

Corso di Dottorato di ricerca  
in Scienze Ambientali

ciclo 31°

Tesi di Ricerca  
in cotutela con CNR-ISMAR Venezia

**Impatti del traffico navale ed effetti della  
risospensione indotta nelle aree spondali e sulle  
piane di marea della Laguna di Venezia**

SSD: GEO/02

**Coordinatore del Dottorato**

ch. prof. Bruno Pavoni

**Supervisore**

ch. prof. Emanuela Molinaroli

**Supervisore cotutela**

ch. prof. Luca Zaggia

**Dottorando**

Gian Marco Scarpa

Matricola 829071

## Sommario

1	Introduzione.....	4
2	Stato dell'Arte.....	9
3	Area di Studio .....	13
3.1	La Laguna di Venezia .....	13
3.2	Il bacino Centrale della Laguna.....	15
3.2.1	La piana sub-tidale (area a bassofondo) .....	17
3.2.2	Il canale Malamocco-Marghera.....	17
3.2.3	Casse di colmata .....	18
4	Attività sperimentali.....	20
4.1	Campagne di indagine idrodinamica.....	21
4.1.1	Descrizione strumentazione utilizzata.....	21
4.1.2	Campagna di monitoraggio navi da crociera luglio 2015 .....	29
4.1.3	Acquisizioni in continuo delle ampiezze d'onda sul margine canale.....	33
4.1.4	Campagne di misura per la determinazione della propagazione dell'onda sul bassofondo 34	
4.1.5	Campagna di misura Carnival Horizon.....	35
4.2	Campagna di indagine dei sedimenti.....	37
4.3	Indagini morfologiche.....	39
4.3.1	Descrizione strumentazione utilizzata.....	39
4.3.2	Determinazione quote batimetriche su basso fondo luglio 2017 .....	41
4.3.3	Determinazione morfologica subacquea con ADCP dei canali di navigazione .....	41
4.3.4	Indagine morfologica dell'arretramento della cassa di colmata B.....	42
4.3.5	Indagine fotogrammetrica su Cassa di colmata A .....	43
5	Metodologie di analisi.....	43
5.1	Trattamento campioni per indagini granulometriche .....	43
5.2	Determinazioni granulometriche .....	44
5.3	Tomografia assiale su carote di sedimento (TAC).....	46
5.4	Apertura delle carote.....	48
5.5	Datazione carota stazione 2 Fusina .....	49
5.6	Filtrazioni del particellato risospeso su colonna d'acqua.....	50
6	Analisi e trattamento dati.....	51
6.1	Variazioni di pressione e caratterizzazione delle onde di depressione .....	51
6.2	Velocità e direzione del flusso: analisi ed elaborazioni dati acquisiti dai correntometri .....	53

6.3	Analisi e trattamento dati ADCP .....	55
6.4	Calibrazione torbidimetri ed elaborazioni torbidità.....	55
6.5	Dati granulometrici e creazione report da Mastersizer .....	57
6.6	Elaborazione dati tomografici .....	57
6.7	Trattamento dati batimetrici.....	60
6.8	Determinazione del Coefficiente di Blocco, numero di Froude e stima del parametro Vi .....	61
6.9	Elaborazione GIS e processo fotogrammetrico per lo studio morfologico .....	63
7	Risultati .....	64
7.1	I numeri del traffico navale .....	64
7.2	Le onde di depressione e la loro propagazione.....	66
7.3	Gli effetti delle perturbazioni su intensità e direzione del flusso.....	69
7.4	Gli effetti del traffico sulla torbidità .....	73
7.5	Tipologia di sedimento al fondo e risospeso .....	74
7.6	Variazioni morfologiche delle aree sommerse.....	80
7.7	Variazioni morfologiche delle aree emerse confinanti con il canale .....	83
7.7.1	La cassa di colmata B .....	83
7.7.2	La cassa di colmata A.....	87
8	Discussione .....	89
9	Conclusioni .....	106
10	Bibliografia.....	108
11	Allegati .....	115
11.1	Allegato 1.....	115
11.2	Allegato 2.....	136
11.3	Allegato 3.....	141

# 1 Introduzione

Le alterazioni morfologiche dovute ad eventi di tempesta, l'erosione costiera e l'innalzamento del livello marino, sono stati oggetto di studio negli ultimi vent'anni da parte della comunità scientifica, e recentemente hanno richiamato anche l'attenzione dei media, complice l'intensità e la frequenza di questi fenomeni (Zhang et al., 2004, Cazenave et al., 2014, Masselink et al., 2013).

L'erosione delle coste è un processo naturale che ha forti ripercussioni in svariati settori: dalla perdita economica dovuta alla distruzione di proprietà, ai danni al turismo, fino agli impatti ecologici dovuti alla scomparsa di habitat sensibili (Bosello et al., 2014, Hanson et al., 2011., Handmer et al. 2012). Sempre più spesso questi processi erosivi risultano però accelerati o amplificati da azioni umane, come ad esempio, subsidenza indotta dall'estrazione di acque sotterranee (Trincardi et al., 2016), errori nella costruzione di strutture per la protezione costiera (National Institute for Coastal and Marine Management of the Netherlands et al., 2004) o alterazione e riduzione dell'apporto di sedimenti dai fiumi (Walling, 2006).

