. Posizione delle stazioni C1, C2, C3, C4, ADCPCH e CHP.  
Le coordinate di questi punti sono riportate in Tabella 1.

## CORILA

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

Tabella 1. Elenco delle 15 sessioni di utilizzo ed analisi eseguite con il LISST-100X. Non si sono registrate attività di dragaggio alle bocche di porto di Lido e Chioggia durante le 15 sessioni di utilizzo del LISST.

Campagna (*)	Data	Bocca di Porto	Stazione	E	N	Marea				Attività svolta		
						Gauss-Boaga		Sizigie			Quadratura	
								calante	crescente		calante	crescente
LISST_1	24/05/2006	Lido, Canale S. Felice	SF	2322228.3600	5042082.5970	•				quota fissa. Per problemi di funzionamento del sensore di profondità le misure non sono attendibili e dunque non riportate		
LISST_2	19/07/2006	Lido, Canale Treporti	34 35	2317710.3020 2317912.3060	5034458.3950 5034530.3980		•			quote fisse, in presenza di tracimazione del materiale di rifiuto dall'isola nuova		
LISST_3	19/09/2006	Lido	83	2318939.3290	5033825.3860	•				quota dal fondo = 0.45 m. Modalità di acquisizione in continuo su un ciclo di marea		
LISST_4	20/09/2006					•						
LISST_5	21/09/2006						•					
LISST_6 (*)	07/11/2006	Lido, Canale Treporti	T1 T2 T3 T4	2318106.7045 2317979.2909 2318063.6275 2318283.3726	5035423.6415 5034923.2734 5034473.9952 5034082.1210	•	•			utilizzo del LISST in laboratorio e confronto dei risultati con metodologia laser scatter		
LISST_7 (*)	15/11/2006	Lido, Canale San Nicolò	L1 L2 L3	2317008.8638 2317558.9371 2317967.8905	5034396.4229 5034082.6363 5033757.8761	•	•					
LISST_8 (*)	23/11/2006	Chioggia	C1 C2 C3 C4	2307077.3099 2307505.4574 2307788.9308 2308330.0146	5012501.5679 5012343.1241 5012305.4284 5012233.5756	•	•					
LISST_9	23/01/2007	Lido, Canale Treporti	Bricola n. 7	2323325.3370	5038463.5030	•	•			quote fisse		
LISST_10	26/02/2007	Lido, Canale Treporti	T1	2318106.7045	5035423.6415	•	•			profilo verticale		
LISST_11	27/02/2007	Lido	83 ADCP	2318939.3290 2318670.3250	5033825.3860 5033128.3780	•				profilo verticale		

## CORILA

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

Campagna (*)	Data	Bocca di Porto	Stazione	E	N	Marea				Attività svolta
						Gauss-Boaga		Sizigie		
						calante	crescente	calante	crescente	
LISST_12	21/03/2007	Lido	83 ADCP	2318939.3290 2318670.3260	5033825.3860 5033128.3790		•			profilo verticale
LISST_13	04/04/2007	Lido	83 ADCP	2318939.3290 2318670.3270	5033825.3860 5033128.3800	•	•			profilo verticale
LISST_14	17- 19/04/2007	Chioggia	CHP	2306563.1660	5012395.8350	•	•			quota dal fondo = 1 m. Modalità di acquisizione in continuo per 48h
LISST_15	19/04/2007	Chioggia	ADCPCH	2307957.1980	5012217.8420		•			profilo verticale

(\*) per le informazioni inerenti le singole campagne LISST si fa riferimento ai rapporti LISST citati in bibliografia

(\*) campioni raccolti durante la campagna intensiva del 4 Ottobre 2006 alla bocca di Porto di Lido [campagna intensiva validazione modello-ottobre2006, dicembre 2006, Studio B.6.72 B/1]

(\*) campioni raccolti durante la campagna intensiva del 7 Ottobre 2006 alla bocca di Porto di Chioggia [campagna intensiva validazione modello-ottobre2006, dicembre 2006, Studio B.6.72 B/1]

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Principi di funzionamento

Le tecniche ottiche d'analisi granulometrica laser sono basate sulla misura delle figure di diffrazione generate dall'interazione delle particelle del campione con il fascio laser.

Lo strumento registra l'intensità dei raggi diffusi utilizzando un rilevatore in grado di misurare gli angoli di diffrazione. Questa misura è anche conosciuta nell'ottica come *volume scattering function* (VSF) e consente di caratterizzare l'intensità di *scattering* (diffusione) in funzione dell'angolo. La funzione VSF è definita, a partire da un fascio luminoso incidente su di un volume infinitesimo, per ciascun angolo compreso tra 0° (luce incidente) e 180°, come il rapporto, per unità di volume, tra l'intensità della luce diffusa (*scattered light*) e quella incidente.

Il LISST misura la luce diffusa solo per piccoli angoli e l'intensità di *scattering* registrata dallo strumento non dipende dall'indice di rifrazione delle particelle, quindi è indipendente dalla composizione del materiale misurato. Per piccoli angoli, l'intensità di *scattering* dipende quasi esclusivamente dalla luce diffratta e non dalla luce trasmessa e si dimostra che, senza tale componente, la misura è indipendente dall'indice di rifrazione [Hecht, 1987].

La misura dell'intensità di *scattering* dipende, invece, dalla forma delle particelle, per cui, nella trattazione, si assume che le particelle siano sferiche e la loro dimensione sia rappresentata dal diametro di tali sfere.

Lo strumento effettua sequenze di misura in numero elevato, così da ottenere serie di valori statisticamente rilevanti. Nella letteratura anglosassone questo tipo di procedura è conosciuta come *ensemble technique*.

Nella Figura 5 è riportata la struttura interna del LISST ed il percorso effettuato dal raggio laser. Il fascio laser del LISST è prodotto da un diodo allo stato solido con emissione a 670 nm; tale fascio viene collimato ed orientato da un insieme di lenti. Dopo che il raggio laser ha interagito con le particelle, viene concentrato verso una serie di rilevatori, formati da 32 anelli concentrici di silicio, i cui raggi di curvatura aumentano logicamente da 102 fino a 20000 microns. Questi rilevatori sono posti nel piano focale delle lenti predisposte per ricevere i raggi diffusi e coprono un intervallo angolare compreso tra 0.0017 e 0.34 radianti. Poiché all'aumentare delle dimensioni delle particelle gli angoli di *scattering* diminuiscono, gli anelli più interni sono predisposti per rilevare le particelle di dimensioni maggiori.

Successivamente al sistema di rilevatori, è posta l'elettronica necessaria per preamplificare il segnale e processarlo. Il LISST è dotato di un *data logger* da 16 MB e di un sistema di alimentazione, costituito da una serie di batterie alcaline, che produce una tensione di 9 V cc.

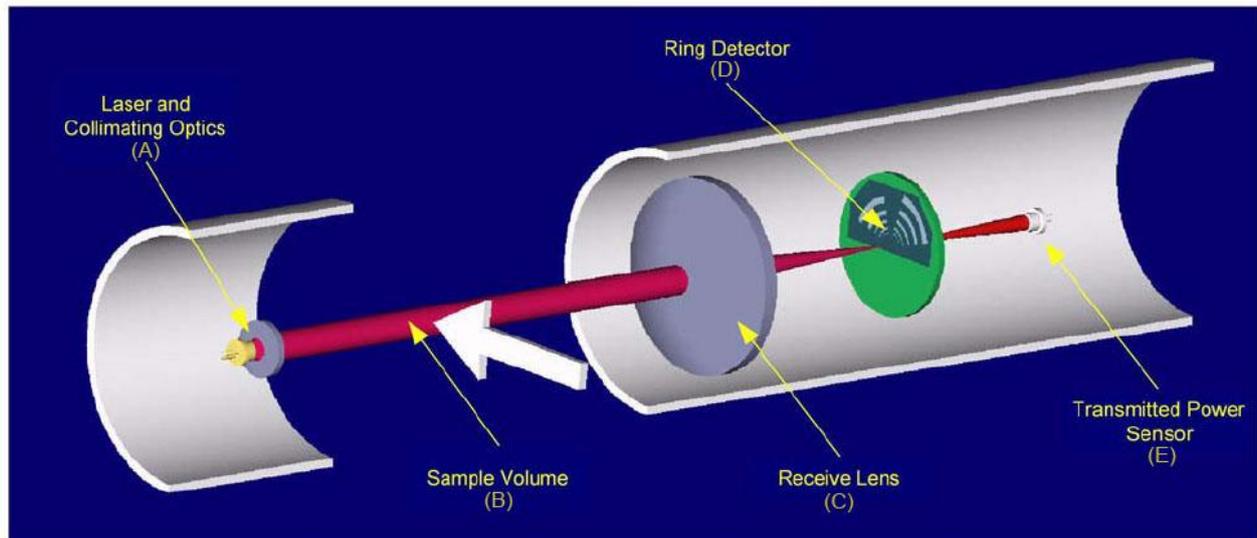


Figura 5. Schema delle componenti ottiche del LISST. A: diodo laser e sistema ottico per collimare il fascio; B: campione; C: sistema ottico per la ricezione dei raggi diffusi; D: rilevatori; E: alimentazione.

Dall'intensità di *scattering*, misurata dai rilevatori, si ricava la distribuzione granulometrica attraverso la relazione:

$$E=K \times N_v$$

dove E è l'energia angolare di *scattering* misurata, K una costante dipendente dallo strumento e  $N_v$  la distribuzione granulometrica corrispondente alla distribuzione volumetrica. La distribuzione granulometrica così ottenuta è suddivisa in 32 classi comprese tra 1.25 e 250  $\mu\text{m}$ , disposte logicamente ed espresse come concentrazione volumetrica (in  $\mu\text{l/l}$ ).

Il software di controllo permette di configurare lo strumento prima di iniziare le acquisizioni e restituisce graficamente ed in forma di file, a partire dai dati relativi all'energia angolare misurata, la distribuzione granulometrica calcolata in base all'equazione descritta in precedenza.

Lo strumento impiegato è equipaggiato con un sensore di profondità (*range* 0-300 m) ed un sensore di temperatura (*range* 10-45°C). I dati ottenuti vengono automaticamente registrati all'interno della memoria dello strumento, da cui possono essere facilmente scaricati.

Il LISST-100X può essere equipaggiato in modo tale da essere utilizzato come strumento da laboratorio. Per le misure effettuate in laboratorio, il LISST, collegato ad un PC portatile, viene attrezzato con una cella, il cui volume è di circa 100 ml, dotata di un agitatore magnetico a velocità variabile (Figura 6).



Figura 6. LISST attrezzato per le analisi di laboratorio. Nella foto si vede la cella in cui viene inserito il campione e l'agitatore magnetico (in primo piano) ad essa associato.

In Tabella 2 sono riassunti i principali dati tecnici relativi al LISST-100X.

Tabella 2. Caratteristiche tecniche del LISST-100X.

Parametri misurati/derivati	Distribuzione granulometrica ( <i>particle size distribution</i> , PSD) Concentrazione totale espressa in $\mu\text{l/l}$ Trasmissione ottica Profondità Temperatura
Diametri delle particelle rilevate	Da 1.25 $\mu\text{m}$ fino a 250 $\mu\text{m}$
Risoluzione	32 classi in scala logaritmica
Memoria	16 MB espandibile sino ad 1GB
Massima velocità di campionamento	1 distribuzione granulometrica per secondo
Range del sensore di temperatura	Da -10°C fino a 45°C; risoluzione di 0.01°C
Range del sensore di profondità	Da 0 m fino a 300 m; risoluzione di 8 cm
Dimensioni	Diametro 13.33 cm; lunghezza 81 cm
Peso in aria	12 Kg
Peso in acqua	4 Kg
Profondità raggiungibile	300 m

## 2.2 Approccio sperimentale

Il LISST-100X può essere utilizzato in campo, come profilatore in continuo oppure a quote prestabilite, ed in laboratorio (vedi Figura 6).

Durante le campagne di misura, oltre ai dati granulometrici registrati dal LISST, funzionante in modo continuo oppure a quote fisse, sono stati anche eseguiti profili verticali delle variabili

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

chimico-fisiche dell'acqua mediante sonda multiparametrica (OS316 CTD-OBS, Idronaut Srl). La sonda è solidale ad un campionatore a Rosette, per la raccolta di campioni d'acqua, per la determinazione della concentrazione del particolato solido in sospensione. Sono stati, infine, acquisiti i dati correntometrici per mezzo di un profilatore acustico ad effetto Doppler (ADCP) montato sull'imbarcazione di misura. La strumentazione (Figura 7) viene calata dall'imbarcazione mediante un verricello. In questa applicazione, il LISST non viene collegato direttamente al PC portatile (*realtime mode*) per cui i dati sono salvati nella memoria interna e scaricati al termine delle misure. La scansione delle acquisizioni dello strumento è sincronizzata con la sonda in modo tale che alle curve granulometriche si possano associare i profili verticali di temperatura, salinità, pH, contenuto di ossigeno e torbidità.



Figura 7. Strumentazione utilizzata durante le campagne del LISST-100X. Il LISST è montato insieme alla sonda multiparametrica (a destra nella foto) ed al campionatore a Rosette. Nella foto è anche visibile il verricello grazie al quale viene operata la strumentazione, ed il cavo rosso per la trasmissione dei dati.

Nella modalità in continuo, il LISST è programmato per acquisire i dati, lungo il profilo prescelto, durante la fase di discesa. In genere la frequenza di campionamento varia da un secondo a cinque secondi per ogni misura e per ciascuna misura sono effettuati da un minimo di 30 ad un massimo di 50 campionamenti. Sia la frequenza di campionamento che il numero di campioni per ciascuna misura vengono impostati dall'operatore attraverso il software di controllo. Poiché la strumentazione viene immersa dall'imbarcazione ad una velocità di circa 10 cm/s, è possibile ottenere misure con una risoluzione spaziale verticale che va da un minimo di 10 ad un massimo di 50 cm. In corrispondenza delle quote prestabilite per la raccolta dei campioni d'acqua, la strumentazione rimane ferma, quindi il numero di dati granulometrici acquisiti è maggiore.

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

A causa di un malfunzionamento del sensore di profondità di cui è dotato il LISST-100X, le profondità registrate dallo strumento sono inaffidabili. Per ottenere le corrette profondità di campionamento vengono utilizzati i dati di profondità della sonda Idronaut. Quando sono raccolti i campioni d'acqua con il campionatore rosette, la sonda Idronaut registra la data, l'ora e la profondità di acquisizione. Come descritto in precedenza, gli strumenti sono sincronizzati, dunque associando l'orario di acquisizione ottenuto dalla sonda con quello registrato dal LISST è possibile derivare la profondità di campionamento.

Nel caso di un campionamento a quote prestabilite, il LISST viene calato dall'imbarcazione, insieme alla sonda multiparametrica dotata di campionatore a Rosette, e le misure vengono eseguite a quote fisse scelte dall'operatore in base alla posizione ed alla profondità della stazione di misura. Con questa modalità operativa, la quota stabilita per il primo campionamento si raggiunge ad una velocità maggiore rispetto alla velocità con cui viene calata la strumentazione nel caso di una misura in continuo. Si procede in tal modo in quanto interessano solo i dati raccolti alle profondità prescelte, dove si effettuano circa 60 misurazioni, con una frequenza variabile da uno a due secondi per misura.

Nel corso delle campagne di misura svoltesi nei giorni 19, 20 e 21 Settembre 2006 (LISST\_3, LISST\_4 e LISST\_5) e 17-19 aprile 2007 (LISST\_14), il LISST è stato predisposto per l'acquisizione in continuo per almeno una intera fase mareale, ad un'altezza fissa dal fondo. In questo modo è stato possibile osservare la variazione temporale della distribuzione granulometrica del materiale presente in prossimità del fondo ai fini della valutazione dell'entità del trasporto al fondo.

I campioni d'acqua raccolti possono, inoltre, essere analizzati con il LISST in configurazione da laboratorio, in modo tale da rendere possibile un confronto tra i dati così ottenuti e le acquisizioni effettuate in condizioni dinamiche durante le campagne di misura.

Per quanto riguarda l'uso in laboratorio del LISST-100X, affinché sia possibile campionare anche le particelle di dimensioni maggiori e peso specifico più elevato che tendono a depositarsi al fondo del recipiente di campionamento, si utilizza un agitatore magnetico che mantiene il campione mescolato. In questo modo ciascuna aliquota del subcampione, prelevato dal recipiente di raccolta ed immerso nella cella del LISST, si può considerare rappresentativo della reale distribuzione, evitando errori sistematici nel prelievo della parte del campione destinata alla misura. L'aliquota da destinare alla misura (circa 100 ml) viene campionata dal recipiente in agitazione mediante una pipetta. Nelle misure di laboratorio si procede in modalità *realtime*: il LISST viene collegato al PC ed il software di controllo consente di visualizzare ed archiviare i dati della distribuzione espressa come concentrazione volumetrica in  $\mu\text{l/l}$  (istogrammi di frequenza semplice), della curva della concentrazione cumulativa (frequenza cumulata) e la concentrazione volumetrica totale, sempre espressa in  $\mu\text{l/l}$ . Nella Figura 8 è riportato un esempio delle informazioni che vengono visualizzate dal software in fase di acquisizione.

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

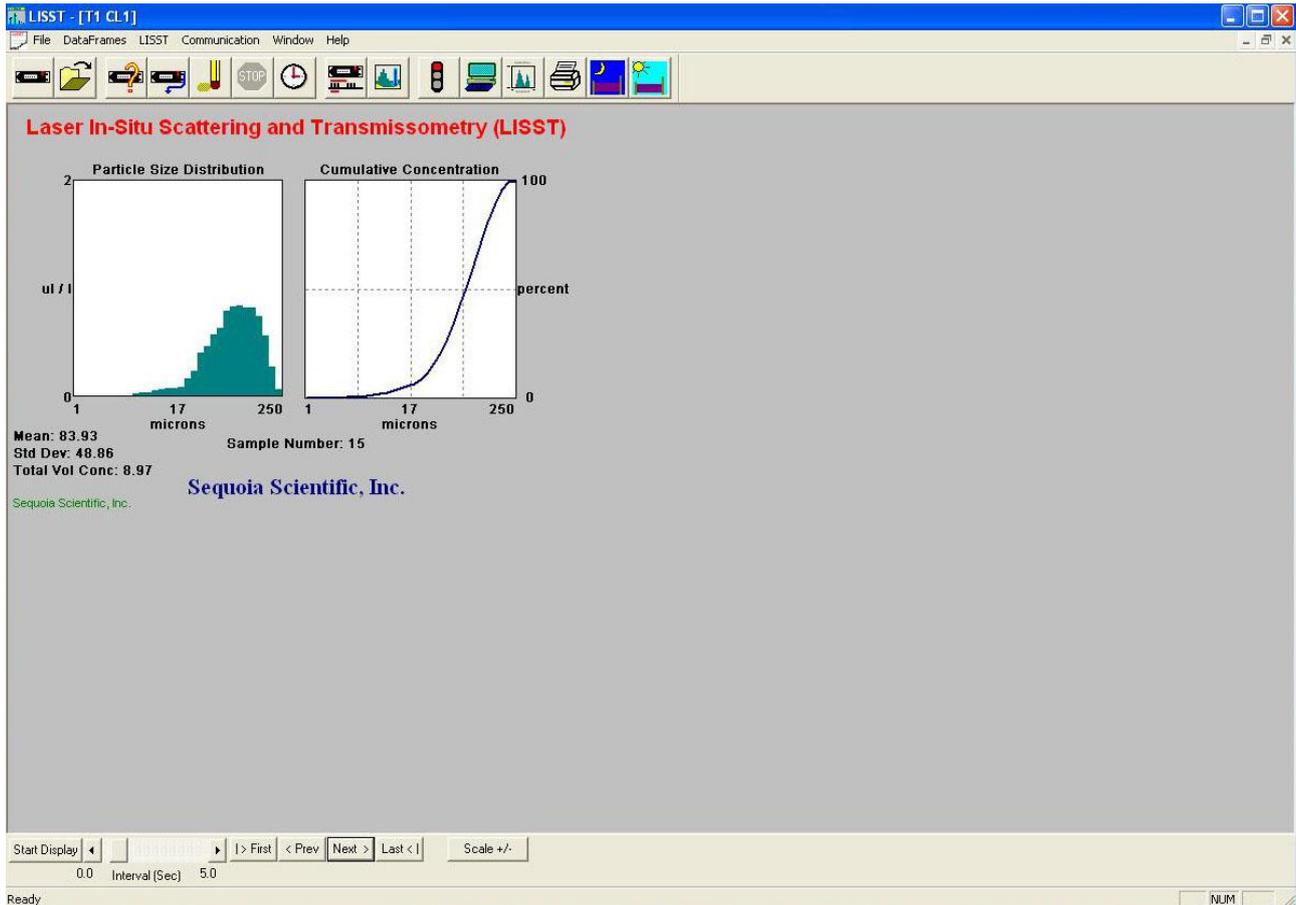


Figura 8. Esempio di schermata del software abbinato al LISST durante una misura effettuata in laboratorio il giorno 7 Novembre 2006 (LISST\_6). Le misure sono relative alla campagna del giorno 4 Ottobre 2006 alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti. Oltre alla curva di frequenza ed alla curva cumulativa, sono visualizzati i valori della media, della deviazione standard e della concentrazione volumetrica totale, espressa in  $\mu\text{l/l}$ , del particolato solido in sospensione.

I dati che vengono memorizzati durante le campagne di misura possono essere scaricati dalla memoria dello strumento e processati dal software, che consente di visualizzare gli istogrammi di frequenza e le curve cumulate. Alternativamente, i dati possono essere esportati per una successiva elaborazione, ad esempio per il calcolo delle distribuzioni medie o per il raggruppamento in classi, ai fini di una classificazione granulometrica secondo le metodologie descritte nel seguito.

### 3. TRATTAMENTO DEI DATI

I dati esportati dal software abbinato al LISSST sono organizzati in fogli di lavoro. Nella Figura 9 è mostrato un esempio relativo alle acquisizioni eseguite durante la campagna di misura del 26 Febbraio 2007 (LISSST\_10). Tutti i fogli di lavoro in cui vengono inseriti i dati contengono le seguenti informazioni:

- profondità dell'acquisizione,
- data,
- ora,
- minuti e secondi,
- le trentadue classi granulometriche.

Ogni cartella contiene più fogli di lavoro, che rappresentano i profili effettuati in tempi diversi nella stessa stazione di campionamento, identificati con l'ora di inizio dell'acquisizione.

Profondità	Data	Ora	Minuti/Secondi	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32				
1.04	26/02/2007	12	54.18	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
1.61	26/02/2007	12	54.20	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.09	0.12	0.13	0.14	0.16	0.19	0.19	0.13	0.06	0.04	0.10	0.31	0.24						
2.17	26/02/2007	12	54.22	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.05	0.05	0.06	0.15					
2.33	26/02/2007	12	54.24	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11	0.09	0.07	0.07	0.09	0.25				
2.50	26/02/2007	12	54.26	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.16	0.22	0.28	0.51				
2.17	26/02/2007	12	54.28	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.09	0.05	0.03	0.03	0.07				
1.77	26/02/2007	12	54.30	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.10	0.10	0.08	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
1.93	26/02/2007	12	54.32	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.10	0.10	0.08	0.08	0.07	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00			
1.93	26/02/2007	12	54.34	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01			
1.93	26/02/2007	12	54.36	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01				
1.85	26/02/2007	12	54.38	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
1.77	26/02/2007	12	54.41	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
1.85	26/02/2007	12	54.43	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
1.93	26/02/2007	12	54.45	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.11	0.10	0.08	0.08	0.07	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01			
1.93	26/02/2007	12	54.47	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01				
2.50	26/02/2007	12	54.49	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01				
1.85	26/02/2007	12	54.51	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.15	0.12	0.10	0.08	0.17					
2.98	26/02/2007	12	54.53	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.12	0.14	0.17	0.21	0.24	0.26	0.36	0.44	0.70						
2.90	26/02/2007	12	54.55	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.15	0.19	0.21	0.19	0.18	0.17	0.30					
2.74	26/02/2007	12	54.57	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.14	0.09	0.06	0.04	0.08					
2.66	26/02/2007	12	54.59	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.12	0.14	0.16	0.13	0.08	0.04	0.03	0.06					
2.62	26/02/2007	12	55.01	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.13	0.15	0.14	0.06	0.05	0.03	0.06					
2.98	26/02/2007	12	55.03	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.14	0.08	0.05	0.03	0.06						
2.74	26/02/2007	12	55.05	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.11	0.14	0.10	0.05	0.03	0.01	0.03						
2.98	26/02/2007	12	55.07	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.13	0.07	0.04	0.02	0.05						
3.30	26/02/2007	12	55.09	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.12	0.15	0.10	0.06	0.04	0.08							
3.14	26/02/2007	12	55.11	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13	0.14	0.11	0.05	0.03	0.02	0.03						
3.22	26/02/2007	12	55.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13	0.15	0.12	0.06	0.03	0.02	0.04						
3.46	26/02/2007	12	55.15	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13	0.15	0.12	0.06	0.03	0.02	0.04						
3.46	26/02/2007	12	55.17	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13	0.15	0.13	0.08	0.05	0.03	0.07						
3.38	26/02/2007	12	55.19	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00																															

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

Tabella 3. Valori medi dei diametri (in  $\mu\text{m}$ ) delle particelle per le 32 classi granulometriche relative ai dati LISST riportati in Figura 9.