Solo recentemente si sono cominciate ad indagare le relazioni tra il traffico navale e le alterazioni morfologiche conseguenti alla navigazione in ambienti confinati che in alcuni casi vengono interamente dominati dalle onde generate dalle navi (Kelpšaitė et al., 2009).

Lo sviluppo di nuove economie a scala globale, la nascita di nuovi mercati e l'instaurarsi di nuove tratte commerciali, sono alcune delle cause della comparsa di problemi ambientali legati alla gestione dei sistemi costieri e lagunari.

La navigazione per il trasporto commerciale e turistico, provoca variazioni nel regime idrodinamico, ed è uno dei settori che maggiormente è ritenuto responsabile di alterazioni morfologiche, danni a strutture, e problemi di sicurezza dei natanti di piccole dimensioni. Questo fenomeno è stato osservato diffusamente a partire dagli anni Ottanta quando il traffico subì un netto aumento in seguito all'utilizzo di traghetti veloci per il trasporto passeggeri, e a seguire, l'utilizzo di traghetti per il trasporto combinato di passeggeri e autovetture.

È stato dimostrato come le onde generate dall'avanzamento delle navi siano in alcuni casi un importante fattore dominante per l'erosione costiera e per il trasporto di sedimenti in fiumi (Nanson et al., 1994), baie (Parnell et al., 2008; Soomere et al., 2009), laghi (Hofmann et al., 2008), pianure tidali (Ravens and Thomas, 2008), ed estuari (Houser, 2010).

Svariate sono le località a scala mondiale che sono state analizzate per approfondire questa tematica, tra queste si ricordano, San Francisco, California (Austin, 1999), British Columbia, Canada (British Columbia Ferry Corporation 2000), Arcipelago di Goteborg, Svezia (Strom et al., 1998), Kalundborg Fjord, Danimarca (Kirkegaard et al., 1998), Bacino di Puget Sound, Washington (Stumbo et al., 1999), Marlborough Sounds, Nuova Zelanda (Parnell et al., 2001).

Le componenti non lineari delle onde generate dalle navi in navigazione, in particolar modo se questa avviene ad elevata velocità, giocano un ruolo fondamentale in acque poco profonde. (Parnell and Kofoed-Hansen, 2001; Erm and Soomere, 2006; Parnell et al., 2007; Didenkulova et al., 2009; Soomere et al., 2011). L'avanzamento di una nave in acque poco profonde o all'interno di un canale confinato, provoca delle consistenti variazioni idrodinamiche riconducibili alla formazione di una regione di depressione nell'intorno dello scafo, nota come onda di Bernoulli (Soomere, 2006). L'ampiezza di questo tipo di onde dipende prevalentemente dalle dimensioni della nave e dalla sua

velocità di avanzamento ed è generalmente confinata all'interno del canale. Solo in alcuni casi questa può essere propagata anche per diversi chilometri lungo aree a bassofondo (Rapaglia, 2011). A velocità di navigazione sostenute e in acque poco profonde, le onde con ampiezza considerevole possono essere formate e propagate, come onde asimmetriche fortemente non lineari, lungo aree ad acqua bassa all'interno di lagune (Parnell et al., 2016). A queste perturbazioni sono associate forti turbolenze osservabili anche a notevoli distanze dal luogo di formazione dell'onda, con potenziali impatti sulla morfologia delle aree marginali ai canali navigabili (Rodin et al., 2015).

Le forti correnti associate alle perturbazioni del campo di pressione possono avere un ruolo fondamentale nella risospensione e rimobilizzazione di sedimento (Ravens, 2008, Rapaglia et al., 2015, Gelinis et al., 2013).

Lo scopo di questo lavoro di tesi è stato quello di indagare in dettaglio gli effetti della navigazione sull'ambiente attraverso lo studio delle modificazioni indotte all'idrodinamica del canale e delle aree limitrofe, nei sedimenti del fondale lagunare e in aree emerse prossime ai canali di navigazione, in un contesto sensibile come l'ecosistema della Laguna di Venezia.

Questa ricerca ha l'obiettivo di individuare i principali stressori ambientali dovuti al traffico navale e comprendere le relazioni che intercorrono fra essi al fine di poter stabilire delle misure di mitigazione degli impatti e definire delle strategie di gestione del traffico navale che siano di supporto per la riduzione degli impatti ambientali. I risultati del progetto sono in parte già stati pubblicati in Parnell et al., 2015, 2016 e Zaggia et al., 2017.

La scelta dell'area di indagine è ricaduta sulla Laguna di Venezia, che ospita oggi il terzo più grande distretto portuale italiano (Bellucci et al., 2002) con una superficie totale di 2045 ettari, al centro di un eterno dibattito sulla sostenibilità di un porto localizzato nel cuore della città "più bella del mondo".

Venezia è da sempre conosciuta come la città del commercio il cui porto a partire dal tardo medioevo diventò scalo cruciale per l'economia "globale" (Orlando, 2014) fungendo da elemento principale per lo sviluppo della città.

Già a partire dal IV secolo d.C. lo scalo veneziano si presentava come importante riferimento per il commercio tra Oriente ed Occidente e anche durante il periodo di decadenza, con il declino della società veneziana e della sua economia, il porto di Venezia continuava a mobilitare consistenti quantità di capitale (Costantini, 2004). La posizione strategica dello scalo veneziano, collocato al vertice del mar Adriatico, da cui si diramano i principali corridoi del trasporto europeo, fa sì che il porto di Venezia sia oggi, come nel passato, la via di accesso principale per l'Europa Centrale, dove l'offerta sempre crescente dei paesi asiatici incontra i mercati più dinamici dell'Unione Europea (figura 1).

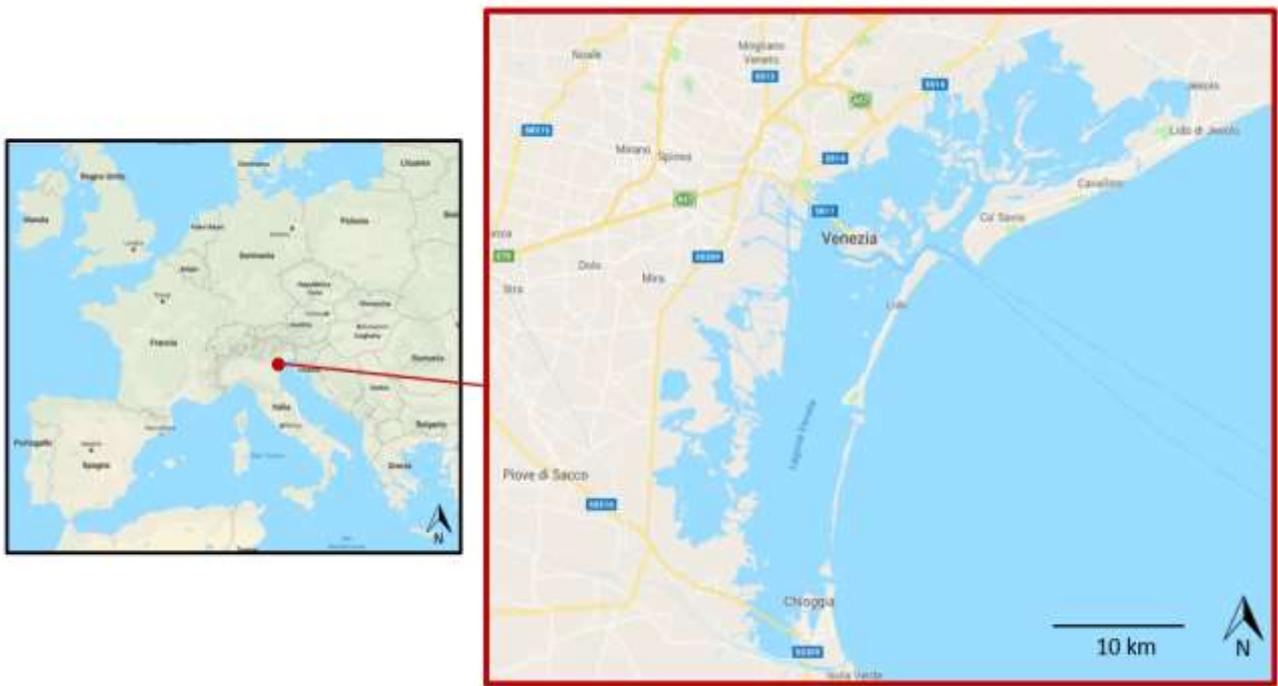


Figura 1. Inquadramento geografico della Laguna di Venezia.

Questa posizione favorevole ha portato ad una crescita continua del traffico marittimo che utilizza la Laguna come scalo di transito per il trasporto merci e per il turismo crocieristico.

Il porto è articolato in più aree distinte, accessibili da due entrate principali: la bocca di porto di Lido, dalla quale si ha accesso alla stazione marittima di Venezia, destinata al traffico crocieristico, e la bocca di porto di Malamocco, che permette il collegamento con l'area industriale di Marghera, attraverso il canale Malamocco-Marghera, nel quale viene gestito l'intero traffico mercantile (figura 2)



Figura 2. Localizzazione dei principali punti di interesse del traffico navale.

In accordo con le statistiche pubblicate dal porto di Venezia a dicembre 2017, un totale di 3452 navi hanno attraversato le acque della laguna suddivise nelle due entrate principali per raggiungere le rispettive aree portuali di Marghera e della stazione marittima di Venezia.

Le ripercussioni ambientali del traffico navale in laguna sono sempre state oggetto di discussione, sin dalle origini dell'area industriale di Porto Marghera. Ricordiamo che proprio per ridurre l'impatto delle navi commerciali e delle petroliere e il rischio di incidenti nel centro storico di Venezia fu aperto alla fine degli anni 60 il canale Malamocco-Marghera.