Classi	Diametro ( $\mu\text{m}$ )							
	1-8	9-16	17-24	25-32				
1-8	1.36	1.60	1.89	2.23	2.63	3.11	3.67	4.33
9-16	5.11	6.03	7.11	8.39	9.90	11.7	13.8	16.3
17-24	19.2	22.7	26.7	31.6	37.2	44.0	51.9	61.2
25-32	72.2	85.2	101	119	140	165	195	230

A partire dalle concentrazioni volumetriche di ciascuna classe, si ottiene la frequenza cumulata che esprime la percentuale (riferita al totale del campione) di sedimento più fine (o passante) relativamente ad ogni classe di diametri. La frequenza cumulata è, in pratica, l'integrale della curva di frequenza relativa, che esprime la percentuale di ogni classe rispetto al totale del campione. La frequenza cumulata è crescente ed il limite superiore è 100 (100% passante).

I dati relativi ai valori della frequenza cumulata vengono solitamente rappresentati attraverso un grafico nel quale, sull'asse delle ordinate, sono riportate le percentuali del materiale passante e in ascissa i diametri delle particelle espressi in  $\mu\text{m}$ . La curva risultante rappresenta la distribuzione granulometrica del materiale analizzato. Nella Figura 10 è riportato un esempio del foglio utilizzato per la rappresentazione della curva granulometrica, in cui sono anche indicati i limiti delle tre classi granulometriche riconosciute dal LISST, cioè argilla, limo e sabbia. Gli estremi delle tre classi, proposti da Wentworth [1922], sono indicati nella Tabella 4.

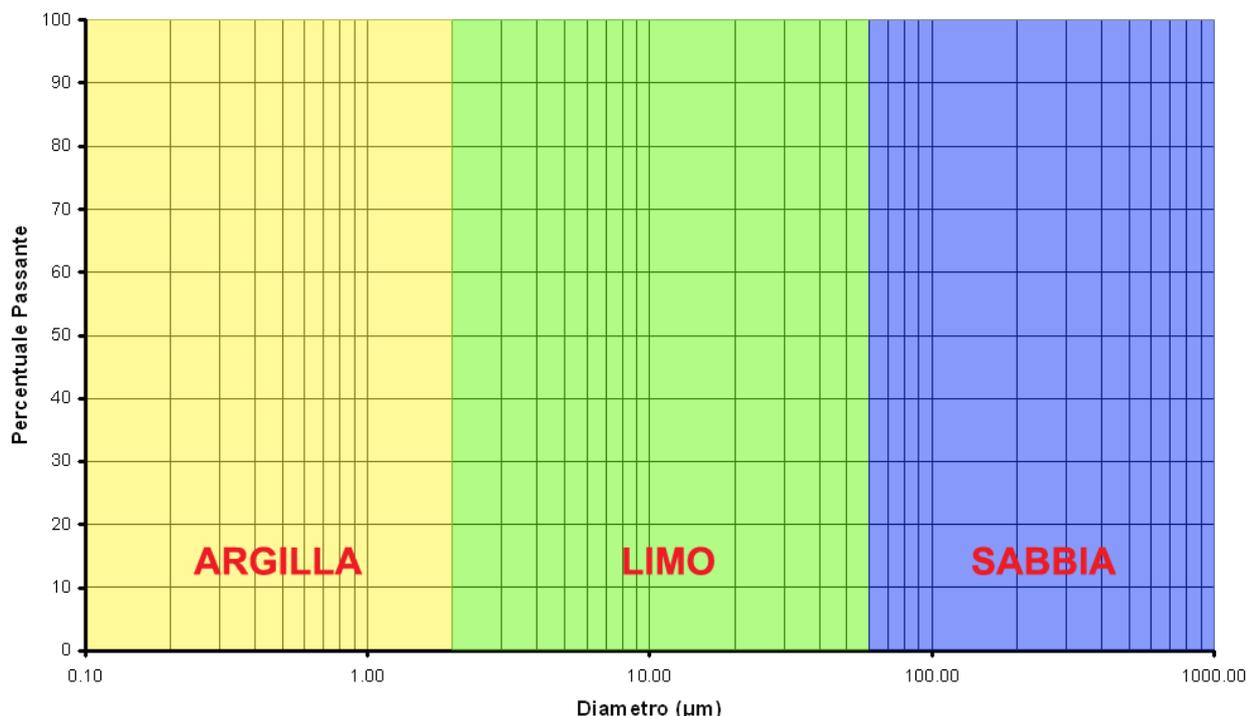


Figura 10. Foglio per la determinazione della curva granulometrica. Sono riportati i limiti delle tre classi granulometriche che è possibile determinare con il LISST.

Tabella 4. Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione di Wentworth [1922].

Classificazione Wentworth	Sabbia	Limo	Argilla
Diametri in $\mu\text{m}$	2000-60	60-2	<2

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

Per ottenere i dati della frequenza cumulata e della concentrazione in volume, relativamente alle sessioni in cui il LISST è stato usato in continuo, vengono mediante insieme più misure acquisite alla quota di chiusura delle bottiglie per la raccolta dei campioni d'acqua. La media viene eseguita su circa 12- 15 misure, scelte in base all'ora di acquisizione che deve corrispondere a quella di chiusura della bottiglia. Operando in questo modo è anche possibile confrontare le concentrazioni in volume ( $\mu\text{l/l}$ ) del particellato solido sospeso ottenute dal LISST con le concentrazioni in peso ( $\text{mg/l}$ ) ottenute dai campioni d'acqua.

Nel caso in cui il LISST venga utilizzato per campionare a profondità stabilite, si dispone di un maggior numero di misure su cui fare la media, poiché lo strumento rimane fisso alla quota in esame per un tempo più lungo rispetto ai profili eseguiti in continuo.

Sulla curva di frequenza cumulata possono essere determinati graficamente i valori dei diametri percentili ( $D_x$ ) caratteristici, associati ad una certa percentuale passante. I percentili possono essere determinati graficamente dalla curva cumulata, in modo approssimativo, o, più correttamente, in modo analitico attraverso interpolazione lineare. Il parametro della distribuzione di maggiore interesse per le valutazioni sul trasporto è il  $D_{50}$  che rappresenta il valore del diametro corrispondente alla mediana della distribuzione.

I valori medi delle frequenze cumulate, del  $D_{50}$ , e le curve granulometriche per le misure effettuate, in corrispondenza della stessa stazione, vengono sintetizzati in più fogli di lavoro, come evidenziano le Figure 11, 12 e 13, relativamente alle acquisizioni LISST del giorno 26 Febbraio 2007.

Il primo foglio di lavoro, denominato "Granulometrie", contiene il diametro delle particelle, espresso in  $\mu\text{m}$ , ed i valori della frequenza media cumulata per il campione in esame (Figura 11). Il secondo foglio, identificato "Distribuzione", presenta le distribuzioni granulometriche (Figura 12), mentre il terzo foglio ("D50") riporta il nome dei campioni e il  $D_{50}$  (Figura 13).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
WT																					
	Diametro particelle (µm)	LISST_10 26/02/2007 12:55 T1 2m	LISST_10 26/02/2007 12:56 T1 3.5m	LISST_10 26/02/2007 12:57 T1 5.4m																	
1																					
2	250.00	100.00	100.00	100.00																	
3	212.50	100.00	100.00	100.00																	
4	180.00	97.76	99.29	97.69																	
5	152.50	95.31	96.01	93.92																	
6	129.50	92.21	95.29	87.91																	
7	110.00	87.52	89.74	78.95																	
8	93.10	81.62	82.16	69.41																	
9	78.70	75.70	74.97	61.76																	
10	66.70	70.00	68.54	55.51																	
11	56.55	64.30	62.54	49.90																	
12	47.95	58.05	56.29	44.31																	
13	40.60	51.09	49.60	36.57																	
14	34.40	44.04	42.94	33.02																	
15	29.15	37.97	36.98	26.02																	
16	24.70	32.66	31.74	23.71																	
17	20.95	27.92	27.08	19.99																	
18	17.75	23.68	22.99	16.95																	
19	15.05	20.08	19.50	14.20																	
20	12.75	16.76	16.32	11.84																	
21	10.80	13.99	13.41	9.79																	
22	9.15	10.79	10.91	8.07																	
23	7.75	8.26	8.59	6.46																	
24	6.57	6.15	6.57	5.01																	
25	5.57	4.06	4.51	3.51																	
26	4.72	2.30	2.62	2.05																	
27	4.00	1.11	1.31	1.05																	
28	3.39	0.42	0.57	0.50																	
29	2.87	0.15	0.22	0.21																	
30	2.43	0.00	0.00	0.00																	
31	2.06	0.00	0.00	0.00																	
32	1.75	0.00	0.00	0.00																	
33	1.48	0.00	0.00	0.00																	
34																					
35																					
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					
48																					
49																					
50																					
51																					
52																					
53																					
54																					
55																					
56																					
57																					
58																					

Figura 11. Esempio di un foglio di lavoro, dove sono riportati il diametro delle particelle ed i rispettivi valori della frequenza cumulata, relativi ai dati LISST acquisiti il 26 Febbraio 2007.

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

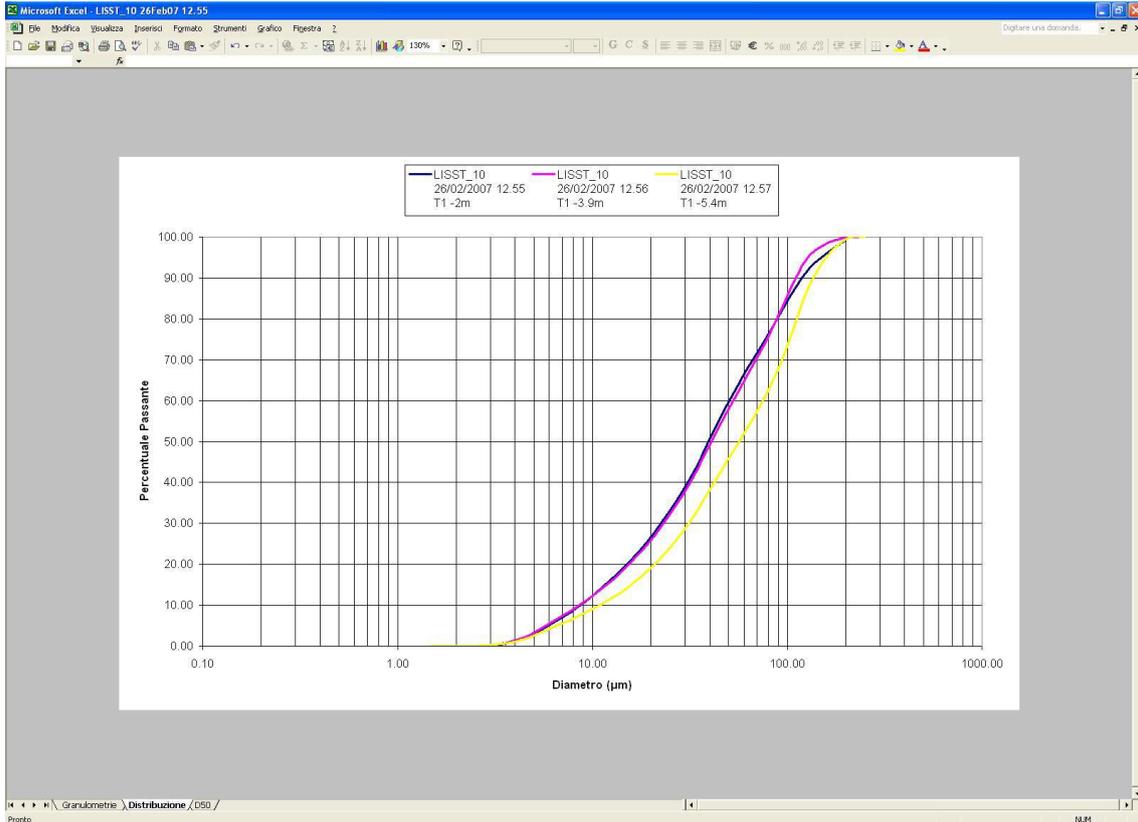


Figura 12. Esempio di distribuzioni granulometriche relative ai dati LISST acquisiti il 26 Febbraio 2007.

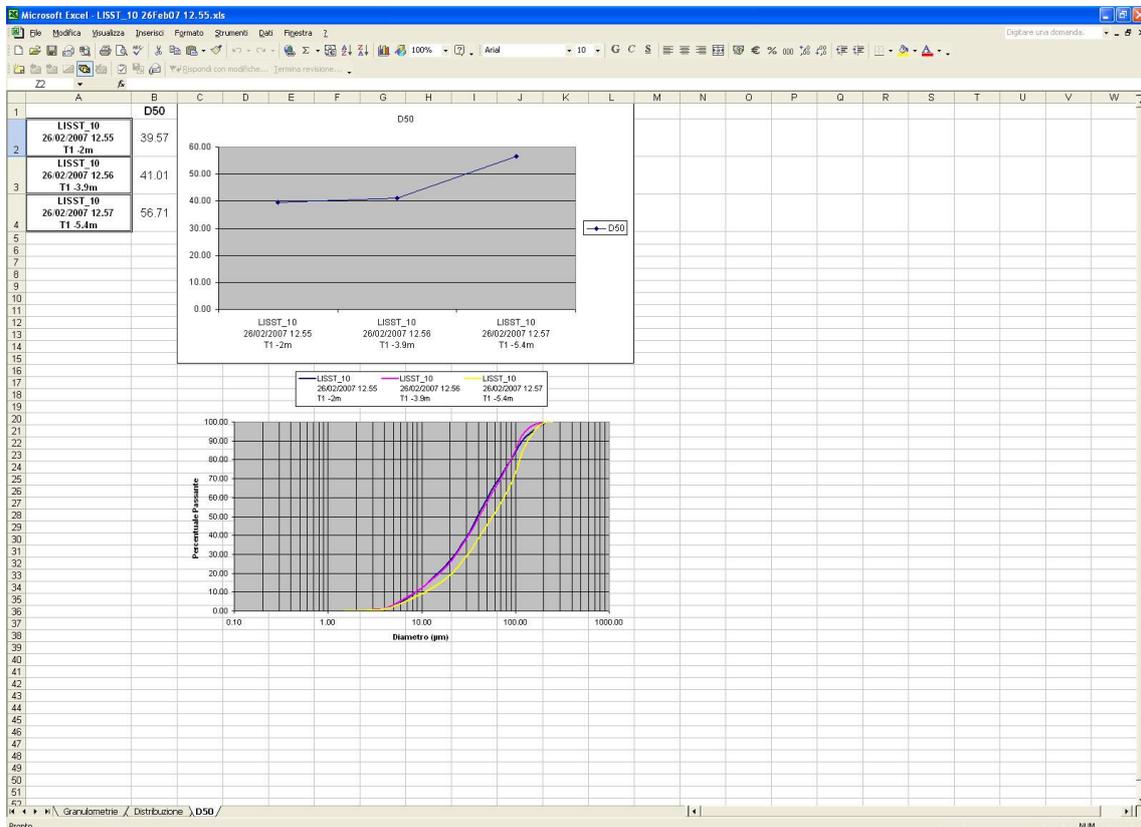


Figura 13. Esempio di un foglio di lavoro contenente i valori del D<sub>50</sub>, la media geometrica e la deviazione standard relativi ai dati LISST acquisiti il 26 Febbraio 2007.

## 4. TEST SULLA METODOLOGIA LISST

### 4.1 Verifica dell'affidabilità della metodologia LISST

Al fine di verificare la capacità del LISST-100X di misurare correttamente le dimensioni del particolato solido in sospensione, è stata controllata la risposta dello strumento utilizzando uno standard a granulometria nota. A tale scopo è stato usato uno standard polidisperso di sfere di vetro con un diametro compreso tra 25 e 32  $\mu\text{m}$ .

Lo standard è stato disperso in 100 ml di acqua distillata nella cella utilizzata per le misure di laboratorio. Le misure sono state ripetute su 15 campioni diversi, con una concentrazione media di 2.75  $\mu\text{l/l}$ . Per ogni campione la distribuzione granulometrica è stata calcolata mediando su 30 misure. Nella Tabella 5 sono presentati i valori della frequenza media cumulata ed il valore del  $D_{50}$  dei 15 campioni misurati. Nella Figura 14 sono riportate le distribuzioni granulometriche per ciascun campione. Le curve mostrano che la distribuzione granulometrica misurata dallo strumento è sostanzialmente la stessa e la percentuale passante del materiale compreso tra 25 e 32  $\mu\text{m}$  è maggiore del 65%. Inoltre, i  $D_{50}$  (Tabella 5) calcolati per ciascuna distribuzione hanno un valore medio di 31.55  $\mu\text{m}$ , dunque compreso entro l'intervallo di diametri dello standard. Solo il campione numero 6 ha un valore del  $D_{50}$  pari a 32.07 (Tabella 5), per cui di poco superiore al diametro massimo dello standard.

La Tabella 6 presenta la frequenza cumulata ottenuta dalla media dei risultati delle 15 determinazioni effettuate sullo standard ed il valore della deviazione standard ( $\sigma$ , %), calcolata per ognuna delle classi granulometriche. Nella Figura 15 è riportata la distribuzione granulometrica media e la dispersione dei dati rispetto alla media ottenuta, rispettivamente, sommando e sottraendo alla distribuzione media la deviazione standard. Come si osserva dalla Figura 15 e dai dati della Tabella 6, i valori della deviazione standard sono sempre minori di 2.5%, per le classi comprese tra 25 e 32  $\mu\text{m}$ ; dunque è possibile affermare che i dati sono poco dispersi intorno al valore atteso.

Nella Figura 15 si nota come le maggiori indeterminazioni sulla misura riguardano le classi granulometriche più grossolane. Tale indeterminazione aumenta con la concentrazione del materiale introdotto a causa di probabili fenomeni di aggregazione elettrostatica che si verificano tra i granuli di vetro dello standard. Per concentrazioni al di sotto dei 5  $\mu\text{l/l}$  di concentrazione la deviazione standard per le classi granulometriche più grossolane rimane inferiore al 2.5%, mentre con concentrazioni più elevate i dati si disperdono maggiormente intorno al valore atteso.

Per quantificare la precisione della misura, cioè se i dati si distribuiscono intorno al valore medio, è stato calcolato il modulo del coefficiente di variazione  $v$ :

$$v = \frac{\sigma}{|x|}$$

definito dal rapporto tra la deviazione standard ed il modulo del valore medio. Il coefficiente  $v$  è comunemente espresso in termini percentuali. La Tabella 7 riassume la deviazione standard per ciascuna classe granulometrica, il coefficiente di variazione e la precisione espressa come percentuale del coefficiente di variazione. Il coefficiente di variazione, che assume un valore massimo 2.80091% per la classe di 31.60  $\mu\text{m}$ , è sempre minore dell'1%. I bassi valori della deviazione standard, sia per la frequenza semplice che cumulata, e dei coefficienti di variazione indicano che la metodologia in esame ha un buon grado di precisione ed accuratezza all'interno del *range* di granulometrie incontrato.

## CORILA

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

Tabella 5. Frequenza cumulata per i 15 campioni di standard misurati e relativi D<sub>50</sub>.

Diametro particelle (µm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
250.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
212.50	99.87	99.99	99.92	99.93	100.00	99.92	100.00	100.00	99.96	99.70	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00
180.00	99.77	99.98	99.85	99.86	100.00	99.84	100.00	100.00	99.92	99.38	100.00	99.98	100.00	99.98	100.00
152.50	99.65	99.95	99.78	99.78	100.00	99.75	100.00	100.00	99.87	99.17	99.99	99.95	100.00	99.97	100.00
129.50	99.51	99.90	99.68	99.68	100.00	99.64	100.00	99.99	99.80	99.01	99.97	99.91	100.00	99.93	100.00
110.00	99.26	99.79	99.48	99.50	99.94	99.43	100.00	99.92	99.68	98.82	99.89	99.81	99.96	99.84	99.99
93.10	98.83	99.54	99.12	99.13	99.78	99.01	99.92	99.74	99.39	98.47	99.69	99.58	99.80	99.61	99.85
78.70	98.19	99.11	98.41	98.44	99.43	98.12	99.67	99.35	98.83	97.82	99.24	99.09	99.44	99.14	99.50
66.70	97.22	98.29	96.84	96.97	98.70	95.95	99.08	98.52	97.75	96.62	98.32	98.11	98.63	98.17	98.70
56.55	95.56	96.78	93.82	94.31	97.26	91.68	97.79	96.92	95.81	94.55	96.57	96.30	97.04	96.35	97.04
47.95	92.34	93.77	89.19	90.20	94.54	85.79	95.32	93.98	92.45	91.27	93.47	93.12	94.17	93.18	94.11
40.60	85.88	87.14	81.82	83.03	88.38	77.84	89.48	87.50	85.54	84.70	86.91	86.44	87.91	86.54	87.76
34.40	69.99	70.98	67.17	67.52	71.86	63.18	72.90	70.74	68.76	67.77	70.00	69.51	71.03	69.42	70.61
29.15	29.52	33.97	35.05	33.99	34.00	32.08	33.85	33.62	32.15	29.57	31.60	31.77	31.47	30.93	30.65
24.70	4.00	7.77	10.03	9.35	7.54	8.95	6.88	7.82	7.27	5.34	6.39	6.73	5.83	6.08	5.29
20.95	0.40	1.68	3.02	2.70	1.56	2.73	1.23	1.74	1.57	0.82	1.17	1.33	0.93	1.07	0.74
17.75	0.05	0.54	1.38	1.19	0.50	1.27	0.32	0.58	0.51	0.17	0.31	0.40	0.21	0.27	0.13
15.05	0.00	0.19	0.78	0.65	0.19	0.73	0.09	0.23	0.19	0.02	0.09	0.14	0.04	0.07	0.00
12.75	0.00	0.06	0.48	0.38	0.06	0.46	0.00	0.08	0.06	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
10.80	0.00	0.00	0.29	0.22	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.15	0.00	0.00	0.19	0.12	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.75	0.00	0.00	0.13	0.07	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.57	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.57	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.72	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.39	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.87	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.43	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.06	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## CORILA

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

<b>Diametro particelle (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
1.75	0.00	0.00	0.11	0.06	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.48	0.00	0.00	0.07	0.05	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	31.70	31.32	31.49	31.55	31.26	32.07	31.22	31.36	31.60	31.85	31.56	31.58	31.50	31.64	31.58

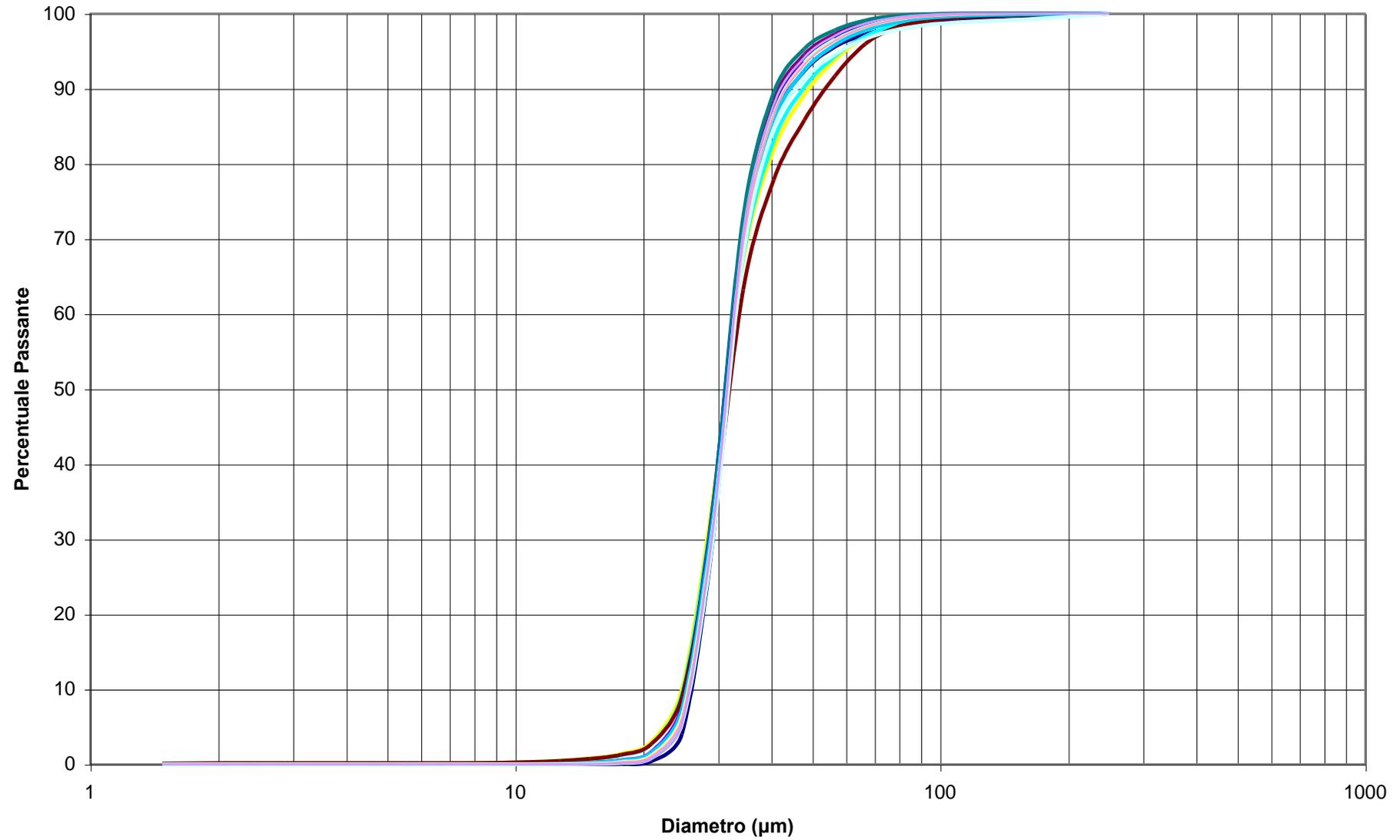


Figura 14. Distribuzioni granulometriche dei 15 campioni di standard misurati.