Consistenti onde di depressione sono state osservate all'interno della laguna lungo le vie di navigazione in seguito al transito di grandi navi lungo i canali navigabili, con ampiezze massime misurate al margine del canale fino a 2,5 m (Parnell et al., 2016). La morfologia dell'area fa sì che queste particolari onde lunghe di depressione, che si presentano come solitoni, possano propagarsi lungo le aree di bassofondo per oltre un chilometro di distanza dal punto in cui vengono generate (Rodin et al., 2015). A seguito del transito di una nave, nelle aree a bassofondo limitrofe al canale, sono osservabili ingenti quantità di sedimento risospeso per azione del forte shear stress misurabile al fondo durante il passaggio dell'onda (Rapaglia, 2015). L'elevata torbidità, associata alle perturbazioni generate, permette il trasporto del materiale più fine per azione delle correnti di marea e provoca inoltre la redistribuzione di contaminanti, l'interramento di canali navigabili e la

perdita di vegetazione al fondo dovuta alla limitata disponibilità di luce nella colonna d'acqua (Sfriso et al., 2005).

Gli effetti di questo traffico in laguna sono inoltre osservabili in aree emerse adiacenti alle vie di navigazione dove sono stati riscontrati tassi di erosione decisamente elevati con velocità di arretramento della linea di costa che raggiungono i 6 m/anno (Zaggia et al., 2017).

Questo studio ha previsto un'indagine approfondita, condotta affiancando molteplici attività sperimentali, per accrescere e collegare le conoscenze relative a problematiche legate alla gestione di porti commerciali e turistici in aree sensibili. Lo scopo del lavoro è quello di fornire un'indagine integrata di problematiche con dinamiche estese a più comparti ambientali che possa essere di supporto alle decisioni economiche e progettuali per la gestione del traffico navale in aree dove le dinamiche ambientali sono assoggettate a interessi economici che spesso prevalgono sulle politiche di salvaguardia.

## 2 Stato dell'Arte

L'avanzamento di una imbarcazione provoca delle alterazioni sulla superficie dell'acqua dovute alla spinta da parte dello scafo che sono riconducibili prevalentemente a due tipi principali d'onda noti come onde primarie (onde di depressione) e onde secondarie (Havelock, 1908; Bertram, 2000).

Le prime sono associate al dislocamento del volume d'acqua dovuto al movimento allo scafo, e sono il risultato della distribuzione di pressione e velocità lungo la carena. Si presentano con una lunghezza d'onda paragonabile alla lunghezza dello scafo.

le seconde, categorizzate come onde divergenti e trasversali, si sviluppano superficialmente dalla prua e dalla poppa dell'imbarcazione (Sorensen, 1967, 1997) e in acque profonde avanzano con un angolo di inclinazione di  $35.3^\circ$  rispetto alla direzione d'avanzamento della nave.

In acque profonde e aperte, gli effetti delle onde primarie risultano decisamente limitati se non trascurabili (Newman, 1977) pertanto sono considerati di secondaria importanza per quanto riguarda le interazioni con l'ambiente, motivo per cui, studi effettuati in scenari di questo tipo focalizzano l'attenzione sulla formazione delle sole onde superficiali.

Queste oscillazioni si combinano formando delle creste di interferenza. Le creste di interferenza si propagano, secondo una configurazione a V. La descrizione di questo particolare pattern d'onda è schematizzata in figura 3. Gli stessi fenomeni non dipendono dalla scala tant'è che si verificano anche, ad esempio, dietro un'anatra che nuota dentro uno stagno.

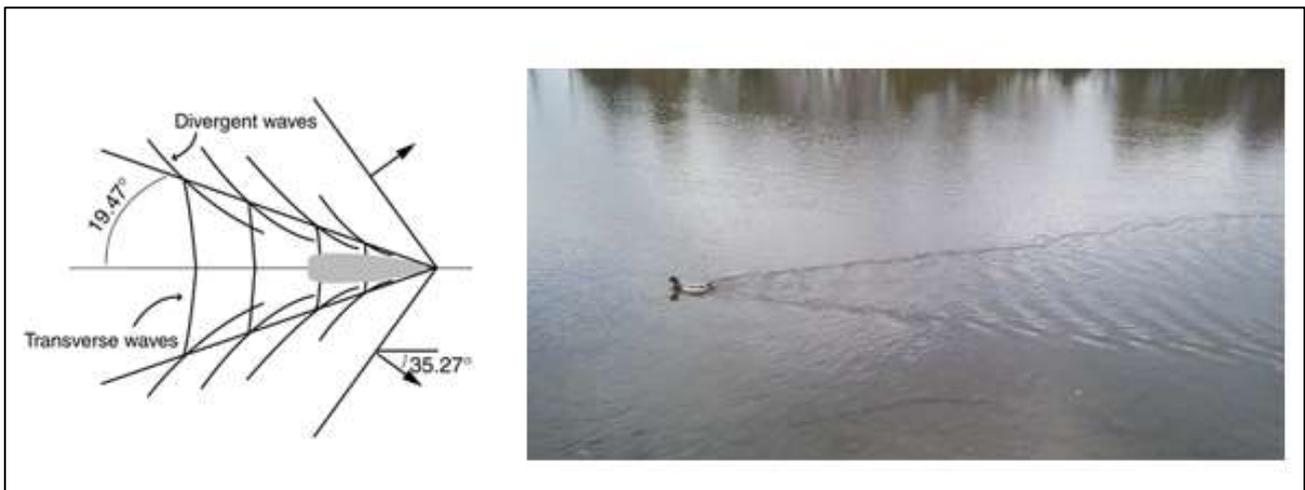


Figura 3: Schematizzazione del pattern d'onda prodotto da una imbarcazione in navigazione in acque profonde.