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

Tabella 6. Media della frequenza cumulata per i 15 campioni di standard misurati e deviazione standard ( $\sigma$ ), relativa a ciascuna delle 32 classi granulometriche.

<b>Diametro particelle (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Media</b>	<b><math>\sigma</math> (%)</b>
250.00	100.00	0.000
212.50	99.95	0.081
180.00	99.90	0.163
152.50	99.86	0.223
129.50	99.80	0.270
110.00	99.69	0.331
93.10	99.43	0.427
78.70	98.92	0.580
66.70	97.86	0.922
56.55	95.85	1.630
47.95	92.46	2.476
40.60	85.79	2.970
34.40	69.43	2.355
29.15	32.28	1.723
24.70	7.02	1.636
20.95	1.51	0.770
17.75	0.52	0.424
15.05	0.23	0.268
12.75	0.11	0.174
10.80	0.05	0.112
9.15	0.03	0.072
7.75	0.02	0.052
6.57	0.02	0.047
5.57	0.02	0.047
4.72	0.02	0.047
4.00	0.02	0.047
3.39	0.02	0.047
2.87	0.02	0.047
2.43	0.02	0.047
2.06	0.02	0.047
1.75	0.02	0.046
1.48	0.01	0.031

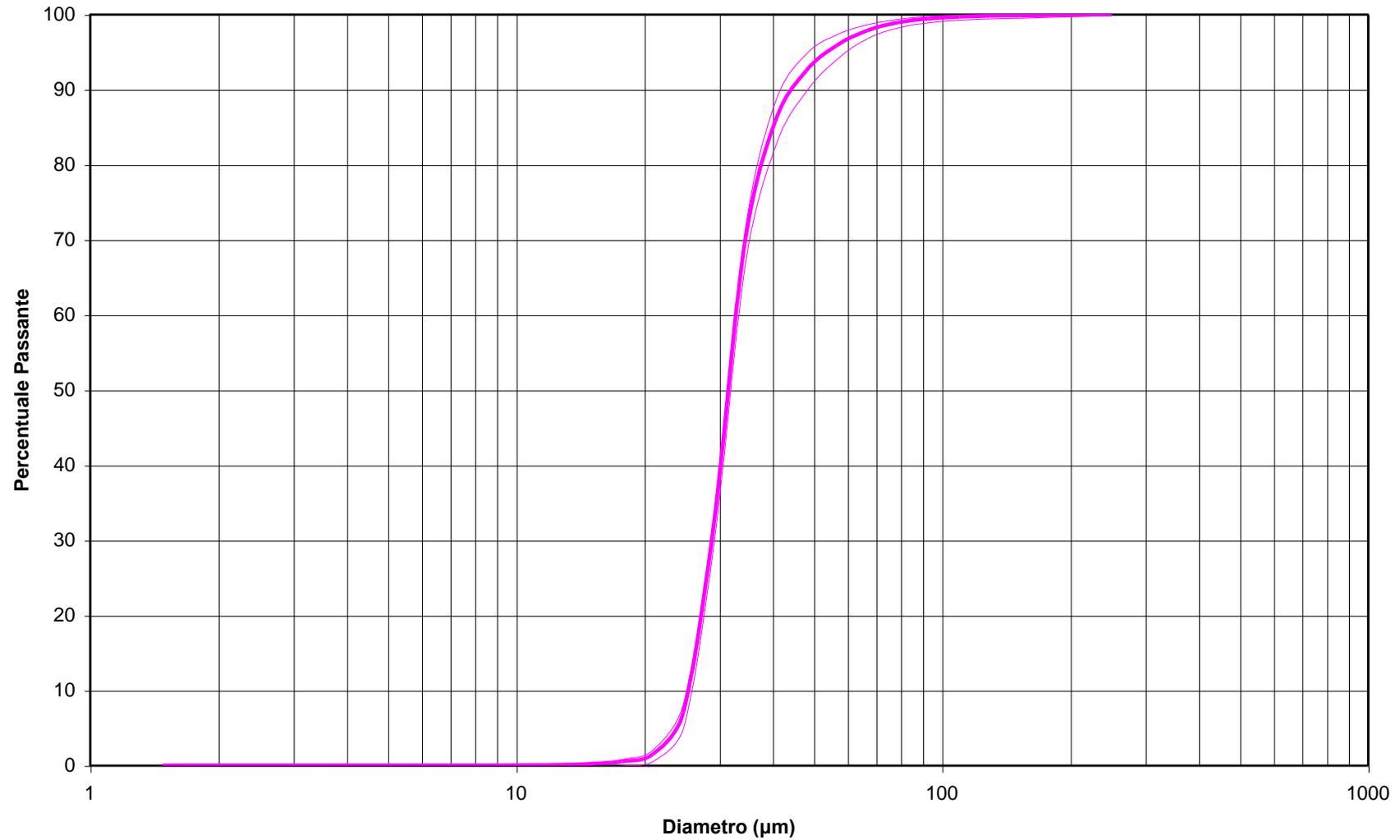


Figura 15. Distribuzione granulometrica media (curva ingrossata) ricavata dai 15 campioni di standard. Le curve sottili rappresentano l'involuppo dell'errore (media  $\pm \sigma$ ) calcolato per ciascuno degli intervalli di misura.

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

Tabella 7. Media delle frequenze semplici per i 15 campioni di standard misurati, deviazione standard per ciascuna classe granulometrica, coefficiente di variazione e precisione della misura.

Diametro particelle ( $\mu\text{m}$ )	Media ( $\mu\text{l/l}$ )	$\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )	Coefficiente di Variazione	Precisione (%)
250.00	0.00025	0.00049	0.000337503	0.0337503
212.50	0.00011	0.00022	0.000153534	0.0153534
180.00	0.00001	0.00003	0.000017363	0.0017363
152.50	0.00000	0.00000	0.000000000	0.0000000
129.50	0.00000	0.00000	0.000000000	0.0000000
110.00	0.00000	0.00000	0.000000000	0.0000000
93.10	0.00000	0.00000	0.000000000	0.0000000
78.70	0.00000	0.00000	0.000000000	0.0000000
66.70	0.00000	0.00000	0.000000000	0.0000000
56.55	0.00000	0.00000	0.000000000	0.0000000
47.95	0.00005	0.00010	0.000069982	0.0069982
40.60	0.00017	0.00032	0.000221954	0.0221954
34.40	0.00033	0.00062	0.000426844	0.0426844
29.15	0.00085	0.00102	0.000701035	0.0701035
24.70	0.00187	0.00145	0.000998161	0.0998161
20.95	0.00450	0.00228	0.001572749	0.1572749
17.75	0.01489	0.00480	0.003314656	0.3314656
15.05	0.08128	0.01114	0.007688878	0.7688878
12.75	0.36451	0.01403	0.009677532	0.9677532
10.80	0.53446	0.04148	0.028618837	2.8618837
9.15	0.23788	0.01293	0.008921217	0.8921217
7.75	0.09708	0.00811	0.005597252	0.5597252
6.57	0.04998	0.01371	0.009458083	0.9458083
5.57	0.03014	0.01198	0.008264575	0.8264575
4.72	0.01584	0.00629	0.004342076	0.4342076
4.00	0.00742	0.00268	0.001848637	0.1848637
3.39	0.00352	0.00152	0.001049258	0.1049258
2.87	0.00154	0.00103	0.000710220	0.0710220
2.43	0.00073	0.00075	0.000516605	0.0516605
2.06	0.00063	0.00090	0.000618527	0.0618527
1.75	0.00068	0.00124	0.000856523	0.0856523
1.48	0.00064	0.00120	0.000830255	0.0830255

#### 4.2 Confronto con altre metodologie

Le determinazioni della distribuzione granulometrica effettuate con il LISST per le campagne di utilizzo in laboratorio LISST\_6, del giorno 7 Novembre 2006, LISST\_7, del giorno 15 Novembre 2006, e LISST\_8, del giorno 23 Novembre 2006, sono state ripetute anche utilizzando uno strumento laser scatter da laboratorio (Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., USA). A titolo di esempio vengono riportati alcuni diagrammi di confronto delle distribuzioni granulometriche ottenute con i due strumenti. Nelle Figure 16 e 17 sono visualizzate le distribuzioni granulometriche per i campioni L3 CL4 (stazione L3: E 2317967.8905, N 5033757.8761) e T4 CL4 (stazione T4: E 2318283.3726, N 5034082.1210) raccolti il giorno 4 Ottobre 2006 durante il calante di marea (CL) nella bocca di Porto di Lido, rispettivamente, nel Canale di San Nicolò e nel Canale di Treporti. Nella Figura 18 sono, infine, riportate le distribuzioni granulometriche per il campione

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

C2 CR3 (stazione C2: E 2307505.4574, N 5012343.1241) raccolto il giorno 7 Ottobre 2006 durante il crescente di marea (CR) nella bocca di Porto di Chioggia.

Nei campioni L3 CL4 (Figura 16) e T4 CL4 (Figura 17) si osserva un sostanziale accordo tra le due distribuzioni granulometriche per le classi maggiori di 70  $\mu\text{m}$ , mentre per i valori inferiori a 70  $\mu\text{m}$  è evidente un forte scostamento. La distribuzione granulometrica ottenuta con lo strumento Mastersizer 2000 (curva blu nelle Figure 16 e 17) risulta, diversamente da quella ottenuta con il LISST, bimodale. Nel caso di un campione prelevato lungo la colonna d'acqua nelle condizioni in esame, ci si attende una distribuzione unimodale, più simile a quella descritta dalle distribuzioni granulometriche ricavate con il LISST. Le distribuzioni bimodali sono, infatti, solitamente il risultato di processi che si verificano in ambienti deposizionali fluviali e dipendono dalla sorgente del materiale e dalle caratteristiche idrodinamiche, che influenzano i meccanismi di trasporto del sedimento [Visher, 1969; Middleton, 1976].

Per il campione C2 CR3 (Figura 18) entrambe le curve della distribuzione granulometrica sono unimodali e hanno un andamento simile, anche se la classificazione risultante è sostanzialmente differente. Nel caso del LISST (curva rosa in Figura 18) il campione viene classificato come limo (68% di limo e 32% di sabbia) con un  $D_{50}$  di 45  $\mu\text{m}$ , mentre con il Mastersizer 2000 (curva blu in Figura 18) la percentuale di sabbia risulta più elevata (15% di limo e 85% di sabbia) con un  $D_{50}$  di 101  $\mu\text{m}$ .

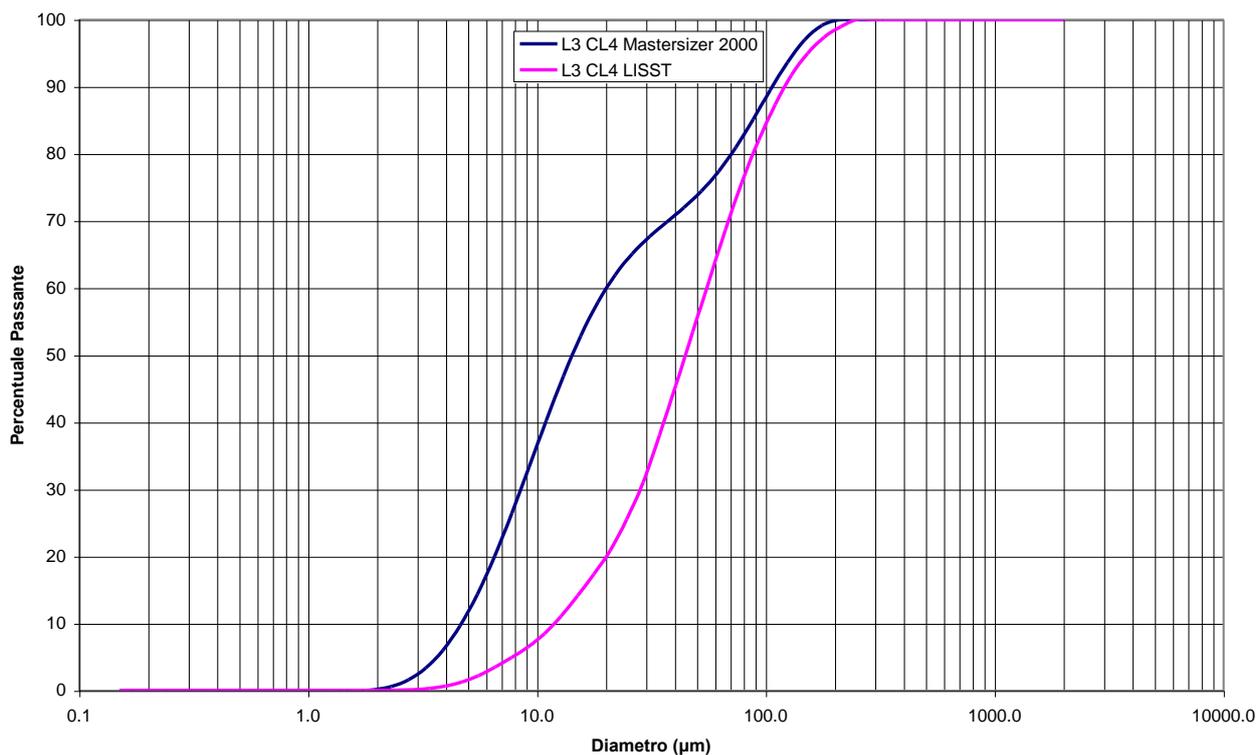


Figura 16. Confronto tra la distribuzione granulometrica ottenuta con il LISST-100X (utilizzo in laboratorio LISST\_7) e il Mastersizer 2000 sul campione L3 CL4, raccolto (stazione L3: E 2317967.8905, N 5033757.8761) nella fase del calante di marea, alla bocca di Porto di Lido, Canale di San Nicolò, il giorno 4 Ottobre 2006.

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

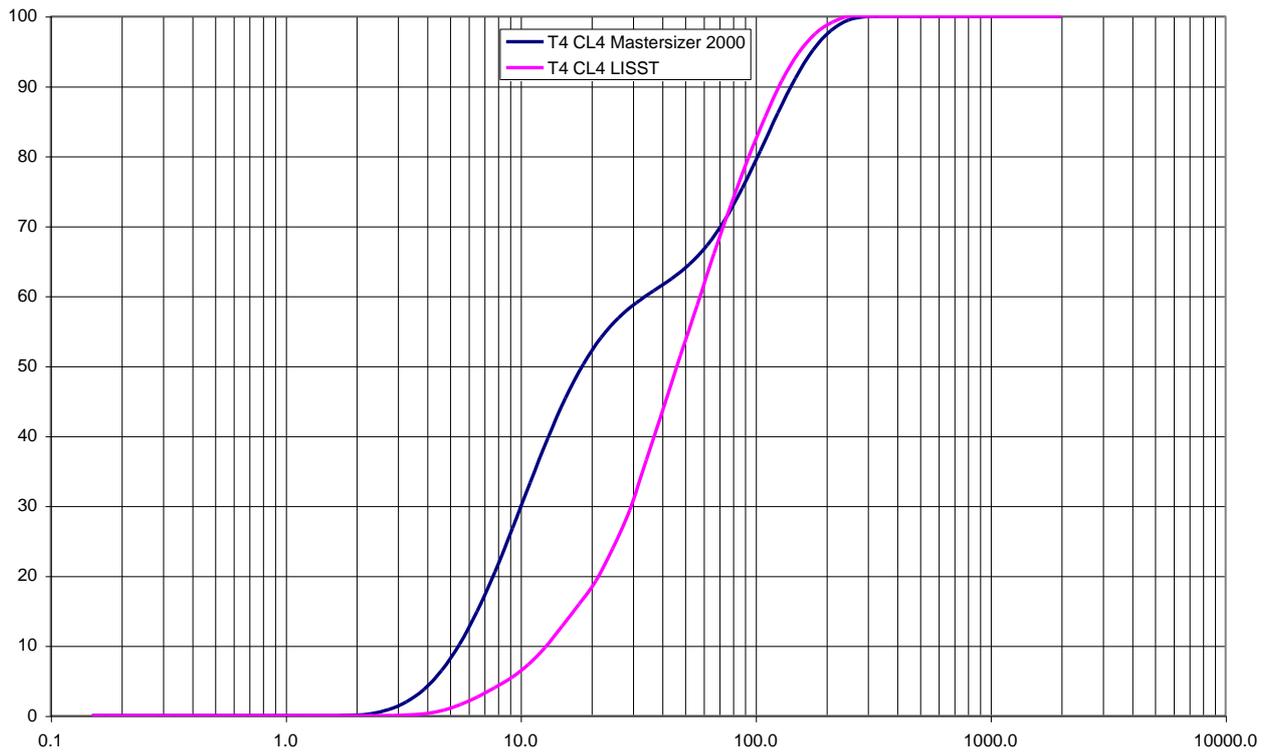


Figura 17. Confronto tra le misure effettuate con il LISST-100X (utilizzo in laboratorio LISST\_6) e il Mastersizer 2000 sul campione T4 CL4, raccolto (stazione T4: E 2318283.3726, N 5034082.1210) nella fase del calante di marea, alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, il giorno 4 Ottobre 2006.

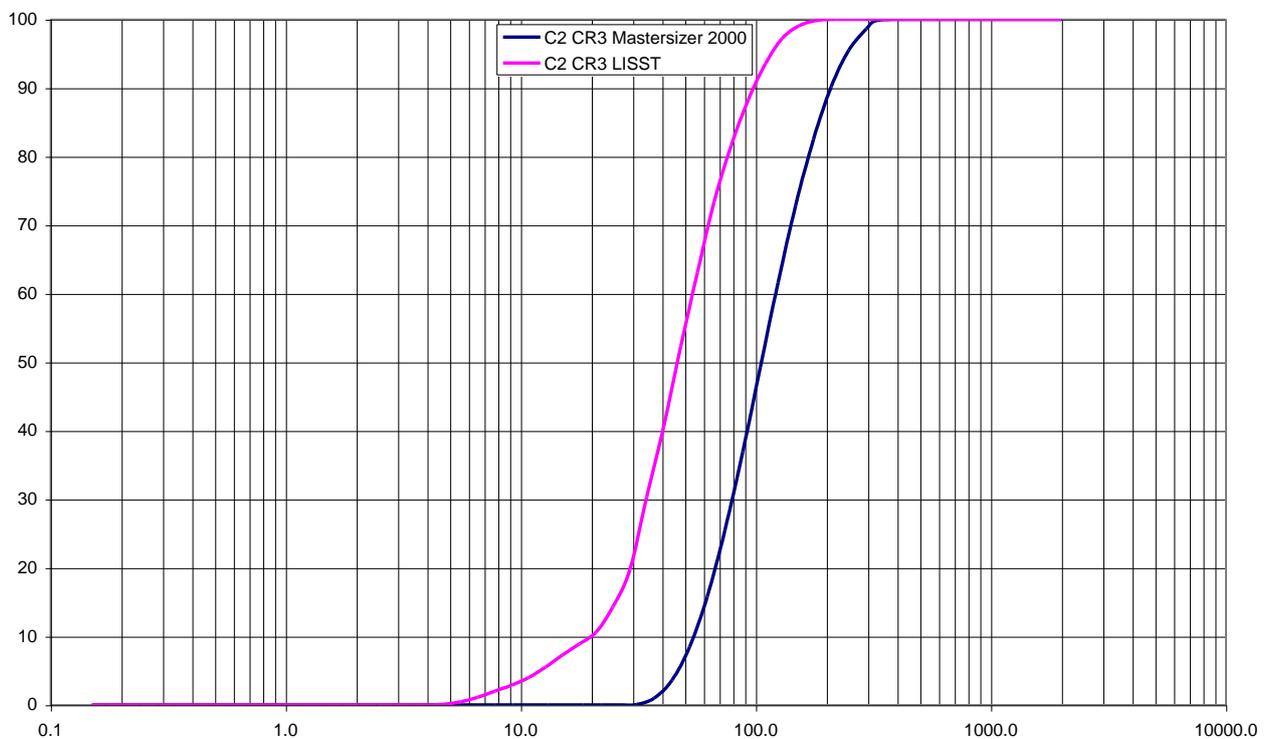


Figura 18. Confronto tra le misure effettuate con il LISST-100X (utilizzo in laboratorio LISST\_8) e il Mastersizer 2000 sul campione C2 CR3, raccolto (stazione C2: E 2307505.4574, N 5012343.1241) nella fase del crescente di marea, alla bocca di Porto di Chioggia, il giorno 7 Ottobre 2006.

## 5.     **RISULTATI OTTENUTI DALLE CAMPAGNE LISST**

Sono state effettuate 15 sessioni di misura nel periodo compreso tra Maggio 2006 ed Aprile 2007, alle Bocche di porto di Lido e di Chioggia. Le informazioni metodologiche riguardanti ciascuna sessione sono sintetizzate nella Tabella 1.