Le perturbazioni primarie assumono considerevole importanza nel momento in cui la navigazione avviene in canali navigabili o in vie d'acqua delimitate da acque poco profonde e quindi in ambienti confinati dove la nave occupa una porzione significativa della sezione del canale navigato. In questa situazione, infatti, mentre le onde secondarie presentano altezze significative inferiori e vengono dissipate a distanze limitate dal punto in cui sono generate, quelle primarie di depressione, avendo un periodo d'onda molto più lungo sono le principali responsabili di alterazioni nell'idrodinamica. Ad esse infatti sono associabili accelerazioni del flusso idrico con risospensione e trasporto di sedimento e fenomeni di frangimento con trasporto intenso associati all'onda di ritorno.

La depressione generata ha la tendenza a raggiungere prima i margini del canale provocando una iniziale diminuzione del livello idrico che è seguita dall'onda di ritorno ed eventualmente

sovrapposta o seguita da una serie di perturbazioni associate alle onde secondarie divergenti. Le onde primarie possono talvolta essere propagate a distanze considerevoli dal punto di generazione, dove, interagendo con le morfologie limitrofe giocano un ruolo fondamentale nelle dinamiche degli ambienti a bassofondale. (Parnell and Kofoed-Hansen, 2001; Erm and Soomere, 2006; Parnell et al., 2007; Didenkulova et al., 2009; Soomere et al., 2011).

Fino ad oggi, la progettazione degli scafi ha concentrato l'attenzione sulla riduzione delle onde secondarie, mentre risulta difficile pensare a nuove forme di carena in grado di minimizzare la formazione di onde primarie che risultano invece le maggiori responsabili di impatti in ambienti confinati. (Larson et al., 2017)

Le caratteristiche delle onde generate dalle navi (sia primarie che secondarie) dipendono da molteplici fattori relazionati sia alla tipologia dello scafo che alla morfologia del canale di navigazione. I principali fattori legati alla carena sono la lunghezza, la larghezza, la forma, il pescaggio e la velocità di avanzamento, mentre per quanto riguarda le caratteristiche della via di navigazione vanno considerate la velocità del flusso, la profondità, l'area e la forma della sezione del canale di navigazione. Vanno analizzate inoltre la posizione di transito rispetto al canale e la velocità di avanzamento in relazione alla velocità di flusso, soprattutto per lo studio delle altezze d'onda secondarie che sono tanto più grandi e a maggior periodo quanto più elevata è la velocità relativa.

Per questa ricerca si è focalizzata l'attenzione sulle onde primarie che si presentano di magnitudo tanto maggiore quanto più aumenta la velocità di navigazione e diminuisce il rapporto tra l'area della sezione navigata e l'area della sezione dello scafo. Si è dimostrato come l'ampiezza della depressione sia determinata da una combinazione tra il numero di Froude ( $Fr$ ) e il coefficiente di blocco (Schoellhamer 1996 e Rapaglia et al. 2011).

$Fr$ , considera il rapporto tra la velocità della nave e la velocità massima di propagazione dell'onda generata, dipendentemente dalla profondità della colonna d'acqua (Pethiyagoda R. et al., 2014). Tale valore viene calcolato come rapporto tra velocità d'avanzamento dell'imbarcazione e la radice quadrata del prodotto tra profondità del canale di navigazione e forza gravitazionale.

Il coefficiente di blocco è utilizzato per la descrizione della carena e dell'ingombro della nave ed è ottenuto dividendo l'area della carena della nave considerata ( $L*W$ ) per la superficie della sezione del canale navigato ( $A$ ).

La formazione di onde di depressione primarie è osservabile in seguito a navigazione a profondità finite anche a valori di Froude relativamente bassi  $< 0.13$ , ma tali depressioni diventano tanto più pronunciate quanto più si innalza il valore del parametro  $Fr$  (Parnell et al. 2015). In circostanze simili, le onde primarie assumono un aspetto rilevante poiché sono responsabili di fenomeni talvolta molto evidenti (accentuazione di fenomeni erosivi, amplificazione dell'ampiezza d'onda) (Soomere, 2007). Velocità ancora superiori, in regime di supercriticità con valori di  $Fr$  superiori a 1, comportano invece la formazione di pattern d'onda assolutamente differenti, definiti Mach-type (Rabaud and Moisy, 2013; Pethiyagoda et al., 2014), situazione in cui l'angolo di propagazione delle onde individuato dalle teorie classiche subisce una consistente variazione e le caratteristiche del pattern d'onda sviluppato possono essere paragonate al cono Mach type per velivoli supersonici. Questo regime di navigazione non verrà preso in considerazione per questa ricerca poiché non osservabile in contesti di navigazione portuale.