In questo capitolo vengono riportati alcuni esempi di applicazione della metodologia LISST ricavati dalle sessioni di misura eseguite; infatti il LISST-100X può essere utilizzato in campo, come profilatore in continuo (LISST\_10 del giorno 26 Febbraio 2007, LISST\_11 del giorno 27 Febbraio 2007, LISST\_13 del giorno 4 Aprile 2007, LISST 15 del giorno 19 Aprile 2007) oppure a quote prestabilite (LISST\_1 del giorno 21 marzo 2006), ed in laboratorio (LISST\_6 del giorno 4 Ottobre 2006, LISST\_8 del giorno 7 Ottobre 2006).

Nelle Tabelle 8 e 9 sono riportati i valori della frequenza cumulata relativi alla stazione dell'ADCP fisso al fondo della bocca di Porto di Lido, acquisiti in modalità continua durante la campagna LISST\_12 del giorno 21 Marzo 2007. Nelle Figure 19 e 20 sono rappresentate le distribuzioni granulometriche corrispondenti, ottenute alle quote stabilite per la raccolta dei campioni d'acqua. Nella Tabella 10 i risultati vengono raggruppati in base alle principali classi granulometriche della scala di Wentworth [1922] e classificati secondo Shepard [1954]. Inoltre, viene riportato, per ciascun campione il valore del  $D_{50}$ .

I campioni raccolti alle ore 10.02 (ora solare) sono stati classificati come sabbie-limose (Figura 19) e presentano anche percentuali apprezzabili di argilla (7-11%). Il  $D_{50}$  è massimo (112  $\mu\text{m}$ ) per il campione più superficiale (profondità 1.9 m) a causa della percentuale più elevata di sabbia, mentre diminuisce negli altri due campioni (Tabella 10).

Il campione più superficiale (profondità 2.1 m) raccolto alle ore 11.33 (ora solare) è classificato come sabbia-limosa (Figura 20), mentre i campioni acquisiti alle profondità di 6.1 e 12.1 m sono classificabili come limi-sabbiosi in quanto la percentuale in volume della sabbia, che supera il 50%, è inferiore rispetto a quella del limo (Tabella 10). Anche per questi campioni la percentuale in volume di argilla, compresa tra l'11% ed il 12%, è elevata. Il  $D_{50}$  presenta il valore più elevato per il campione raccolto a 2.1 m di profondità e diminuisce procedendo verso il fondo (Tabella 10).

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

Tabella 8. Frequenza cumulata per i campioni prelevati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell' ADCP fisso, il giorno 21 Marzo 2007 alle ore 10.02 (ora solare).

<b>Diametro particelle (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>21/03/2007 10.02 ADCP -1.9 m</b>	<b>21/03/2007 10.02 ADCP -7.1 m</b>	<b>21/03/2007 10.02 ADCP -12.1 m</b>
250.00	100.00	100.00	100.00
212.50	88.65	94.49	95.68
180.00	80.17	90.88	92.51
152.50	68.08	86.76	88.73
129.50	58.43	81.66	83.88
110.00	49.22	75.20	77.47
93.10	43.39	68.15	70.09
78.70	40.05	61.95	62.47
66.70	37.46	56.50	54.64
56.55	34.77	51.30	46.76
47.95	32.35	46.18	39.54
40.60	30.47	40.81	33.03
34.40	28.45	35.68	27.80
29.15	26.74	31.13	23.75
24.70	24.93	27.49	20.85
20.95	22.92	24.10	18.34
17.75	20.89	21.34	16.35
15.05	18.91	18.89	14.57
12.75	16.88	16.19	12.56
10.80	14.83	13.32	10.36
9.15	13.17	10.95	8.51
7.75	12.26	9.54	7.40
6.57	11.89	8.95	6.93
5.57	11.69	8.68	6.72
4.72	11.57	8.52	6.60
4.00	11.48	8.40	6.50
3.39	11.36	8.25	6.39
2.87	11.26	8.08	6.26
2.43	11.18	7.83	6.05
2.06	11.05	7.35	5.64
1.75	10.70	6.26	4.72
1.48	9.06	3.99	2.94

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

Tabella 9. Frequenza cumulata per i campioni prelevati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell'ADCP fisso, il giorno 21 Marzo 2007 alle ore 11.33 (ora solare).

<b>Diametro particelle (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>21/03/2007 11.33 ADCP -2.1 m</b>	<b>21/03/2007 11.33 ADCP -6.9 m</b>	<b>21/03/2007 11.33 ADCP -12.1 m</b>
250.00	100.00	100.00	100.00
212.50	90.69	98.03	98.58
180.00	85.37	96.95	97.87
152.50	79.83	95.24	96.70
129.50	73.72	92.22	94.43
110.00	66.82	86.82	89.95
93.10	60.57	79.47	83.46
78.70	56.31	72.75	77.23
66.70	53.34	66.97	71.62
56.55	50.98	61.86	66.61
47.95	48.65	57.06	61.88
40.60	45.79	52.00	56.89
34.40	42.21	46.80	51.75
29.15	38.25	41.62	46.53
24.70	34.39	37.10	41.85
20.95	30.35	32.57	36.99
17.75	26.81	28.78	32.80
15.05	23.59	25.37	28.95
12.75	20.14	21.57	24.60
10.80	16.55	17.65	20.10
9.15	13.66	14.44	16.43
7.75	12.03	12.50	14.20
6.57	11.37	11.70	13.28
5.57	11.09	11.31	12.82
4.72	10.95	11.00	12.45
4.00	10.86	10.69	12.08
3.39	10.74	10.32	11.63
2.87	10.62	9.89	11.12
2.43	10.45	9.34	10.46
2.06	10.07	8.44	9.42
1.75	9.01	6.82	7.58
1.48	6.17	4.09	4.52

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

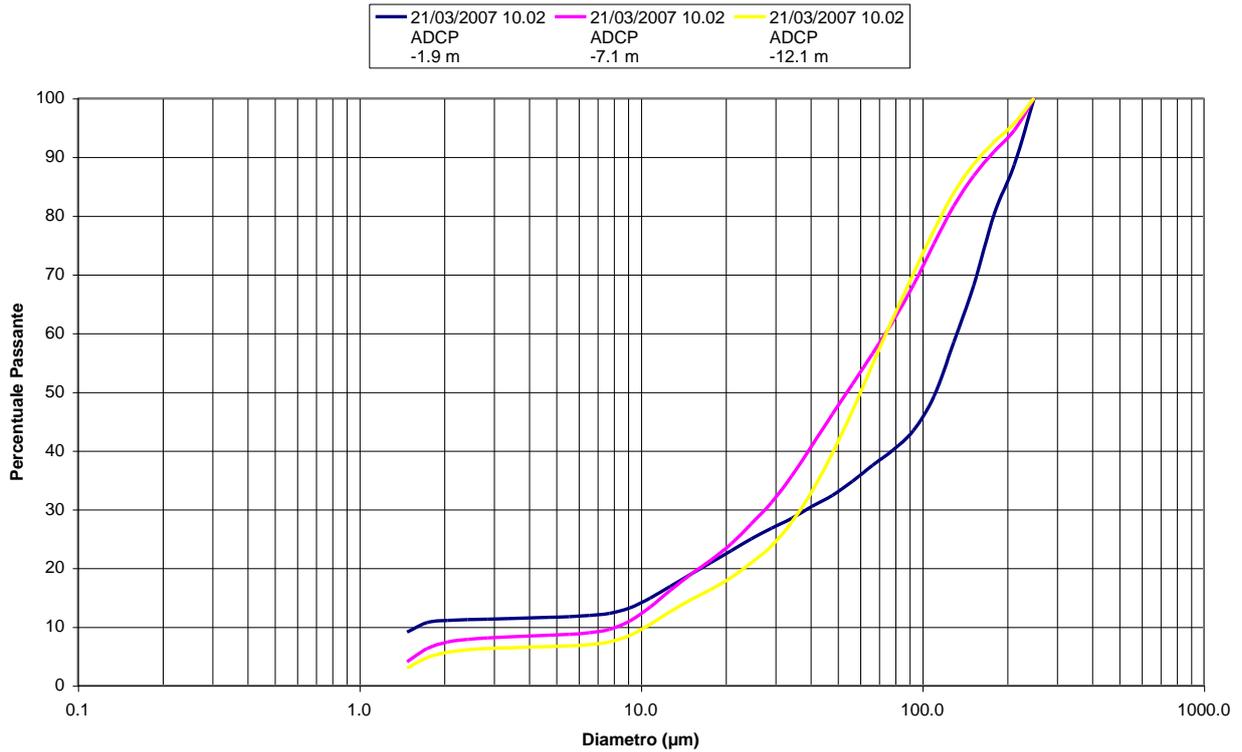


Figura 19. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell'ADCP fisso, il giorno 21 Marzo 2007 alle ore 10.02 (ora solare).

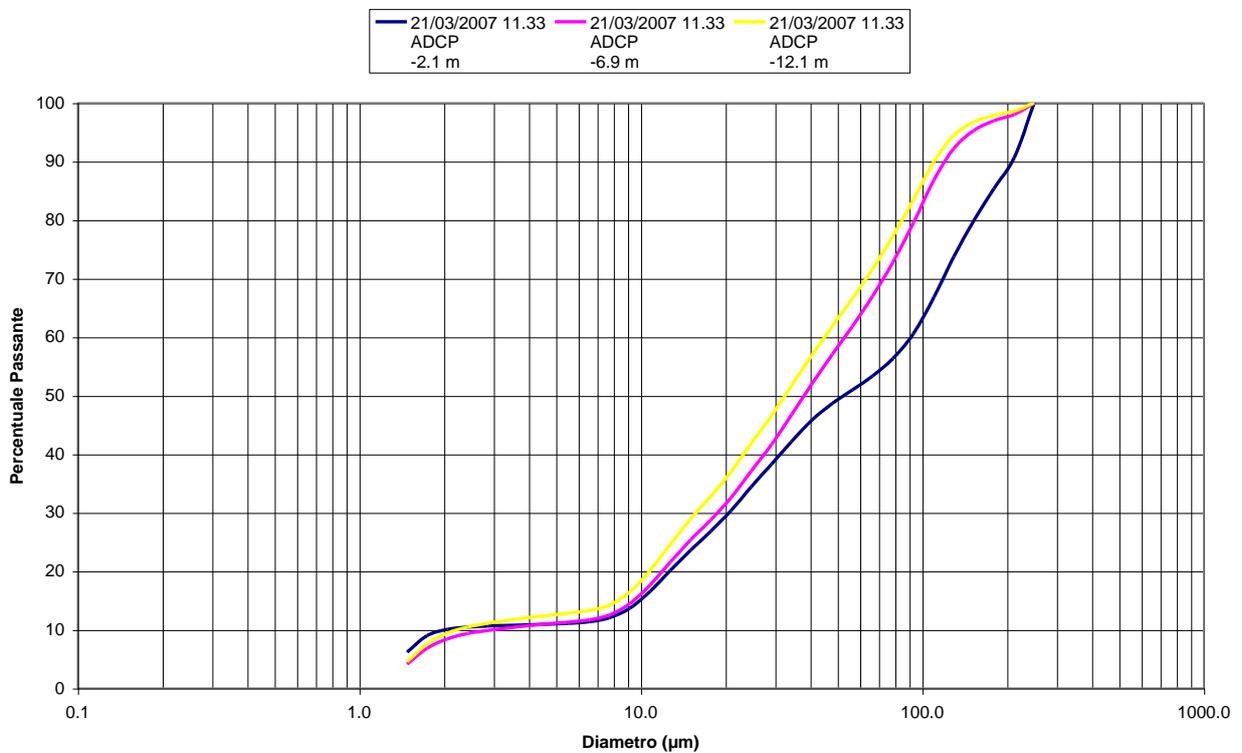


Figura 20. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell'ADCP fisso, il giorno 21 Marzo 2007 alle ore 11.33 (ora solare).

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

Tabella 10. Percentuali in volume delle frazioni granulometriche [1922], classificazione secondo Shepard [1954],  $D_{50}$ , media geometrica e deviazione standard dei sedimenti campionati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell'ADCP fisso, il giorno 21 Marzo 2007.

Profondità (m)	Ora solare	Scala Wentworth			Classificazione Shepard	$D_{50}$ ( $\mu$ m)
		Argilla %	Limo %	Sabbia %		
-1.9	10.02	11	25	64	sabbia-limosa	112
-7.1		8	46	46	sabbia-limosa	54
-12.1		7	43	50	sabbia-limosa	61
-2.1	11.33	11	41	48	sabbia-limosa	53
-6.9		11	53	36	limo-sabbioso	38
-12.1		12	57	31	limo-sabbioso	33

Come esempio di utilizzo del LISST come profilatore in continuo, nelle successive Tabelle sono presentati i risultati delle campagne di misura LISST\_10 del giorno 26 Febbraio 2007 (Tabella 11), LISST\_11 del giorno 27 Febbraio 2007 (Tabella 12), e LISST\_13 del giorno 4 Aprile 2007 (Tabella 13), presso la bocca di porto di Lido. Le acquisizioni sono state effettuate in continuo nelle stazioni ADCP ed 83 e per le campagna LISST\_10 nella stazione T1. I risultati sono raggruppati, come per la Tabella 8, in base alle principali classi granulometriche della scala di Wentworth (argilla, limo e sabbia) e classificati secondo Shepard [1954]. Inoltre, viene presentato il valore del  $D_{50}$  per ciascun campione.

Nella Tabella 14 sono presentati i risultati relativi alla campagna LISST 15 del giorno 19 Aprile 2007 presso la bocca di porto di Chioggia. Anche in questo caso le acquisizioni sono state effettuate in continuo nella stazione ADCPCH.

Tabella 11. Percentuali in volume delle frazioni granulometriche [1922], classificazione secondo Shepard [1954],  $D_{50}$ , media geometrica e deviazione standard dei sedimenti campionati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza della stazione T1, il giorno 26 Febbraio 2007 (LISST\_10).

Profondità (m)	Ora solare	Scala Wentworth			Classificazione Shepard	$D_{50}$ ( $\mu$ m)
		Argilla %	Limo %	Sabbia %		
-2.0	12.55	0	67	33	limo-sabbioso	40
-3.9		0	66	34	limo-sabbioso	41
-5.4		0	53	47	limo-sabbioso	57
-2.0	16.00	0	64	36	limo-sabbioso	35
-3.9		0	63	37	limo-sabbioso	39
-5.4		0	54	46	limo-sabbioso	53

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

Tabella 12. Percentuali in volume delle frazioni granulometriche [1922], classificazione secondo Shepard [1954],  $D_{50}$ , media geometrica e deviazione standard dei sedimenti campionati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell' ADCP fisso e della stazione 83, il giorno 27 Febbraio 2007 (LISST\_11)

Profondità (m)	Ora solare	Scala Wentworth			Classificazione Shepard	$D_{50}$ ( $\mu$ m)
		Argilla %	Limo %	Sabbia %		
-2.0 (83)	10.27	0	97	3	limo	16
-4.0		0	78	22	limo-sabbioso	26
-1.9 (83)	12.23	0	55	45	limo-sabbioso	53
-4.0		0	37	63	sabbia-limosa	92
-2.0 (ADCP fisso)	12.29	0	85	15	limo	28
-6.9		0	65	35	limo-sabbioso	37
-11.6		0	50	50	limo-sabbioso	61

Tabella 13. Percentuali in volume delle frazioni granulometriche [1922], classificazione secondo Shepard [1954],  $D_{50}$ , media geometrica e deviazione standard dei sedimenti campionati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell' ADCP fisso e della stazione 83, il giorno 4 Aprile 2007 (LISST\_13).

Profondità (m)	Ora solare	Scala Wentworth			Classificazione Shepard	$D_{50}$ ( $\mu$ m)
		Argilla %	Limo %	Sabbia %		
-2.0 (83)	9.55	5	16	79	sabbia	142
-4.0		4	22	74	sabbia-limosa	119
-1.9 (ADCP fisso)	10.02	11	25	64	sabbia-limosa	108
-7.1		7	47	46	limo-sabbioso	54
-12.1		6	45	49	sabbia-limosa	60
-2.0 (83)	11.21	8	23	70	sabbia-limosa	98
-4.0		3	16	81	sabbia	127
-2.1 (ADCP fisso)	11.33	10	42	48	sabbia-limosa	53
-6.9		8	56	36	limo-sabbioso	38
-12.1		9	60	31	limo-sabbioso	32

Tabella 14. Percentuali in volume delle frazioni granulometriche [1922], classificazione secondo Shepard [1954],  $D_{50}$ , media geometrica e deviazione standard dei sedimenti campionati alla bocca di Porto di Lido, in corrispondenza dell' ADCPCH fisso, il giorno 19 Aprile 2007 (LISST\_15).

Profondità (m)	Ora solare	Scala Wentworth			Classificazione Shepard	$D_{50}$ ( $\mu$ m)
		Argilla %	Limo %	Sabbia %		
-2.0	08.45	2	21	77	limo-sabbioso	170
-4.0		3	20	77	limo-sabbioso	171
-6.0		4	19	77	limo-sabbioso	175
-7.0		3	19	78	limo-sabbioso	168
-2.0	9.45	1	27	72	limo-sabbioso	127
-4.0		2	31	67	limo-sabbioso	112
-6.0		2	36	61	limo-sabbioso	97
-7.0		2	36	62	limo-sabbioso	99
-2.0	11.45	19	73	9	limo-sabbioso	170
-4.0		7	24	69	sabbia-limosa	171
-6.0		3	12	85	sabbia-limosa	175
-7.0		8	37	55	limo	168

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

Nelle Tabelle 15 e 16 sono riportati i valori della frequenza cumulata relativi ai campioni raccolti nelle stazioni T1 (E 2318106.7045, N 5035423.6415), T2 (E 2317979.2909, N 5034923.2734), T3 (E 2318063.6275, N 5034473.9952), T4 (E 2318283.3726, N 5034082.1210), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, il giorno 4 Ottobre 2006. In queste stazioni sono stati prelevati dei campioni d'acqua che sono poi stati analizzati con il LISST in laboratorio in data 7 Novembre 2006.

Queste misure e quelle descritte in seguito, relative alla campagna del 7 Ottobre 2006 alla bocca di Porto di Chioggia, rientrano nell'ambito delle indagini integrative per valutare la velocità di sedimentazione del materiale sospeso nell'area delle trincee di alloggiamento dei cassoni di fondazione delle barriere mobili del Progetto MOSE (Technital nota interna "Campagne intensive a supporto delle analisi di sedimentazione nelle trincee dei cassoni di fondazione delle paratoie mobili", Settembre 2006). A differenza di quanto indicato nella nota interna relativa alla modalità di esecuzione delle misure, i campioni d'acqua per il giorno 4 Ottobre 2006 sono stati prelevati durante la fase di calata della sonda e non in fase di recupero per motivi di sicurezza, legati alla possibilità di danneggiare la sonda colpendo il fondale, a causa della presenza di moto ondoso [Campagna intensiva validazione modello-ottobre2006, dicembre 2006, Studio B.6.72 B/1].

Le curve della distribuzione granulometrica ricavate da questi campioni sono riportate nelle Figure 21-28. Per ciascun punto di campionamento sono rappresentate tutte le curve ottenute dall'analisi dei campioni d'acqua raccolti sia nella fase del calante che del crescente di marea. Infine, la Tabella 17 raggruppa i risultati in base alle principali classi granulometriche della scala di Wentworth (argilla, limo e sabbia) e li classifica secondo Shepard [1954]. Inoltre, viene presentato il valore del  $D_{50}$  per ciascun campione.

Il particolato solido sospeso presente nella maggior parte dei campioni prelevati nel corso della campagna in esame è classificato come limo-sabbioso. In qualche caso sono presenti materiali più fini, come nei campioni T2 CR4 (Figura 24) e T3 CL1 (Figura 25), che sono classificabili come limi. Si sottolinea che il campione T2 CR4 viene classificato come limo solo perché la percentuale di limo supera dello 0.4% il limite imposto dalla classificazione di Shepard [1954]. In alcuni campioni appartenenti alle stazioni T1 (Figure 21 e 22, curve T1 CL1, T1 CL2 e T1 CL4) e T2 (Figure 23 e 24, curve T2 CL1 e T2 CL4) è stato riscontrato materiale più grossolano, quindi sono stati classificati come sabbie-limose.

In generale, i campioni risultano, dunque, piuttosto omogenei con una predominanza della parte limosa, percentuali importanti di sabbia e la quasi totale assenza di argille. Il valore del  $D_{50}$  calcolato per ciascun campione evidenzia l'assenza di sostanziali differenze tra i campioni ed è generalmente compreso tra 65 e 45  $\mu\text{m}$  (Tabella 17). Valori più bassi si registrano per i campioni di limo T2 CR4 (Figura 24) e T3 CL1 (Figura 25) che hanno, rispettivamente, un  $D_{50}$  di 34.8 e 27.6  $\mu\text{m}$ . Per le sabbie-limose si osservano, invece, i valori più alti di  $D_{50}$  con un massimo di 77.6  $\mu\text{m}$  per il campione T1 CL1 (Figura 21).