La navigazione in prossimità di scali portuali, a velocità controllate, è sempre stata indagata e trattata considerando le componenti lineari dei fenomeni di perturbazione oppure con modelli che tenessero conto di condizioni di debole non linearità.

Recentemente Parnell et al., 2016 hanno rilevato come all'interno della laguna di Venezia si possa osservare talvolta la formazione di ampie onde di depressione con componenti fortemente non lineari nonostante la navigazione avvenga a velocità ridotta e a regimi di sub-criticità con valori di  $Fr$  limitati ( $Fr < 0,5$ ).

Questo tipo di perturbazioni sono note come onde di Bernoulli (o onde di depressione) e si generano quando una nave avanza a moderata velocità in canali poco profondi o confinati.

Il fenomeno si presenta come ampia depressione localizzata lungo lo scafo della nave che dà origine a quello che è noto come effetto di "Squat" (Naghdi and Rubin, 1984, Gourlay 2008). È noto come questa depressione sia osservabile generalmente nelle immediate vicinanze dello scafo e all'interno del canale, ma l'effetto può avere talvolta ripercussioni su scala più vasta. Alcuni esempi riportano danni provocati a darsene e porti adiacenti ai canali di navigazione, dove il transito di imbarcazioni provoca l'innescò di consistenti perturbazioni idrodinamiche (Forsman, 2001).

In Laguna di Venezia, sono stati riportati casi in cui queste perturbazioni generate all'interno del canale si propagano come onde di depressione lungo aree estese a bassofondo (Parnell et al., 2016), giocando un ruolo fondamentale nella risospensione del sedimento (Rapaglia et al., 2011, Gelinis et al., 2013).

Le onde interagiscono con il fondale aumentando lo *shear-stress* in seguito all'accelerazione del flusso idrico che, nella maggior parte dei casi, viene anche sostenuto dalle forti correnti associate a questi eventi. Questo porta ad un incremento quasi immediato della concentrazione di sedimento nella colonna d'acqua, con conseguente incremento della torbidità (Rapaglia et al., 2011) che risulta di fondamentale importanza nella morfodinamica e nelle caratteristiche ecologiche dell'ambiente lagunare. È noto, ad esempio, come questo processo provochi una sostanziale riduzione della penetrazione della luce e sia, inoltre, possibile causa di dispersione e rilascio di contaminanti (Streets and Holden, 2003).

La propagazione di queste onde, in aree a basso fondale, è associabile ad un repentino rilascio di energia responsabile anche del trasporto di materiale e dell'erosione di spiagge e barene (Houser, 2010; Parnell et al., 2008).

In Laguna di Venezia sono stati studiati consistenti processi erosivi che hanno portato, dal 1970 al 2000, all'incremento della profondità di alcune aree del bacino centrale adiacenti al canale di navigazione (Molinaroli et al., 2009). Il progressivo approfondirsi della laguna ha fatto sì che ci sia stata un'espansione dell'area subtidale compresa tra gli 0,75 e i 2 metri di profondità, da 88 a 206 km<sup>2</sup> tra il 1970 e il 2002 (Sarretta et al., 2010). Il fenomeno è associato alle variazioni idrodinamiche instauratesi dopo lo scavo del canale Malamocco-Marghera, ma parzialmente, questi effetti possono essere ricondotti all'azione erosiva derivante dalla propagazione di queste onde di depressione generate dal traffico su tale area (Rapaglia et al. 2015). Si è osservato come spesso la direzione del flusso porti il sedimento risospeso a depositarsi all'interno dei canali causando un progressivo interrimento delle vie di navigazione dove sono necessari continui interventi di dragaggio.

Numerosi sono gli interventi di protezione che vengono messi in atto per limitare l'espansione di queste perturbazioni al di fuori delle vie di navigazione. Spesso però queste protezioni non risultano sufficientemente resistenti vista l'intensità del fenomeno e collassano dando il via a processi erosivi, talvolta molto consistenti, su spiagge e barene. (Selc 1999, Zaggia et al., 2017)

### 3 Area di Studio

#### 3.1 La Laguna di Venezia

Localizzata all'estremità nord del mare Adriatico, Venezia e i territori della sua laguna sono stati dichiarati nel 1987 patrimonio dell'umanità dall'UNESCO (<http://whc.unesco.org/en/list/394>), questa è anche la laguna con maggior estensione dell'Italia, sviluppata su un'area totale di 550 km<sup>2</sup> (Fig. 4).