## CORILA

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

Tabella 15. Frequenza cumulata per i campioni prelevati alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, il giorno 4 Ottobre 2006, durante il calante di marea (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

Diametro particelle (µm)	Bocca di Porto di LIDO, Canale di Treporti- Szigie, fase calante (CL)															
	T1 CL1	T1 CL2	T1 CL3	T1 CL4	T2 CL1	T2 CL2	T2 CL3	T2 CL4	T3 CL1	T3 CL2	T3 CL3	T3 CL4	T4 CL1	T4 CL2	T4 CL3	T4 CL4
250.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
212.50	99.10	99.57	99.55	98.93	99.55	99.09	99.71	99.36	99.43	99.78	99.57	99.24	99.64	99.37	99.23	99.17
180.00	95.51	97.28	98.17	95.72	97.50	96.91	98.94	96.87	98.78	99.18	98.48	97.12	98.44	98.12	97.62	97.53
152.50	88.27	91.53	95.40	90.23	92.81	93.05	97.38	91.70	97.88	97.93	96.24	93.01	95.63	95.91	94.83	94.73
129.50	79.14	83.34	91.41	83.59	86.30	87.83	94.86	85.01	96.56	95.91	92.63	87.25	91.06	92.63	90.88	90.77
110.00	69.45	74.00	86.14	76.32	78.63	81.33	91.08	77.37	94.65	92.82	87.41	80.17	84.63	88.04	85.71	85.61
93.10	60.05	64.59	79.86	68.83	70.48	73.89	86.03	69.24	92.25	88.55	80.83	72.38	76.70	82.31	79.59	79.65
78.70	50.49	54.88	72.36	60.88	61.64	65.74	79.67	60.61	89.41	82.91	73.11	64.16	67.46	75.53	72.60	73.08
66.70	41.12	45.31	63.90	52.68	52.46	57.30	72.21	51.89	85.91	75.96	64.68	55.84	57.63	67.91	64.99	66.06
56.55	32.45	36.21	54.87	44.47	43.23	48.87	63.80	43.31	81.54	67.76	55.84	47.62	47.72	59.71	57.02	58.70
47.95	25.56	28.76	46.34	37.13	35.09	41.14	55.29	35.72	76.20	59.22	47.57	40.20	39.06	51.67	49.36	51.50
40.60	19.45	21.97	37.65	29.98	27.25	33.59	46.13	28.52	69.50	49.73	39.19	32.90	30.95	43.33	41.55	43.97
34.40	14.50	16.36	29.57	23.56	20.44	26.73	37.18	22.20	61.69	40.21	31.36	26.20	23.97	35.31	34.09	36.58
29.15	10.18	11.26	21.82	17.53	14.11	20.36	28.36	16.54	53.31	30.54	23.93	19.88	17.65	27.64	26.95	29.38
24.70	7.69	8.35	16.66	13.57	10.36	15.93	22.14	12.82	45.50	23.72	18.83	15.57	13.68	22.00	21.64	23.88
20.95	5.94	6.28	12.73	10.56	7.74	12.51	17.24	10.00	38.12	18.30	14.81	12.21	10.71	17.44	17.31	19.28
17.75	4.95	5.15	10.33	8.69	6.30	10.27	14.08	8.26	31.82	14.86	12.17	10.05	8.88	14.27	14.25	15.94
15.05	4.02	4.08	8.15	6.96	5.00	8.28	11.21	6.68	25.74	11.69	9.68	8.04	7.14	11.38	11.42	12.79
12.75	3.08	2.98	6.08	5.27	3.73	6.43	8.52	5.16	20.01	8.67	7.26	6.11	5.40	8.68	8.75	9.78
10.80	2.26	2.04	4.39	3.84	2.66	4.89	6.34	3.93	15.27	6.23	5.26	4.51	3.90	6.48	6.55	7.30
9.15	1.61	1.34	3.14	2.74	1.86	3.71	4.71	2.99	11.65	4.43	3.76	3.31	2.76	4.84	4.87	5.43
7.75	1.10	0.83	2.19	1.89	1.24	2.76	3.45	2.29	8.83	3.09	2.62	2.37	1.87	3.57	3.57	3.98
6.57	0.62	0.39	1.32	1.11	0.67	1.87	2.26	1.70	6.39	1.88	1.59	1.50	1.08	2.41	2.40	2.68
5.57	0.27	0.13	0.65	0.53	0.27	1.11	1.24	1.18	4.34	0.94	0.80	0.79	0.49	1.44	1.43	1.59
4.72	0.07	0.02	0.22	0.18	0.07	0.53	0.51	0.66	2.77	0.33	0.30	0.31	0.15	0.71	0.71	0.78
4.00	0.01	0.00	0.05	0.04	0.01	0.20	0.15	0.25	1.66	0.08	0.08	0.09	0.03	0.28	0.29	0.32
3.39	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.06	0.04	0.06	0.94	0.02	0.02	0.02	0.01	0.10	0.10	0.11
2.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03
2.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01

## CORILA

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

<b>Bocca di Porto di LIDO, Canale di Treporti- Sizigie, fase calante (CL)</b>																
<b>Diametro particelle (µm)</b>	<b>T1 CL1</b>	<b>T1 CL2</b>	<b>T1 CL3</b>	<b>T1 CL4</b>	<b>T2 CL1</b>	<b>T2 CL2</b>	<b>T2 CL3</b>	<b>T2 CL4</b>	<b>T3 CL1</b>	<b>T3 CL2</b>	<b>T3 CL3</b>	<b>T3 CL4</b>	<b>T4 CL1</b>	<b>T4 CL2</b>	<b>T4 CL3</b>	<b>T4 CL4</b>
2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## CORILA

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

Tabella 16. Frequenza cumulata per i campioni prelevati alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, il giorno 4 Ottobre 2006, durante il crescente di marea (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

Diametro particelle (µm)	Bocca di Porto di LIDO, Canale di Treporti- Sizigie, fase crescente (CR)															
	T1 CR1	T1 CR2	T1 CR3	T1 CR4	T2 CR1	T2 CR2	T2 CR3	T2 CR4	T3 CR1	T3 CR2	T3 CR3	T3 CR4	T4 CR1	T4 CR2	T4 CR3	T4 CR4
250.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
212.50	99.20	98.92	98.77	99.39	99.32	99.04	99.54	99.32	99.42	99.00	98.99	99.31	99.08	98.93	99.26	99.26
180.00	97.61	97.12	96.88	97.85	98.25	97.23	98.50	98.11	98.15	96.34	97.36	97.63	97.23	97.29	97.64	97.70
152.50	94.89	94.42	94.10	94.88	96.62	94.38	96.65	96.40	95.78	91.81	94.92	94.66	94.09	94.98	94.78	94.94
129.50	90.99	90.90	90.39	90.50	94.36	90.64	93.97	94.34	92.19	86.23	91.65	90.63	89.66	92.02	90.76	90.97
110.00	85.74	86.50	85.66	84.70	91.34	85.95	90.25	91.78	87.19	79.90	87.41	85.56	83.93	88.31	85.56	85.68
93.10	79.20	81.43	80.21	77.81	87.59	80.49	85.44	88.66	80.90	73.15	82.34	79.71	77.17	84.02	79.46	79.32
78.70	71.45	75.77	74.22	69.96	83.09	74.21	79.32	84.73	73.41	65.84	76.48	73.03	69.55	79.19	72.57	71.97
66.70	62.81	69.53	67.77	61.50	77.75	67.19	71.99	79.86	65.03	58.12	69.89	65.67	61.37	73.76	65.11	63.89
56.55	53.63	62.81	61.01	52.79	71.56	59.62	63.74	74.04	56.14	50.26	62.74	57.83	52.97	67.73	57.29	55.37
47.95	45.05	56.00	54.27	44.79	64.85	52.15	55.49	67.60	47.74	42.96	55.52	50.23	45.14	61.34	49.84	47.26
40.60	36.57	48.70	47.18	36.88	57.25	44.36	46.83	60.11	39.34	35.69	47.89	42.33	37.38	54.24	42.22	39.04
34.40	28.89	41.30	40.08	29.59	49.15	36.75	38.41	51.95	31.57	28.90	40.29	34.67	30.20	46.79	34.92	31.32
29.15	21.83	33.96	33.14	22.72	40.81	29.40	30.11	43.18	24.40	22.36	32.89	27.14	23.57	39.21	27.83	24.15
24.70	16.97	28.00	27.43	17.95	33.83	23.77	24.00	35.89	19.35	17.70	26.94	21.66	18.79	32.80	22.58	19.04
20.95	13.21	22.85	22.47	14.19	27.63	19.09	19.00	29.37	15.38	14.01	21.88	17.21	14.98	27.09	18.23	15.02
17.75	10.76	18.92	18.59	11.68	22.82	15.72	15.59	24.48	12.68	11.58	18.04	14.19	12.32	22.59	15.15	12.27
15.05	8.57	15.27	14.99	9.33	18.27	12.60	12.44	19.78	10.17	9.35	14.51	11.38	9.88	18.38	12.21	9.75
12.75	6.57	11.86	11.66	7.04	13.99	9.68	9.47	15.25	7.77	7.26	11.27	8.70	7.57	14.44	9.35	7.38
10.80	4.93	9.07	8.91	5.14	10.47	7.28	7.03	11.49	5.75	5.52	8.61	6.47	5.66	11.20	6.96	5.43
9.15	3.73	6.95	6.81	3.69	7.82	5.45	5.20	8.61	4.21	4.18	6.57	4.77	4.20	8.73	5.14	3.96
7.75	2.80	5.29	5.16	2.59	5.78	4.03	3.81	6.40	3.01	3.11	4.97	3.46	3.06	6.79	3.73	2.82
6.57	1.94	3.81	3.70	1.60	4.00	2.76	2.55	4.44	1.93	2.08	3.54	2.27	2.02	5.03	2.45	1.81
5.57	1.25	2.51	2.44	0.82	2.51	1.68	1.49	2.77	1.05	1.18	2.31	1.28	1.16	3.45	1.38	0.99
4.72	0.72	1.46	1.45	0.32	1.38	0.87	0.69	1.43	0.45	0.51	1.33	0.57	0.54	2.10	0.62	0.43
4.00	0.36	0.72	0.77	0.09	0.65	0.37	0.25	0.59	0.15	0.16	0.67	0.19	0.20	1.11	0.21	0.15
3.39	0.15	0.31	0.37	0.02	0.27	0.13	0.07	0.20	0.04	0.04	0.30	0.05	0.06	0.51	0.06	0.04
2.87	0.04	0.12	0.17	0.00	0.10	0.04	0.01	0.05	0.01	0.00	0.13	0.01	0.02	0.21	0.01	0.01
2.43	0.01	0.05	0.09	0.00	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00

## CORILA

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

<b>Bocca di Porto di LIDO, Canale di Treporti- Sizigie, fase crescente (CR)</b>																
<b>Diametro particelle (µm)</b>	<b>T1 CR1</b>	<b>T1 CR2</b>	<b>T1 CR3</b>	<b>T1 CR4</b>	<b>T2 CR1</b>	<b>T2 CR2</b>	<b>T2 CR3</b>	<b>T2 CR4</b>	<b>T3 CR1</b>	<b>T3 CR2</b>	<b>T3 CR3</b>	<b>T3 CR4</b>	<b>T4 CR1</b>	<b>T4 CR2</b>	<b>T4 CR3</b>	<b>T4 CR4</b>
2.06	0.00	0.03	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
1.75	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
1.48	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

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

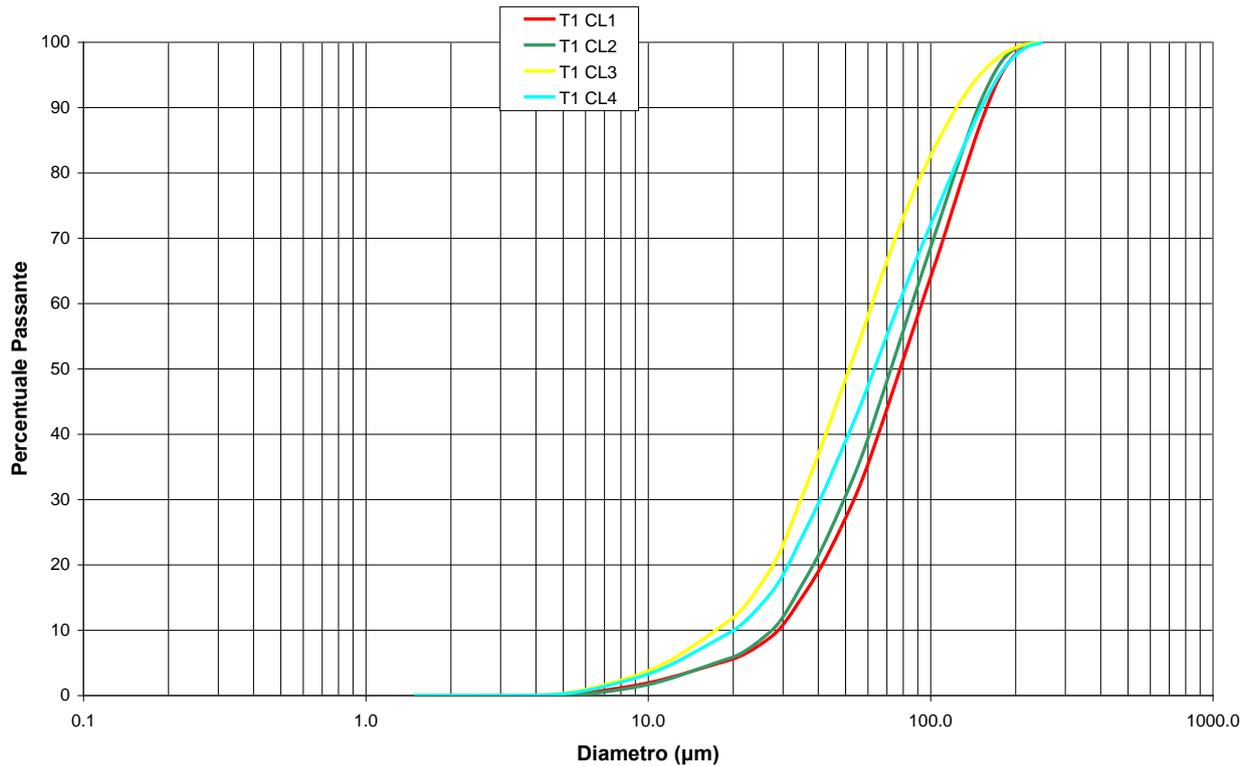


Figura 21. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T1 (E 2318106.7045, N 5035423.6415), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del calante di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

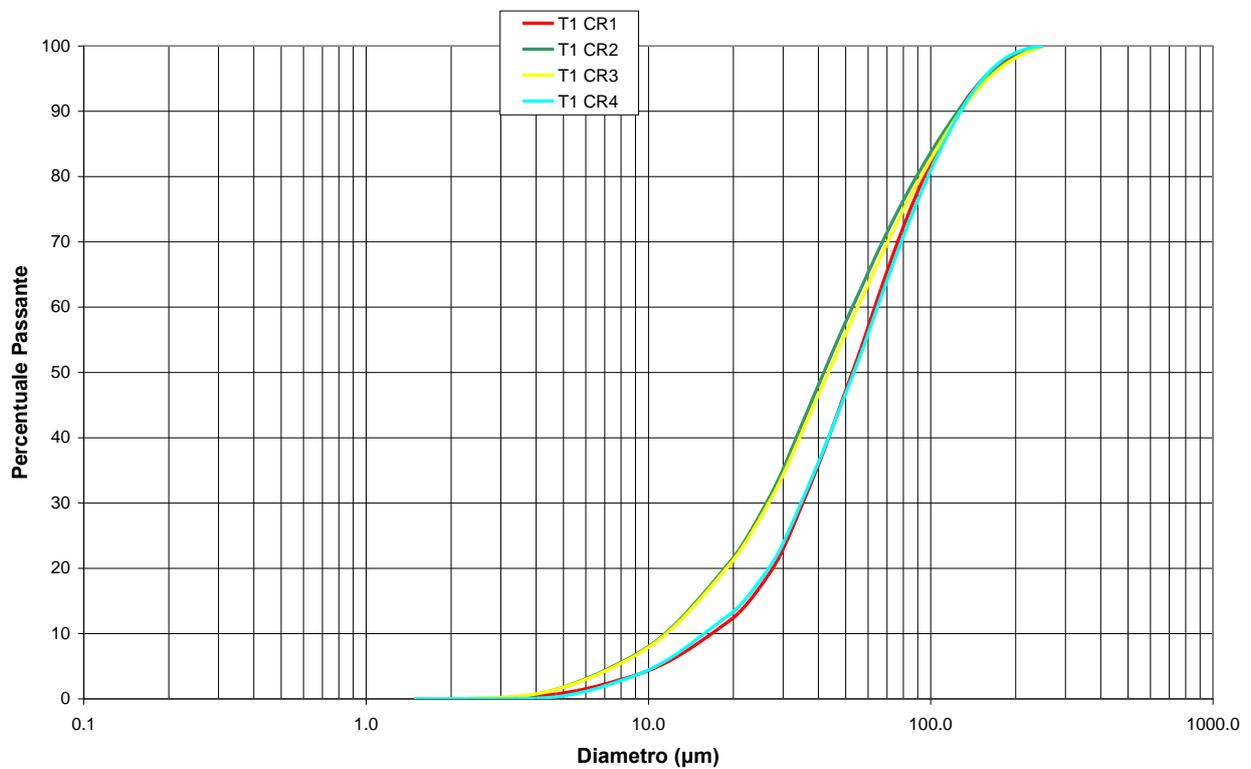


Figura 22. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T1 (E 2318106.7045, N 5035423.6415), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del crescente di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

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

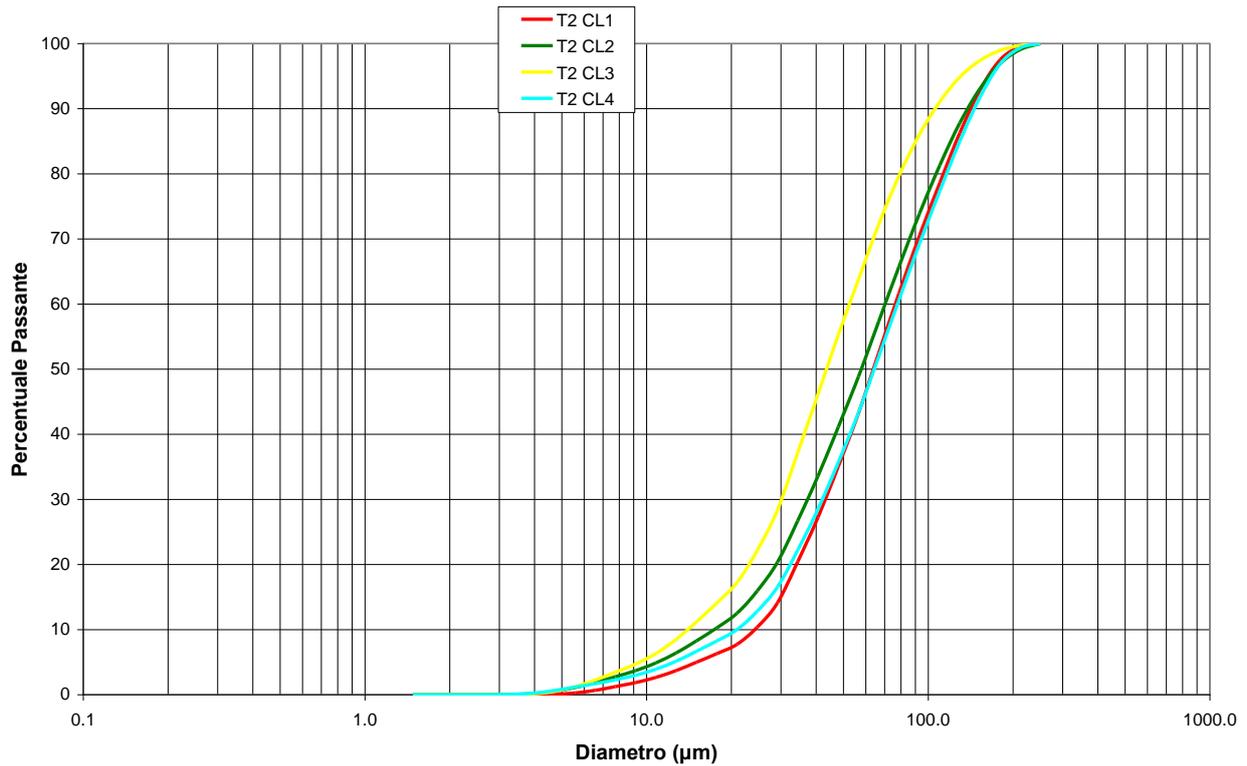


Figura 23. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T2 (E 2317979.2909, N 5034923.2734), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del calante di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

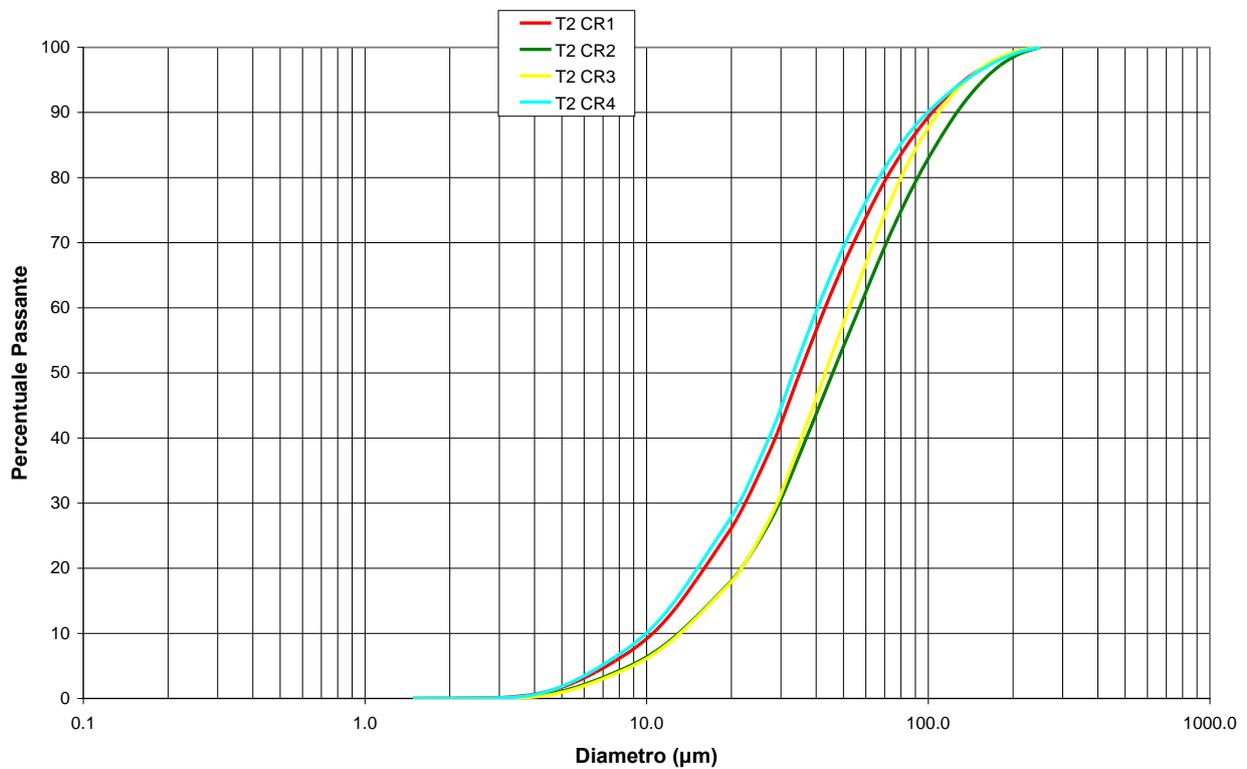


Figura 24. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T2 (E 2317979.2909, N 5034923.2734), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del crescente di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

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

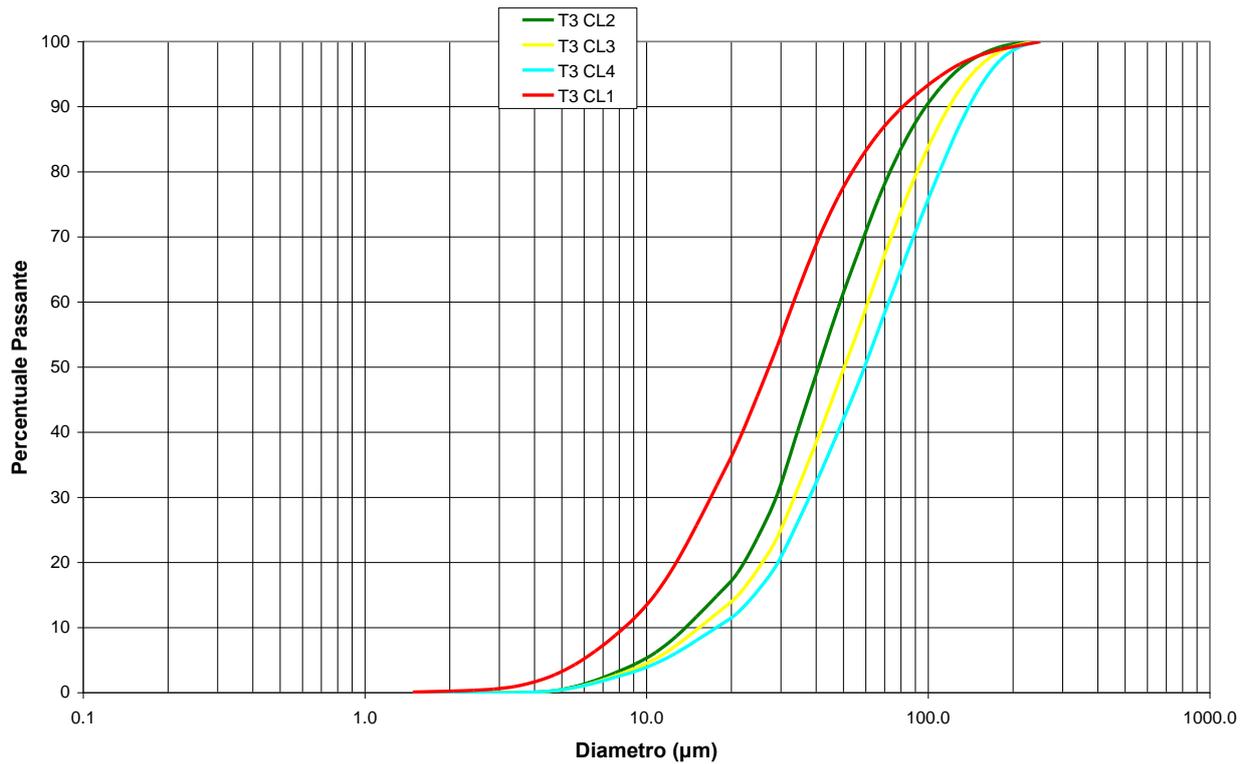


Figura 25. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T3 (E 2318063.6275, N 5034473.9952), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del calante di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

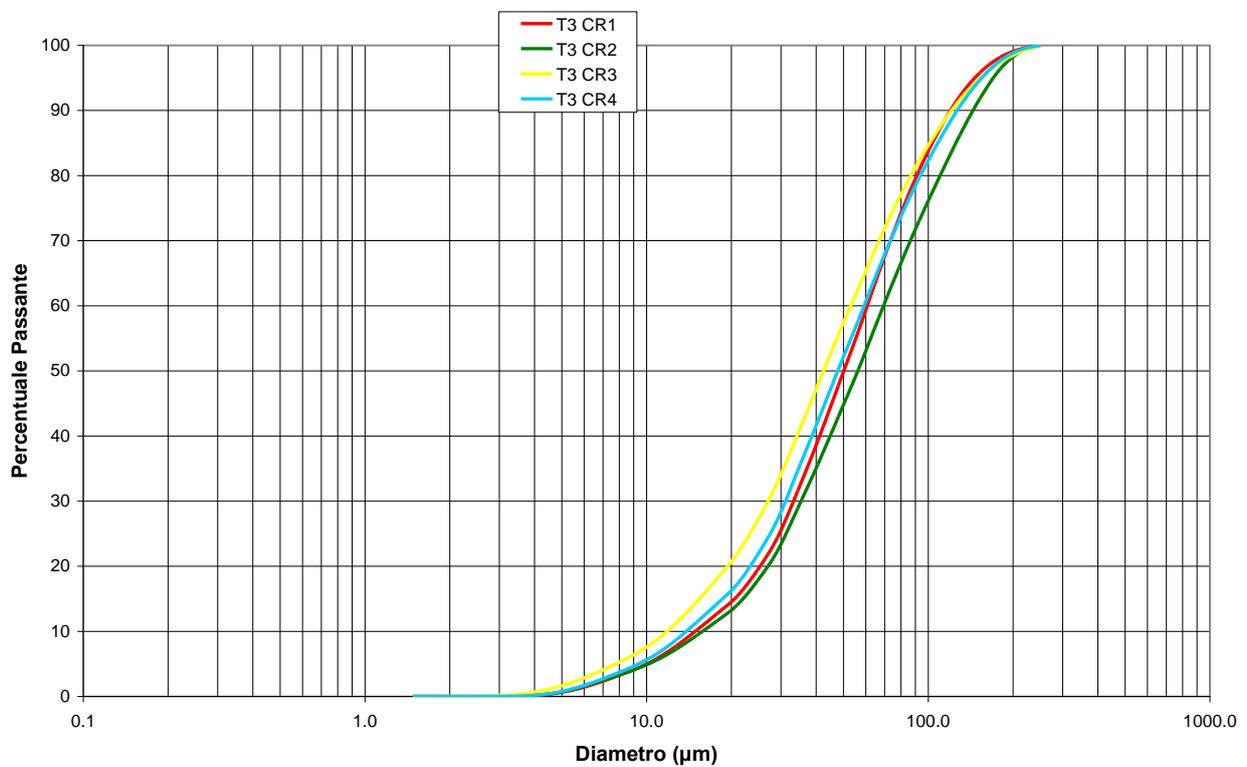


Figura 26. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T3 (E 2318063.6275, N 5034473.9952), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del crescente di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

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

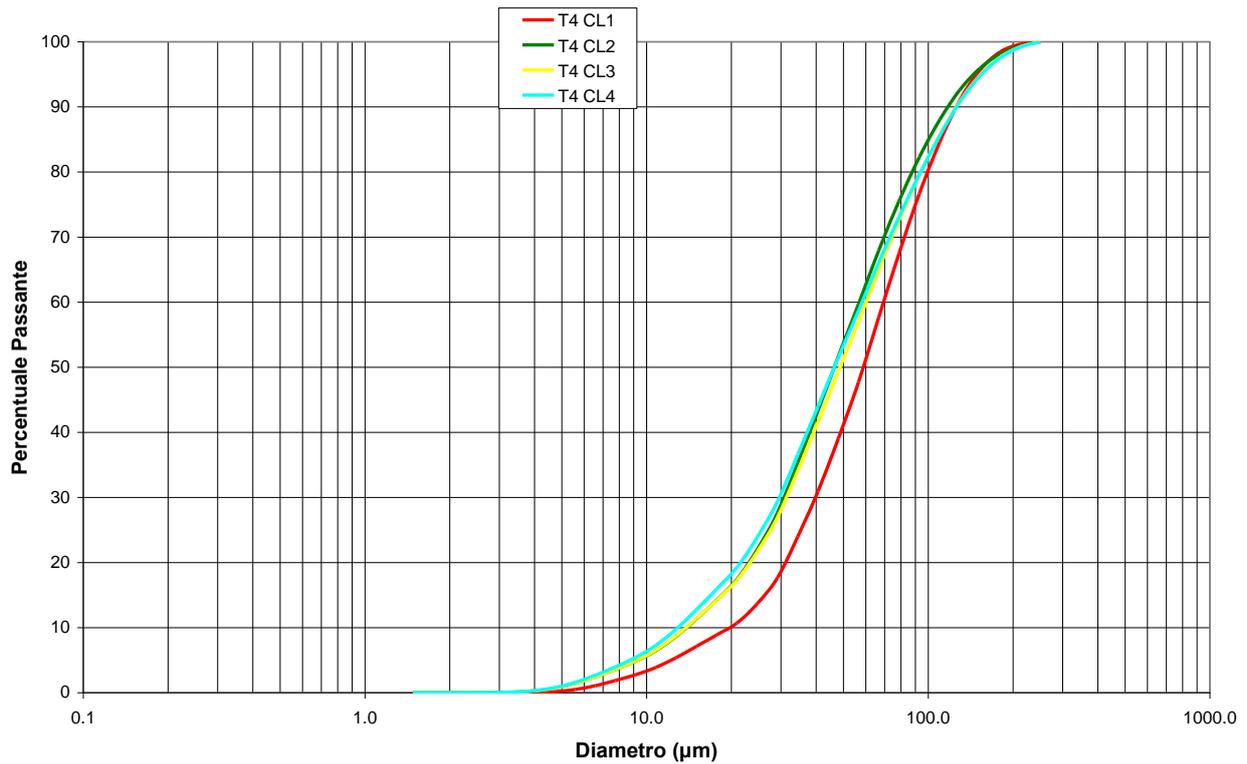


Figura 27. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T4 (E 2318283.3726, N 5034082.1210), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del calante di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

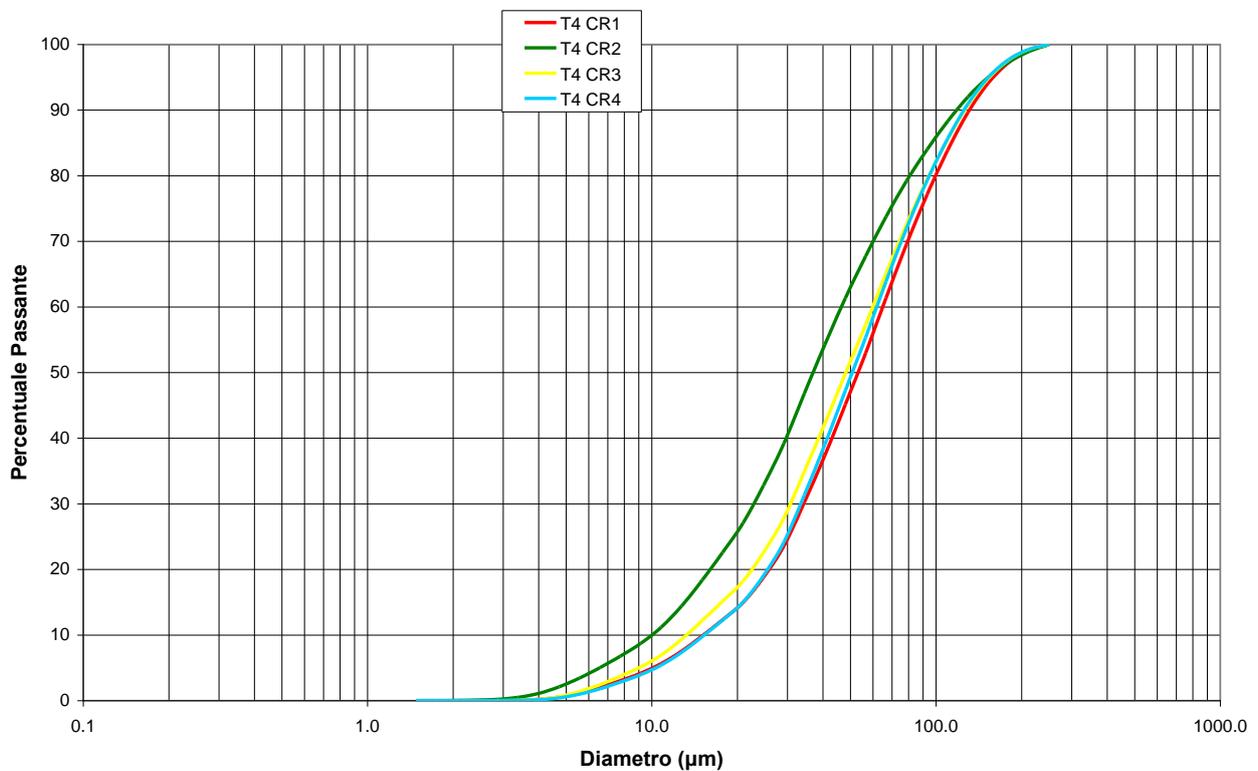


Figura 28. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto T4 (E 2318283.3726, N 5034082.1210), alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, nella fase del crescente di marea, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

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

Tabella 17. Percentuali in volume delle frazioni granulometriche [1922], classificazione secondo Shepard [1954] e D<sub>50</sub> dei sedimenti campionati alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, il giorno 4 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_6).

Stazioni	Profondità (m)	Scala Wentworth			Classificazione Shepard	D <sub>50</sub> ( $\mu$ m)
		Argilla %	Limo %	Sabbia %		
T1 CL1	-0.89	0.0	36.9	63.1	sabbia-limosa	77.6
T1 CL2	-1.49	0.0	40.2	59.8	sabbia-limosa	73.0
T1 CL3	-2.68	0.0	59.7	42.1	limo-sabbioso	52.8
T1 CL4	-4.07	0.0	48.9	51.1	sabbia-limosa	66.5
T1 CR1	-0.79	0.4	56.4	43.3	limo-sabbioso	53.9
T1 CR2	-1.49	0.7	64.4	34.9	limo-sabbioso	42.9
T1 CR3	-2.58	0.0	62.5	36.7	limo-sabbioso	44.5
T1 CR4	-3.97	0.0	55.8	44.2	limo-sabbioso	54.2
T2 CL1	-0.89	0.0	46.4	53.6	sabbia-limosa	65.0
T2 CL2	-1.49	0.0	51.7	48.3	limo-sabbioso	59.0
T2 CL3	-2.38	0.0	66.7	33.3	limo-sabbioso	46.4
T2 CL4	-3.78	0.0	45.4	54.6	sabbia-limosa	64.3
T2 CR1	-0.79	0.6	73.0	26.3	limo-sabbioso	37.2
T2 CR2	-1.69	0.0	62.2	37.8	limo-sabbioso	46.9
T2 CR3	-2.58	0.0	66.5	33.5	limo-sabbioso	46.0
T2 CR4	-3.88	0.6	75.4	24.0	limo	34.8
T3 CL1	-0.80	1.7	81.4	17.0	limo	27.6
T3 CL2	-1.50	0.0	70.6	29.5	limo-sabbioso	41.4
T3 CL3	-2.50	0.0	58.8	41.2	limo-sabbioso	51.4
T3 CL4	-4.00	0.0	50.4	49.6	limo-sabbioso	60.4
T3 CR1	-0.89	0.0	59.2	40.8	limo-sabbioso	50.5
T3 CR2	-1.49	0.0	52.9	47.1	limo-sabbioso	56.8
T3 CR3	-2.58	0.7	64.5	34.8	limo-sabbioso	43.5
T3 CR4	-3.97	0.0	60.5	39.5	limo-sabbioso	49.1
T4 CL1	-0.69	0.0	51.1	48.9	limo-sabbioso	59.6
T4 CL2	-1.59	0.0	62.5	37.5	limo-sabbioso	47.2
T4 CL3	-2.78	0.0	59.7	40.3	limo-sabbioso	48.8
T4 CL4	-4.17	0.0	61.2	38.8	limo-sabbioso	47.3
T4 CR1	-0.79	0.0	55.8	44.2	limo-sabbioso	54.2
T4 CR2	-1.59	1.1	68.7	30.2	limo-sabbioso	37.9
T4 CR3	-2.48	0.0	60.0	40.1	limo-sabbioso	49.4
T4 CR4	-3.87	0.0	58.3	41.7	limo-sabbioso	51.8

Nelle Tabelle 18 e 19 sono riportati i valori della frequenza cumulata relativi ai campioni raccolti nelle stazioni C1 (E 2307077.3099, N 5012501.5679), C2 (E 2307505.4574, N 5012343.1241), C3 (E 2307788.9308, N 5012305.4284) e C4 (E 2308330.0146, N 5012233.5756) alla bocca di Porto di Chioggia il giorno 7 Ottobre 2006. In queste stazioni, i campioni d'acqua sono stati prelevati durante la fase di recupero della sonda e sono stati poi analizzati in laboratorio con il LISST (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8). La profondità è stata quindi riportata con il segno positivo, a differenza delle misure effettuate alla bocca di Porto di Lido.

Le determinazioni della distribuzione granulometrica per la bocca di Porto di Chioggia hanno richiesto una particolare attenzione in quanto le concentrazioni del particolato solido sospeso

erano molto basse e sempre inferiori a 8 mg/l, tranne che per il punto di indagine C4 (Figura 35) nella fase di marea calante, ed erano presenti materiali con una elevata percentuale di sabbia. Durante la fase di acquisizione dei dati è stata quindi osservata una maggiore variabilità nell'andamento delle distribuzioni granulometriche.

Per ridurre l'errore si è proceduto con l'effettuare tre cicli di trenta misure, utilizzando un diverso subcampione per ogni ciclo; le distribuzioni granulometriche sono state ricavate mediando l'insieme dei dati provenienti dalle tre determinazioni. La procedura ha consentito di aumentare sensibilmente il rapporto segnale/rumore anche se l'attendibilità delle distribuzioni ottenute risulta inferiore a quella relativa ai campioni della bocca di Porto di Lido.

Nelle Figure 29-36 sono riportate le curve della distribuzione granulometrica dei campioni prelevati alla bocca di Porto di Chioggia, mentre la Tabella 20 raggruppa i risultati in base alle principali classi granulometriche della scala di Wentworth (argilla, limo e sabbia) e li classifica secondo Shepard [1954]. Inoltre, viene presentato il valore del  $D_{50}$  per ciascun campione.

I campioni C1 (Figura 29) raccolti nella fase del calante di marea sono prevalentemente costituiti da limo tranne per il campione C1 CL3, dove, nonostante l'abbondante presenza di limo (47.3%), la sabbia è predominante. Dal punto di vista classificativo, i primi appartengono alla classe dei limi-sabbiosi mentre il campione C1 CL3 si classifica come sabbia-limoso. Nella fase del crescente (Figura 30), i campioni sono classificati come limi e limi-sabbiosi. A differenza dei campioni raccolti nella fase del calante di marea, la frazione limosa aumenta ed è sempre presente una frazione argillosa, compresa tra l'1.4% e il 6%. In particolare, per i campioni classificati come limi, la sabbia si riduce fino ad valore pari all'8%. Si nota, anche l'aumento della variabilità del  $D_{50}$  che, se per i campioni C1 raccolti durante la fase del calante era compreso tra 43.4 e 63.0  $\mu\text{m}$ , per i campioni raccolti durante il crescente di marea varia da 17.7 a 50.0  $\mu\text{m}$  (Tabella 20).

Nel punto di indagine C2, i campioni, raccolti sia durante la fase del calante (Figura 31) che durante la fase del crescente (Figura 32), sono prevalentemente limi-sabbiosi, tranne il campione C2 CL4 che è classificato come limo. Questi campioni sono caratterizzati da elevate percentuali di limo, sempre maggiore del 65%; solo C2 CL2 (Figura 31) mostra una diminuzione apprezzabile di tale valore. La predominanza della frazione fine è evidenziata anche dai bassi valori del  $D_{50}$  (Tabella 20).

Per il punto di indagine C3 (Figure 33 e 34) i campioni sono classificati come sabbie-limose. In questo caso, rispetto ai campioni precedenti, aumenta la frazione più grossolana ed è assente la frazione argillosa. Solo il campione C3 CL4 viene classificato come limo-sabbioso. Le Figure 33 e 34 mostrano come le curve granulometriche tendano a sovrapporsi, trattandosi di campioni omogenei. I valori del  $D_{50}$  sono compresi tra 30 e 40  $\mu\text{m}$  (Tabella 20).

Nella stazione C4 (Figure 35 e 36) i campioni raccolti durante la fase di marea calante sono stati classificati come limi, tranne il campione C4 CL1 che è classificabile come sabbia-limoso. Per i limi la percentuale delle argille varia da un minimo di 0.9% fino ad un massimo di 4.9%; il valore del  $D_{50}$  è compreso tra 22.9 e 31.9  $\mu\text{m}$  (Tabella 20). Risulta evidente, osservando la Figura 35, la presenza di un campione più grossolano (C4 CL1) caratterizzato da un  $D_{50}$  pari a 62.17  $\mu\text{m}$  (Tabella 16). Tutti i campioni prelevati nella fase di marea crescente sono classificati come limi-sabbiosi, con la frazione limosa compresa tra il 67.1% ed il 72.7% (Tabella 16). Solo il campione C4 CR2 (Figura 36) ha percentuali sensibilmente diverse, con una diminuzione relativa della percentuale di limo. Il valore del  $D_{50}$  è compreso tra 40 e 44  $\mu\text{m}$  (Tabella 16).

## CORILA

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

Tabella 18. Frequenza cumulata per i campioni prelevati alla bocca di Porto di Chioggia, il giorno 7 Ottobre 2006, durante il calante di marea (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

Diametro particelle ( $\mu\text{m}$ )	Bocca di Porto di CHIOGGIA- Sizigie, fase calante (CL)																
	C1 CL1	C1 CL2	C1 CL3	C1 CL4	C2 CL1	C2 CL2	C2 CL3	C2 CL4	C2 CL5	C3 CL1	C3 CL4	C3 CL5	C4 CL1	C4 CL2	C4 CL3	C4 CL4	C4 CL5
250.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
212.50	99.19	99.65	99.84	99.82	99.87	99.74	99.50	99.65	99.91	99.96	99.39	99.74	99.40	99.41	98.75	99.44	99.36
180.00	96.69	98.21	99.03	99.30	99.40	98.70	98.40	98.90	99.61	99.76	97.74	98.98	97.46	98.52	97.51	98.60	98.67
152.50	91.98	94.19	95.99	97.78	97.89	95.66	96.01	97.36	98.70	98.63	93.73	97.13	92.85	97.02	96.04	97.22	97.73
129.50	86.04	87.78	89.87	94.79	94.77	90.36	92.25	94.97	96.69	95.05	87.23	93.98	85.78	94.86	94.22	95.14	96.40
110.00	79.42	79.90	80.87	90.14	89.66	83.29	87.46	91.82	93.18	89.13	79.50	89.64	77.41	92.12	91.99	92.24	94.56
93.10	72.80	72.23	71.44	84.61	83.20	76.04	82.47	88.33	88.40	83.63	72.40	84.70	69.26	89.08	89.63	88.73	92.35
78.70	66.07	64.87	62.18	78.48	75.75	68.89	77.45	84.56	82.44	78.55	65.78	79.11	61.35	85.78	87.23	84.69	89.82
66.70	59.33	57.88	53.37	71.75	67.57	61.73	72.25	80.33	75.29	73.34	59.26	72.77	53.53	82.01	84.56	79.97	86.78
56.55	52.30	50.54	44.18	63.96	58.42	53.91	66.52	75.28	66.61	67.02	52.36	65.50	45.63	77.53	81.42	74.48	83.04
47.95	45.41	43.36	35.76	55.71	49.50	46.11	60.44	69.47	57.43	60.03	45.64	58.00	38.48	72.33	77.59	68.38	78.45
40.60	38.08	35.74	27.79	46.47	40.29	37.84	53.51	62.25	47.27	51.59	38.57	49.66	31.52	65.96	72.77	61.36	72.64
34.40	30.90	28.26	21.02	37.18	31.76	29.97	46.10	53.97	37.38	42.22	31.70	41.18	25.29	58.65	66.91	53.75	65.67
29.15	23.64	20.59	14.70	27.59	23.26	21.91	37.83	44.22	27.24	30.58	24.61	31.98	19.13	50.27	60.33	45.61	57.88
24.70	18.70	15.81	11.38	21.25	18.07	16.99	31.46	36.49	20.80	23.59	19.91	25.58	15.23	42.91	53.44	38.58	50.22
20.95	14.82	12.24	9.10	16.38	14.16	13.30	25.84	29.55	15.90	18.26	16.20	20.31	12.23	36.01	46.28	32.07	42.60
17.75	12.39	10.21	7.90	13.49	11.90	11.22	21.91	24.72	13.08	15.55	13.87	16.98	10.40	30.54	39.46	26.81	35.80
15.05	10.13	8.29	6.70	10.82	9.67	9.23	18.01	19.96	10.44	12.93	11.58	13.72	8.63	25.19	32.65	21.65	29.12
12.75	7.95	6.37	5.38	8.26	7.34	7.21	14.09	15.21	7.83	10.17	9.18	10.40	6.78	19.92	26.13	16.65	22.80
10.80	6.13	4.76	4.16	6.16	5.33	5.49	10.74	11.28	5.70	7.85	7.05	7.61	5.17	15.43	20.67	12.48	17.58
9.15	4.73	3.55	3.19	4.60	3.81	4.20	8.19	8.38	4.16	6.17	5.37	5.55	3.91	11.93	16.44	9.32	13.61
7.75	3.61	2.60	2.39	3.40	2.65	3.18	6.20	6.20	3.01	4.87	4.02	4.00	2.92	9.18	13.07	6.92	10.52
6.57	2.47	1.62	1.49	2.21	1.53	2.08	4.31	4.18	1.89	3.34	2.67	2.54	1.92	6.70	10.15	4.86	7.87
5.57	1.42	0.79	0.68	1.18	0.69	1.10	2.65	2.47	0.96	1.86	1.50	1.35	1.07	4.55	7.62	3.16	5.62
4.72	0.58	0.22	0.16	0.42	0.18	0.36	1.25	1.10	0.32	0.57	0.58	0.49	0.42	2.72	5.64	1.83	3.84
4.00	0.16	0.02	0.00	0.09	0.03	0.06	0.43	0.35	0.06	0.05	0.14	0.12	0.11	1.39	4.10	0.92	2.48
3.39	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.09	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.62	2.91	0.41	1.52
2.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	2.17	0.16	0.93

## CORILA

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

Diametro particelle ( $\mu\text{m}$ )	Bocca di Porto di CHIOGGIA- Szigie, fase calante (CL)																
	C1 CL1	C1 CL2	C1 CL3	C1 CL4	C2 CL1	C2 CL2	C2 CL3	C2 CL4	C2 CL5	C3 CL1	C3 CL4	C3 CL5	C4 CL1	C4 CL2	C4 CL3	C4 CL4	C4 CL5
2.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.74	0.06	0.63
2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.38	0.03	0.43
1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.01	0.29
1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.15

## CORILA

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

Tabella 19. Frequenza cumulata per i campioni prelevati alla bocca di Porto di Chioggia, il giorno 7 Ottobre 2006, durante il crescente di marea (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