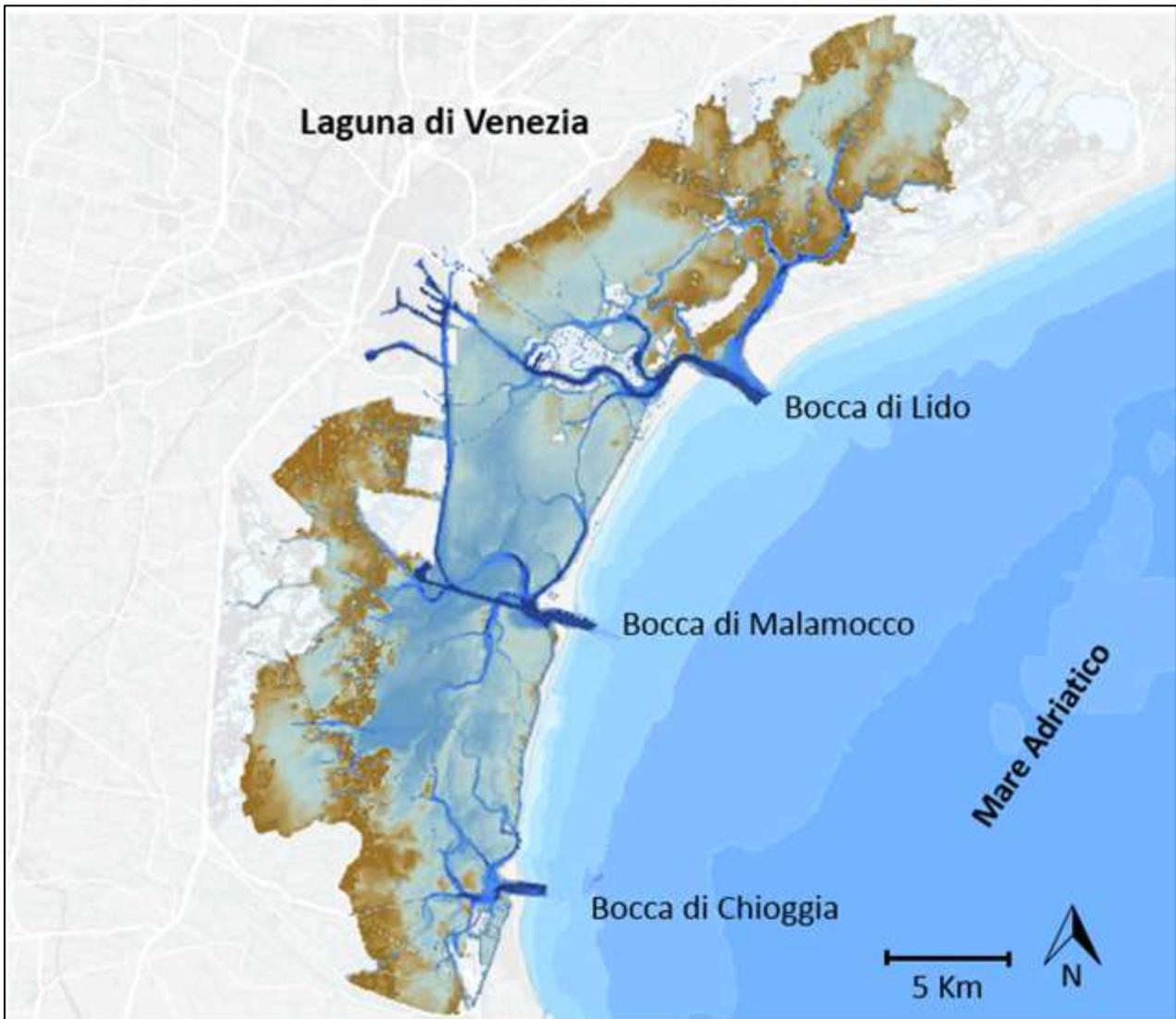


Figura 4. Mappa batimetrica della Laguna di Venezia e del Mar Adriatico.

L'area è circoscritta da un bacino scolante di circa 1800 km<sup>2</sup> costituito da una piana alluvionale con pendenza limitata caratterizzata da un'intensa attività industriale ed agricola (Zuliani et al., 2005). Delimitata a nord dal fiume Sile e a sud dal fiume Brenta, la Laguna di Venezia si estende nella sua forma allungata e lievemente curva per una lunghezza di 55 km e una larghezza massima di 15 km. La connessione con il Mar Adriatico è garantita attraverso tre bocche tidali: Lido, Malamocco e Chioggia e l'escursione di marea ha un intervallo di variazione che va da 0,3 m per le maree di quadratura fino ad 1,1 m in condizioni di sizigie (Molinaroli et al., 2009).

Si stima un ricambio idrico dell'intera area attorno ai 40 milioni di m<sup>3</sup>/giorno garantito dalla fitta rete di canali che attraversano i bassi fondali collegando le zone più interne con le aree più profonde

in prossimità delle bocche di porto (Vascellari, 2002). Il tempo di residenza medio dell'acqua all'interno della laguna aumenta significativamente con la distanza dalle bocche di porto, variando in un intervallo che va da 1 a 30 giorni (Cucco et al., 2006).

I numerosi canali presenti che si articolano all'interno della laguna, la cui profondità media è di 0,8 m, hanno origine sia naturale che artificiale, alcuni dei quali sono periodicamente dragati fino a profondità di 12 m e utilizzati per la navigazione di navi commerciali e turistiche. Come la maggior parte delle lagune costiere, l'ambiente è dinamico e talvolta sottoposto a variazioni intense la cui morfologia è dominata dall'equilibrio tra gli apporti di sedimenti solidi dal mare e dai fiumi e dall'erosione causata da onde e maree (Ravera, 2000).