Diametro particelle ( $\mu\text{m}$ )	Bocca di Porto di CHIOGGIA- Sizigie, fase crescente (CR)																	
	C1 CR1	C1 CR2	C1 CR3	C1 CR4	C1 CR5	C2 CR1	C2 CR2	C2 CR3	C2 CR5	C3 CR2	C3 CR3	C3 CR4	C3 CR5	C4 CR1	C4 CR2	C4 CR3	C4 CR4	C4 CR5
250.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
212.50	96.88	96.11	99.63	100.00	99.60	99.02	99.40	99.99	98.98	99.18	99.93	99.80	99.34	99.79	97.02	99.87	99.98	99.68
180.00	92.98	90.34	98.85	100.00	98.99	97.41	98.11	99.81	96.85	97.49	99.82	99.35	97.55	99.26	93.53	99.51	99.86	98.98
152.50	88.59	83.73	97.47	99.95	97.97	95.02	95.76	99.05	93.19	94.55	99.13	98.26	95.19	97.94	88.45	98.42	99.34	97.29
129.50	83.87	77.48	95.58	99.80	96.50	92.22	92.55	97.19	88.63	90.74	96.53	96.29	92.52	95.48	81.47	96.04	97.95	94.28
110.00	78.68	71.70	93.16	99.38	94.50	89.11	88.71	93.54	83.72	86.35	91.87	93.34	88.54	91.67	74.53	91.96	95.09	90.12
93.10	73.30	66.43	90.39	98.38	92.05	85.89	84.66	88.33	79.18	81.98	87.62	89.77	84.09	86.92	69.83	86.67	90.95	85.72
78.70	67.86	61.68	87.21	96.70	89.14	82.53	80.46	81.64	74.89	77.57	83.97	85.60	79.39	81.40	66.49	80.38	85.56	81.06
66.70	62.32	57.31	83.50	94.12	85.62	78.79	75.98	73.45	70.54	72.87	80.18	80.65	74.18	75.06	63.46	72.94	78.64	75.58
56.55	56.65	53.17	78.99	90.91	81.25	74.35	70.92	63.07	65.68	67.49	75.45	74.56	67.70	67.66	60.02	64.04	69.60	68.35
47.95	51.08	49.03	73.62	87.33	75.95	69.07	65.31	52.23	60.23	61.49	69.69	67.61	60.60	59.78	55.92	54.77	59.76	59.81
40.60	45.31	44.58	66.72	83.24	69.27	62.36	58.63	40.57	53.61	54.29	62.04	59.23	51.90	50.87	50.48	44.74	48.78	49.45
34.40	39.62	39.77	58.61	78.67	61.40	54.43	51.22	30.30	46.19	46.42	53.28	50.19	42.93	41.82	44.05	35.36	38.38	39.05
29.15	33.98	34.66	48.82	72.98	52.32	44.96	42.53	19.71	37.35	37.48	41.81	39.87	31.44	32.11	35.54	25.81	27.16	27.75
24.70	29.26	29.88	40.91	66.03	44.33	36.89	35.53	14.31	30.45	30.68	34.22	32.31	25.23	25.35	29.50	19.98	20.63	21.04
20.95	25.01	25.35	33.92	58.20	36.88	29.51	29.17	10.61	24.39	24.86	27.93	25.88	20.35	19.84	24.32	15.62	15.83	16.14
17.75	21.49	21.47	29.18	50.52	31.14	24.14	24.66	8.91	20.36	21.01	24.38	21.73	17.66	16.40	21.14	13.19	13.35	13.57
15.05	18.11	17.73	24.75	43.20	25.58	19.15	20.21	7.27	16.56	17.41	20.82	17.72	14.93	13.13	17.98	10.94	11.04	11.20
12.75	14.82	14.24	20.42	35.14	20.21	14.53	15.73	5.50	12.87	13.90	16.85	13.69	11.78	9.89	14.50	8.66	8.62	8.79
10.80	11.97	11.23	16.75	27.78	15.67	10.85	11.95	3.98	9.85	10.96	13.42	10.31	8.97	7.23	11.42	6.75	6.59	6.78
9.15	9.65	8.75	13.86	20.89	12.10	8.17	9.08	2.87	7.60	8.67	10.87	7.79	6.86	5.27	9.08	5.30	5.11	5.32
7.75	7.70	6.75	11.48	15.80	9.26	6.20	6.89	2.01	5.88	6.84	8.90	5.87	5.21	3.79	7.26	4.14	3.97	4.20
6.57	5.90	5.02	9.02	12.13	6.67	4.47	4.84	1.11	4.22	5.02	6.71	4.03	3.45	2.39	5.43	2.89	2.75	3.05
5.57	4.32	3.53	6.51	9.55	4.41	3.03	3.06	0.45	2.74	3.32	4.52	2.45	2.04	1.26	3.81	1.70	1.65	2.00
4.72	3.10	2.31	3.85	7.60	2.49	1.82	1.52	0.09	1.37	1.74	2.07	1.12	0.99	0.46	2.17	0.67	0.64	0.95
4.00	2.25	1.40	1.72	6.04	1.17	0.95	0.56	0.00	0.49	0.69	0.55	0.37	0.35	0.11	1.00	0.16	0.13	0.28
3.39	1.67	0.79	0.62	4.73	0.46	0.43	0.17	0.00	0.13	0.22	0.10	0.10	0.09	0.02	0.42	0.02	0.00	0.06
2.87	1.26	0.44	0.11	3.55	0.13	0.13	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00

## CORILA

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

Diametro particelle ( $\mu\text{m}$ )	Bocca di Porto di CHIOGGIA- Sizigie, fase crescente (CR)																		
	C1 CR1	C1 CR2	C1 CR3	C1 CR4	C1 CR5	C2 CR1	C2 CR2	C2 CR3	C2 CR5	C3 CR2	C3 CR3	C3 CR4	C3 CR5	C4 CR1	C4 CR2	C4 CR3	C4 CR4	C4 CR5	
2.43	0.94	0.27	0.00	2.50	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.06	0.69	0.17	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	0.49	0.11	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.48	0.28	0.05	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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

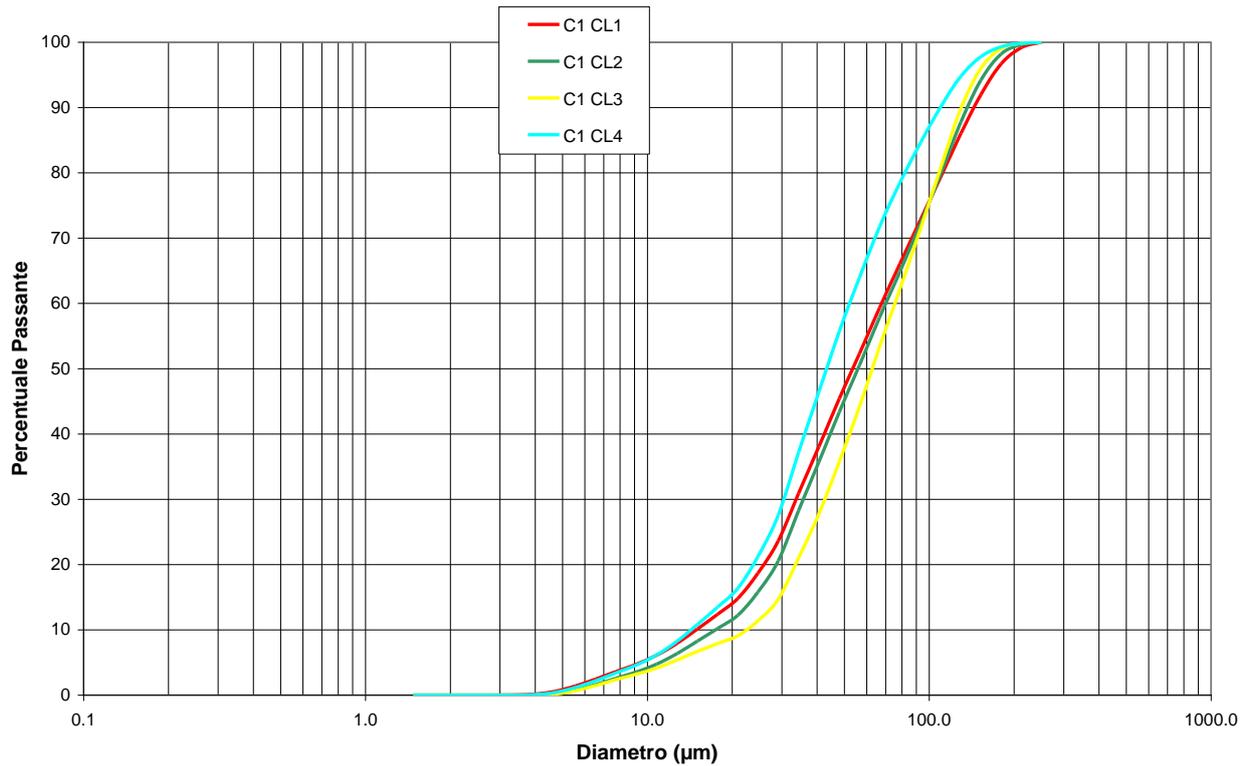


Figura 29. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C1 (E 2307077.3099, N 5012501.5679), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del calante di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

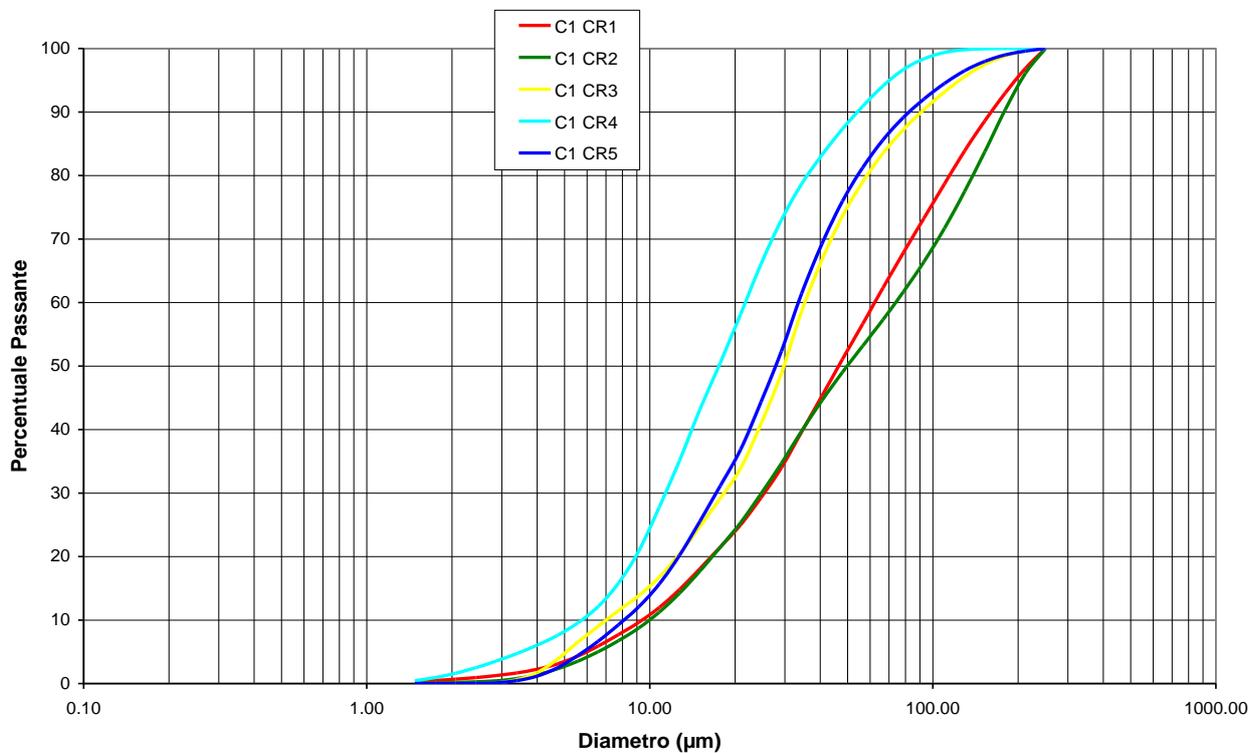


Figura 30. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C1 (E 2307077.3099, N 5012501.5679), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del crescente di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

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

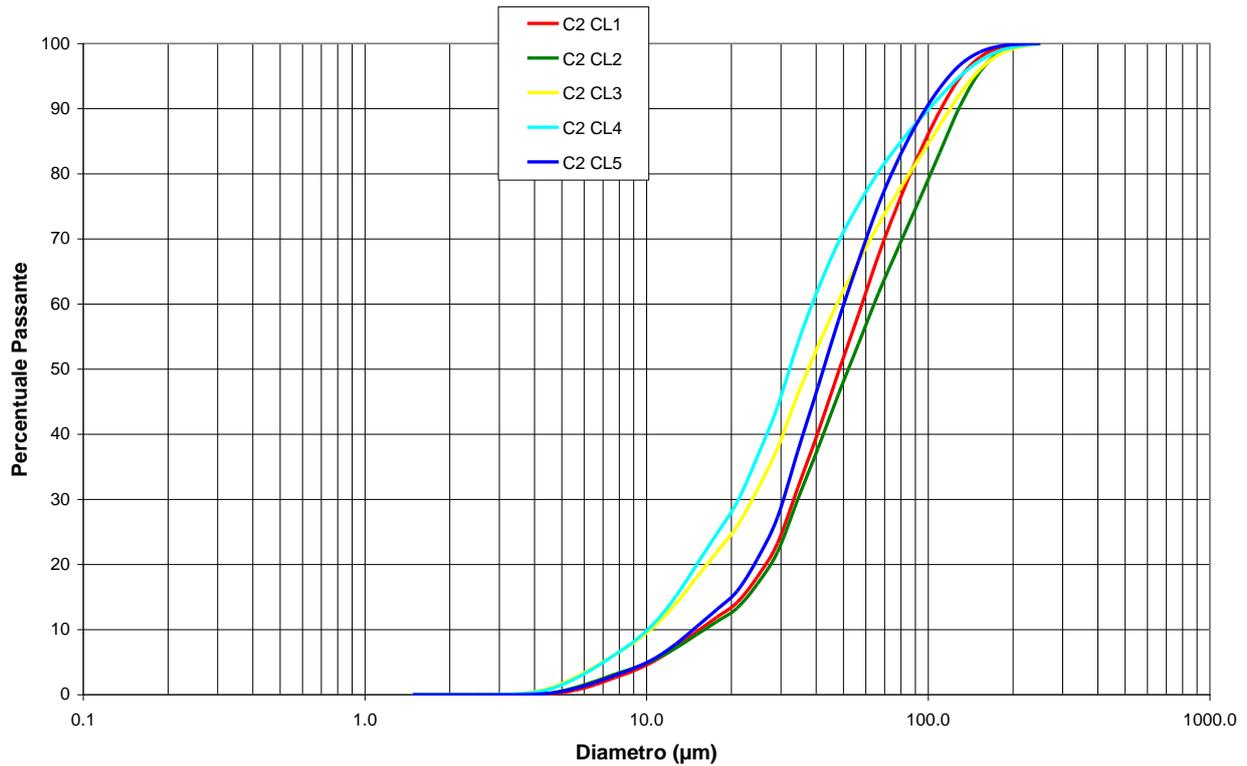


Figura 31. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C2 (E 2307505.4574, N 5012343.1241), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del calante di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

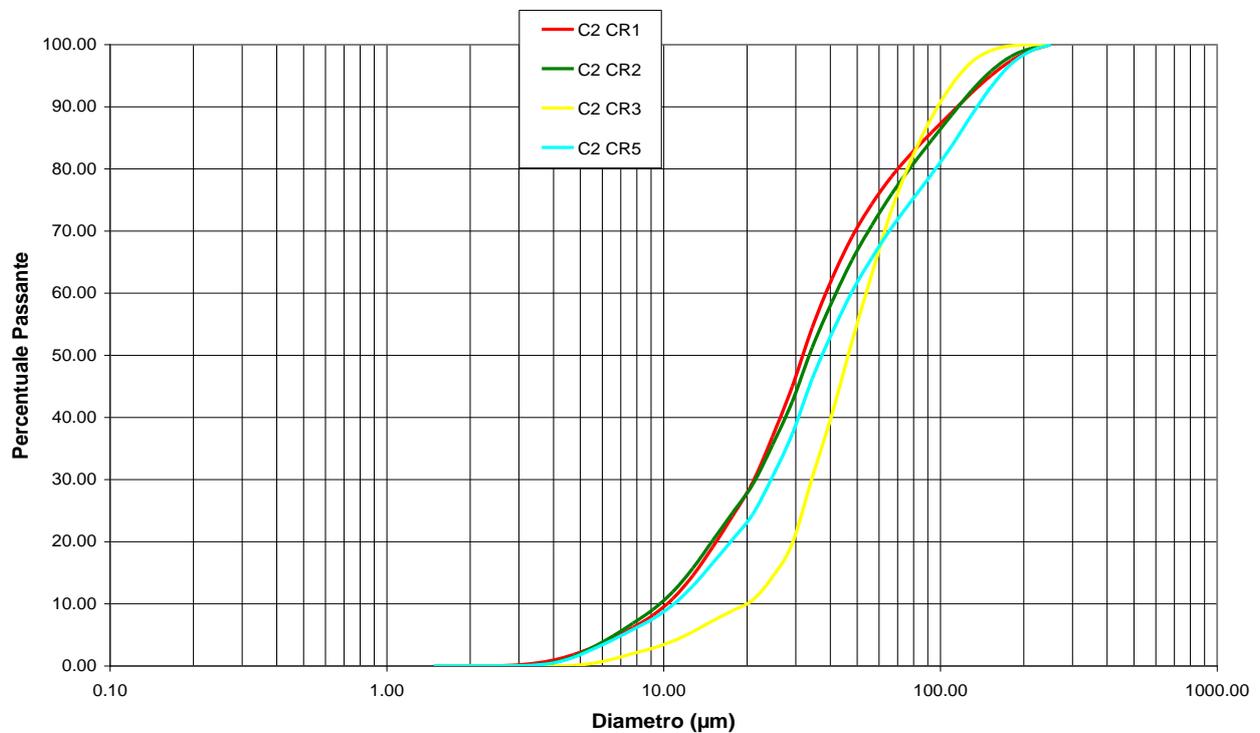


Figura 32. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C2 (E 2307505.4574, N 5012343.1241), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del crescente di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

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

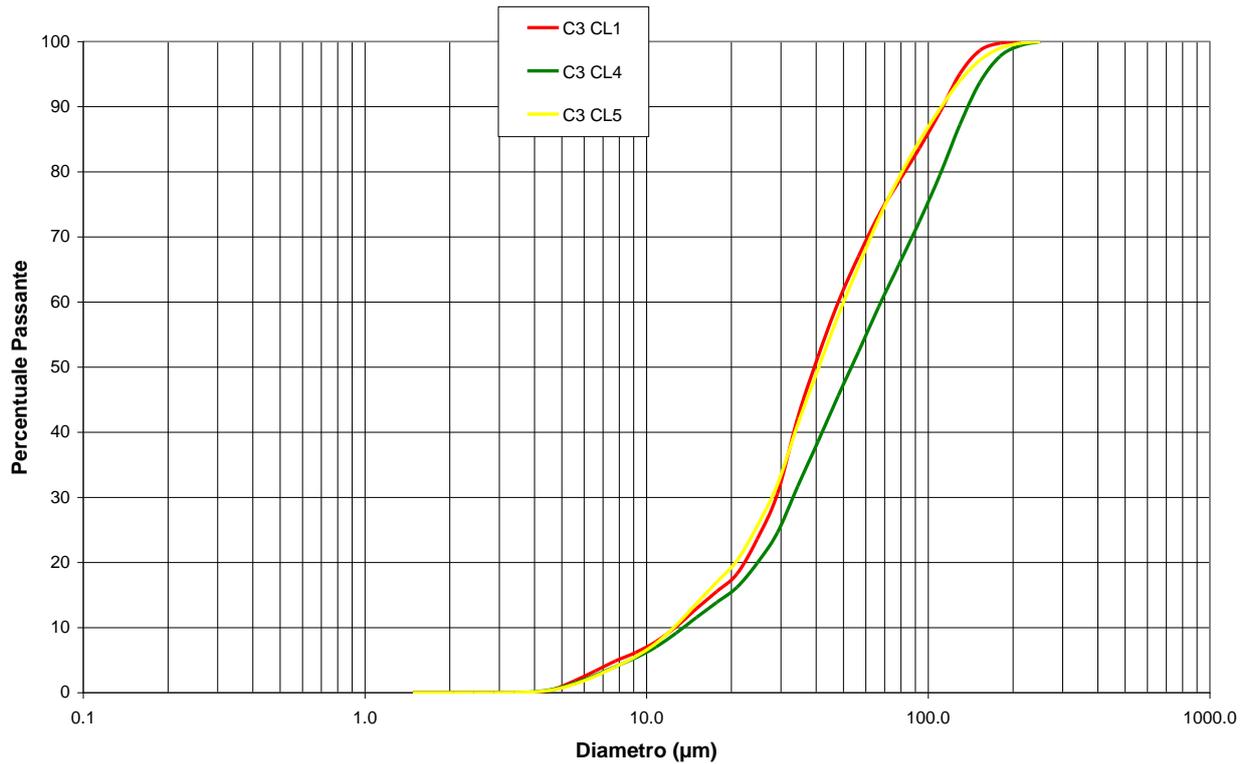


Figura 33. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C3 (E 2307788.9308, N 5012305.4284), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del calante di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

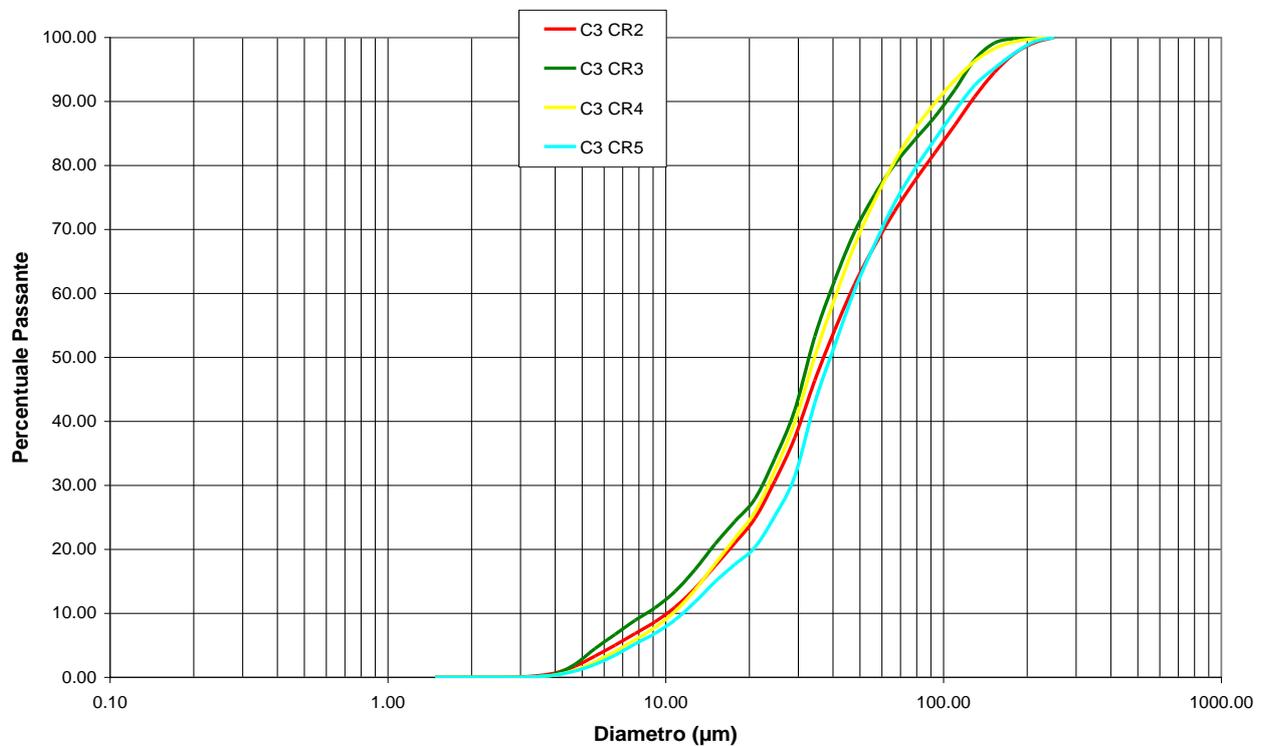


Figura 34. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C3 (E 2307788.9308, N 5012305.4284), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del crescente di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

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

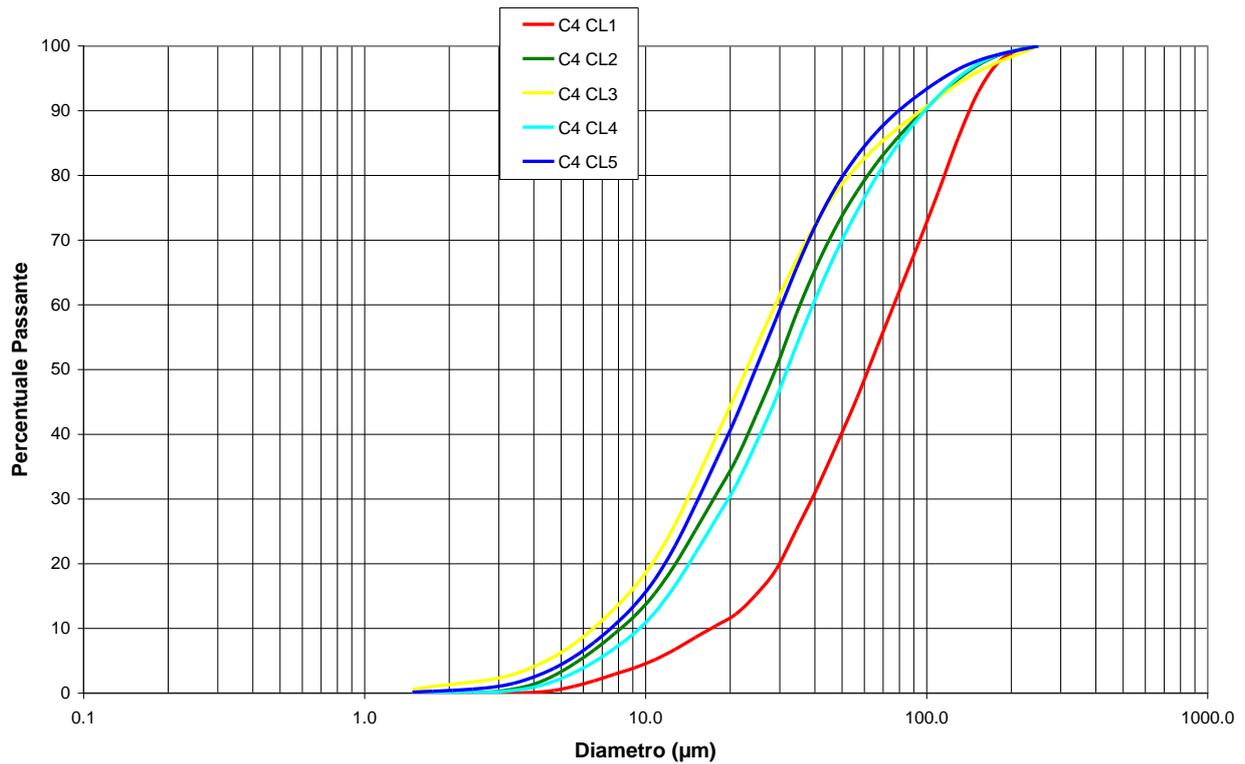


Figura 35. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C4 (E 2308330.0146, N 5012233.5756), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del calante di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

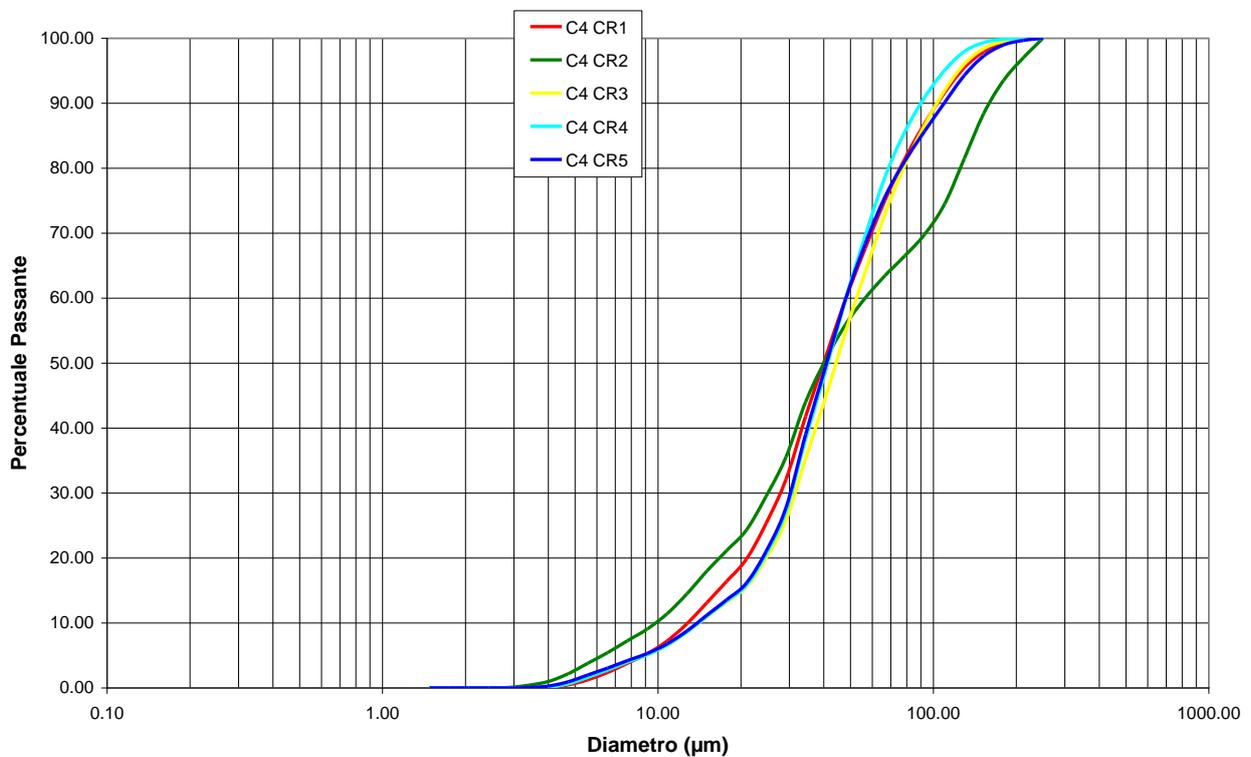


Figura 36. Distribuzione granulometrica dei campioni prelevati nel punto C4 (E 2308330.0146, N 5012233.5756), alla bocca di Porto di Chioggia, nella fase del crescente di marea, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

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

Tabella 20. Percentuali in volume delle frazioni granulometriche [1922], classificazione secondo Shepard [1954] e  $D_{50}$  dei sedimenti campionati alla bocca di Porto di Chioggia, il giorno 7 Ottobre 2006 (sessione di utilizzo in laboratorio LISST\_8).

Punti Indagine	Profondità (m)	Scala Wentworth			Classificazione Shepard	$D_{50}$ ( $\mu$ m)
		Argilla %	Limo %	Sabbia %		
C1 CL1	4.76	0.0	54.7	45.3	limo-sabbioso	53.7
C1 CL2	4.07	0.0	53.0	47.0	limo-sabbioso	56.3
C1 CL3	3.08	0.0	47.3	52.7	sabbia-limosa	63.0
C1 CL4	1.59	0.0	66.6	33.4	limo-sabbioso	43.4
C1 CR1	5.26	2.3	56.3	41.4	limo-sabbioso	46.9
C1 CR2	4.76	1.4	53.2	45.4	limo-sabbioso	50.0
C1 CR3	4.07	1.7	78.8	19.5	limo	29.8
C1 CR4	2.88	6.0	86.0	8.0	limo	17.7
C1 CR5	1.49	1.2	81.6	17.3	limo	27.9
C2 CL1	12.01	0.0	61.5	38.5	limo-sabbioso	48.89
C2 CL2	11.61	0.0	56.6	43.4	limo-sabbioso	52.24
C2 CL3	11.21	0.0	68.5	31.5	limo-sabbioso	37.67
C2 CL4	9.23	0.0	77.0	23.0	limo	32.26
C2 CL5	6.35	0.0	69.6	30.4	limo-sabbioso	42.57
C2 CR1	12.50	1.0	74.9	24.1	limo-sabbioso	31.94
C2 CR2	12.11	0.6	72.1	27.4	limo-sabbioso	33.66
C2 CR3	11.61	0.0	66.6	33.4	limo-sabbioso	46.55
C2 CR5	6.85	0.5	66.8	32.7	limo-sabbioso	37.58
C3 CL1	8.93	0.0	40.0	60.0	sabbia-limosa	40.01
C3 CL4	6.15	0.0	53.5	46.5	limo-sabbioso	53.52
C3 CL5	3.08	0.0	41.3	58.7	sabbia-limosa	41.29
C3 CR2	8.43	0.7	36.5	62.8	sabbia-limosa	37.22
C3 CR3	8.04	0.6	32.3	67.1	sabbia-limosa	32.90
C3 CR4	6.06	0.0	34.9	65.1	sabbia-limosa	34.86
C3 CR5	2.88	0.0	39.6	60.4	sabbia-limosa	39.60
C4 CL1	9.13	0.0	48.3	51.7	sabbia-limosa	62.17
C4 CL2	8.63	1.4	77.7	20.9	limo	29.04
C4 CL3	8.24	4.1	78.4	17.5	limo	22.90
C4 CL4	6.25	0.9	75.4	23.7	limo	31.98
C4 CL5	3.08	2.5	81.8	15.7	limo	24.81
C4 CR1	9.13	0.0	70.2	29.8	limo-sabbioso	40.36
C4 CR2	8.63	1.0	60.2	38.8	limo-sabbioso	40.81
C4 CR3	8.14	0.0	67.1	32.9	limo-sabbioso	44.45
C4 CR4	6.15	0.0	72.7	27.3	limo-sabbioso	41.42
C4 CR5	2.98	0.0	70.8	29.2	limo-sabbioso	41.35

## 6. RISULTATI OTTENUTI

I risultati dell'utilizzo del LISST qui presentati consentono di fare alcune considerazioni sull'applicabilità di questa metodologia nell'ambiente delle bocche di porto lagunari.

I test condotti per verificare l'accuratezza e la precisione del metodo proposto dimostrano che il LISST è in grado di discriminare in modo soddisfacente l'intervallo delle classi granulometriche solitamente incontrate alle bocche di porto, che vanno dal limo (2-60  $\mu\text{m}$ ) alle sabbie fini (60-250  $\mu\text{m}$ ). I diagrammi triangolari di Shepard qui riportati, con i valori rilevati in tutte le campagne di misura, per i campioni raccolti a Lido (Figura 37a) ed a Chioggia (Figura 38) consentono di evidenziare il *range* di granulometrie, che caratterizza il particolato solido in sospensione lungo la colonna d'acqua alle bocche lagunari, e di rapportarlo al *range* di diametri delle particelle che lo strumento è in grado di risolvere. Per i campioni raccolti presso la bocca di Porto di Lido (Figura 37a), non sono stati riportati i dati relativi alla campagna LISST\_1, in quanto sono risultati poco attendibili.

Osservando le Figure 37a e 38 si nota come i dati, raccolti in periodi diversi e con condizioni idrodinamiche differenti, sono caratterizzati da percentuali di argilla relativamente basse, mai superiori al 20%. La frazione prevalente dei sedimenti analizzati, in termini quantitativi, è costituita dalle componenti sabbioso-limose con prevalenza di quella limosa presente in percentuali che, solo in pochi casi, sono inferiori al 20%.

Secondo la classificazione proposta da Shepard, i sedimenti possono essere principalmente classificati come limi-sabbiosi e sabbie-limose, con rilevanti quantità di limo e modeste di sabbia.

Nel caso dei campioni raccolti alla bocca di Lido (Figura 37b) è possibile individuare un insieme di punti, appartenenti a due campagne in particolare (LISST\_12, 21 Marzo 2007, e LISST\_13, 4 Aprile 2007), che si discostano dall'andamento generale caratterizzato dalla prevalenza di sabbie-limose e limi-sabbiosi. Queste due campagne, eseguite il 21 Marzo 2007 ed il 4 Aprile 2007 - in corrispondenza della sezione lungo cui è collocato l'ADCP fisso al fondo del canale di bocca - sono state effettuate in condizioni di moto ondoso dovuto a vento dal quadrante di NE, anche se non particolarmente sostenuto. Le condizioni di misura sono quasi esclusivamente in marea entrante e con velocità della corrente piuttosto elevate (mediamente superiori a 0.8 m/s con picchi maggiori di 1.2 m/s) soprattutto nel caso della campagna LISST\_12. I campioni più grossolani relativi a queste due campagne sono stati raccolti nel punto 83, cioè in corrispondenza della diga nord del Lido, mentre la nuvola di punti maggiormente dispersi è associata ai campioni prelevati al di sopra dell'ADCP fisso, dove la profondità totale più elevata determina un diverso andamento della granulometria in corrispondenza delle tre quote di campionamento (superficie, metà colonna e fondo). I campioni prelevati durante queste due campagne si differenziano dal rimanente della popolazione investigata per la presenza di una minima quantità di materiale argilloso.

Nel caso della campagna di Settembre 2006 (LISST\_3, LISST\_4 e LISST\_5) per la misura del trasporto al fondo in corrispondenza della diga nord del canale di bocca, i campioni possono essere classificati come sabbie e sabbie-limose (Figura 38a). Questa classificazione è coerente, in quanto i campioni sono stati prelevati a circa 45 cm dal fondo, dove ci si aspetta di trovare materiali caratterizzati da frazioni granulometriche più grossolane.

Il diagramma triangolare relativo alla bocca di porto di Chioggia (Figura 38) evidenzia una distribuzione più dispersa in corrispondenza dei dati raccolti in continuo per 48 ore al fondo della stazione torbidimetrica Chioggia Porto (CHP) nel corso della campagna LISST\_14 del 17-19 Aprile 2007. La variabilità dei risultati di questa serie di misure è probabilmente associata a variazioni periodiche nelle caratteristiche dello spettro dimensionale delle particelle indotte dalle condizioni mareali.

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

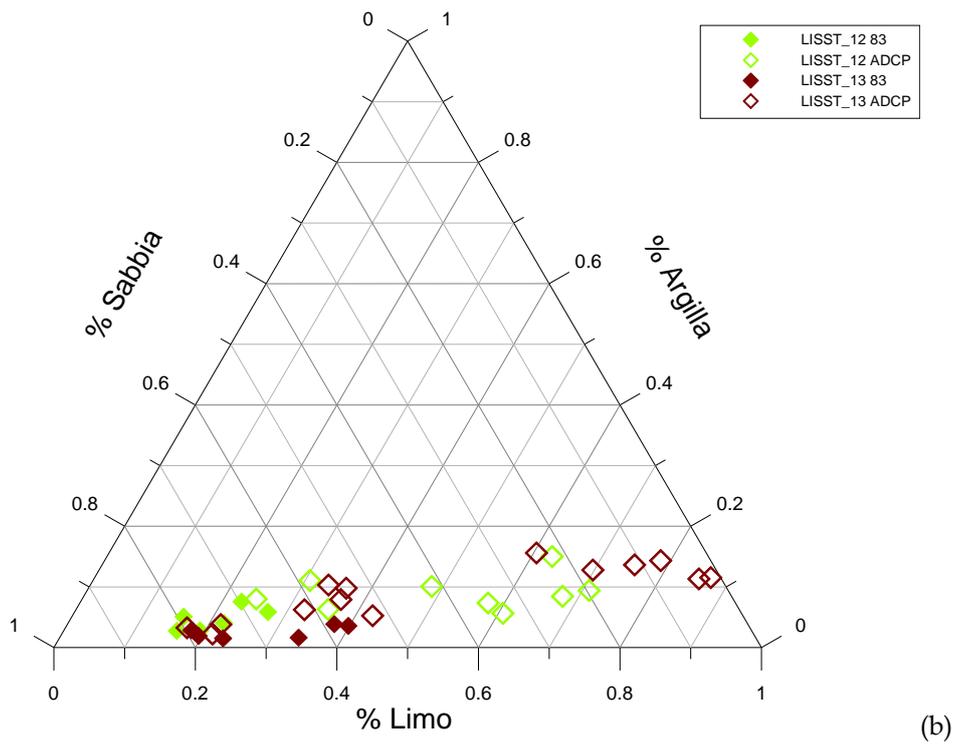
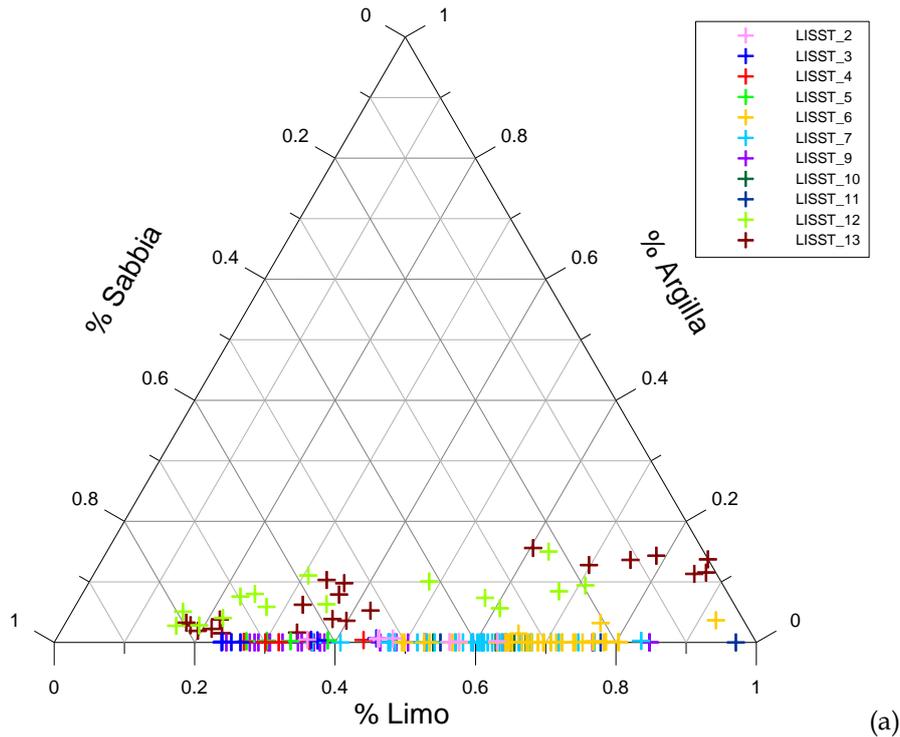


Figura 37. Diagramma triangolare di Shepard relativo alla bocca di Porto di Lido: (a) tutte le campagne LISST e (b) campagne LISST\_12 (21 Marzo 2007) e LISST\_13 (4 Aprile 2007).

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

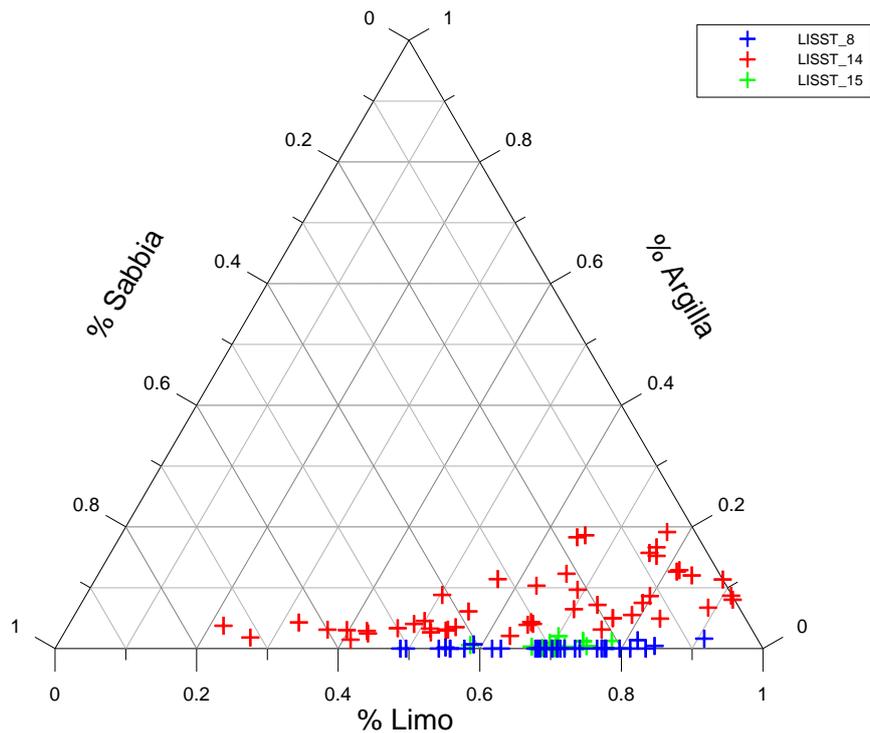


Figura 38. Diagramma triangolare di Shepard relativo alle campagne LISST alla bocca di Porto di Chioggia.

Nel caso dei campioni relativi all'utilizzo in laboratorio LISST\_8 (23 Novembre 2006) ed alla campagna LISST\_15 (19 Aprile 2007), i dati granulometrici si collocano principalmente nelle aree dei limi e dei limi-sabbiosi, con una variabilità dovuta principalmente alla diversa quota di campionamento.

Sulla base dei risultati dei diagrammi triangolari qui discussi è possibile, dunque, affermare che il LISST discrimina bene le classi granulometriche che tipicamente si trovano nel materiale presente in sospensione alle bocche di porto in condizioni normali. Nel caso di condizioni estreme quali forti eventi meteo-marini è possibile che si verifichi la risospensione di sabbie medio-grosse che risulterebbero quindi al di fuori del *range* di misura dell'ottica montata nella versione del LISST a disposizione.

È importante sottolineare che l'intervallo di concentrazioni ottimale per l'operatività del LISST varia da 5 a 50  $\mu\text{l/l}$  (equivalente a 10-100  $\text{mg/l}$ ), laddove la strumentazione comunemente usata in laboratorio per le analisi granulometriche incontra le maggiori difficoltà legate al limite inferiore di rilevabilità in condizioni di basse concentrazioni. Questo aspetto rende la metodologia LISST particolarmente adatta ad essere applicata in ambienti, come le bocche di porto, in cui le concentrazioni del particolato solido in sospensione più frequentemente incontrate sono mediamente basse (media: 9-10  $\text{mg/l}$ , II quartile: 5-7  $\text{mg/l}$  [Rapporto di valutazione stazioni fisse per il rilievo della torbidità in continuo, maggio 2006, Studio B.6.72 B/1]).

## 7. BIBLIOGRAFIA

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

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

Documenti relativi a Studio B.6.72 B/1 e B/2:

Campagna intensiva validazione modello-ottobre2006, dicembre 2006, Studio B.6.72 B/1

Rapporto di valutazione stazioni fisse per il rilievo della torbidità in continuo, maggio 2006, Studio B.6.72 B/1

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-24 maggio 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-19 luglio 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-19 settembre 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-20 settembre 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-21 settembre 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido, canale Treporti-4 ottobre 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido, canale San Nicolò-4 ottobre 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Chioggia-7 ottobre 2006, 15 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-23 gennaio 2007, 26 gennaio 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-26 febbraio 2006, 2 marzo 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-27 febbraio 2006, 2 marzo 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-21 marzo 2007, 26 marzo 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Lido-4 aprile 2007, 11 aprile 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Chioggia-19 aprile 2007, 23 aprile 2007, Studio B.6.72 B/2

Macroattività: misure granulometriche del particolato sospeso eseguite in situ nella colonna d'acqua-Nota di campagna: bocca di Chioggia-17-19 aprile 2007, 23 aprile 2007, Studio B.6.72 B/2