All'interno di questo sistema sono presenti le forme tipiche di laguna riconducibili principalmente a terre emerse di origine naturale e artificiale quali: litorali, casse di colmata, argini e isole, che occupano circa l'8% di tutta la superficie, mentre il rimanente 92%, comprende canali (11,9%) e strutture legate al sistema acqua quali barene, velme, piane tidali e piane sub-tidali. (80,1%).

Sono proprio gli elementi appartenenti a questo 80,1%, di fondamentale importanza per la funzionalità dell'ecosistema lagunare, e d'altra parte sono anche tra gli elementi più a rischio in quanto più vulnerabili e più sensibili a pressioni di varie origini.

Le barene si presentano come elementi morfologici la cui caratteristica è quella di essere sommerse durante periodi di maree di sizigie. La loro distribuzione in laguna è irregolare e svolgono un'importante azione di mitigazione. Grazie alla loro capacità di assorbimento dell'acqua, che le sommerge durante l'alta marea, e il conseguente parziale rilascio di questa durante il periodo di bassa marea, hanno un importante effetto regolatore del livello idrico della laguna (Ravera, 2000). Inoltre, queste morfologie hanno anche un'importanza come fitodepuratori grazie alla vegetazione alofila presente sulla superficie. La vegetazione che ricopre le barene risulta indispensabile per la loro stabilizzazione, grazie all'azione di compattazione del sedimento dovuta alla presenza di un apparato radicale molto sviluppato che ne consolida la struttura aumentando la resistenza alla forza erosiva dell'acqua. La presenza di estese aree occupate da barene, infine, attutisce la formazione di onde create dal vento e la conseguente sospensione dei sedimenti.

Le velme, sono invece, porzioni di fondale lagunare che resta sommerso in condizioni di marea normale ed emerge solo con le basse maree di sizigie e costituiscono un habitat vitale per l'alimentazione di particolari specie aviatorie, ospitando organismi acquatici resistenti a notevoli variazioni ambientali dovute a periodiche emersioni.

Insieme a barene e velme, nella laguna troviamo anche le piane sub-tidali che sono elementi geomorfologici posti sotto il livello delle acque anche durante eccezionali basse maree e adiacenti ai canali. Sulle piane sub-tidali si possono osservare coperture algali su fondali con sedimento fine, oppure estese praterie di fanerogame su substrati sabbiosi. L'eventuale mancanza di vegetazione induce una maggiore azione erosiva dei sedimenti, da parte della marea.

Il delicato equilibrio che permette l'esistenza di questo sistema lagunare è stato mantenuto nel tempo grazie ad una serie di interventi adottati dall'uomo. Un'ininterrotta attività di trasformazioni intrapresa a partire dal periodo storico (periodo della Repubblica Serenissima) a seguito dell'istituzione del Magistrato alle Acque nel 1501, ha permesso la conservazione di una laguna che, in condizioni naturali, si sarebbe trasformata in un sistema morfologico poco consono alla portualità e alle strategie di difesa della città per azione dei sedimenti trasportati dai fiumi al suo interno.

In passato gli sforzi erano volti alla riduzione di apporti di materiale introdotto dai fiumi, al fine di evitarne l'interramento. Nel recente periodo, invece, le dinamiche lagunari sono state caratterizzate dallo scarso approvvigionamento di sedimento e gli interventi sono stati volti alla protezione delle sponde dei fiumi e alla costruzione di dighe foranee alle bocche di porto. Questo ha portato l'attenzione verso la difesa dai fenomeni erosivi che si sono sviluppati nel tempo e che se non verranno contrastati porteranno una progressiva trasformazione dell'ambiente, la cui tendenza naturale oggi è quella di mutare in un tratto di mare (Ravera, 2000).

L'assetto morfologico lagunare attuale è perciò il risultato di molteplici trasformazioni messe in atto sia da processi naturali che da interventi di origine antropica. L'ambiente risulta fortemente deteriorato, ne è testimonianza la consistente perdita delle sue forme tipiche. Negli ultimi cento anni infatti, si è osservata una riduzione delle superfici occupate da barene e un rapido approfondimento delle aree tidali (Sarretta et al., 2010). L'area totale di laguna coperta da barene è passata da 120 km<sup>2</sup> all'inizio del secolo a circa 40 km<sup>2</sup> (Molinaroli et al., 2009).

Sedimentazione ed erosione sono individuati dunque come i processi che agiscono sull'equilibrio lagunare ma va considerato inoltre che a loro volta questi processi sono correlati a fenomeni di subsidenza ovvero l'abbassamento del livello del suolo, ed eustatismo, (innalzamento del livello del mare).

Oggi la Laguna di Venezia è soggetta ad un tasso di approfondimento medio annuo variabile tra 0,5-1,6 mm, riconducibile a cause di origine naturali, dovuto principalmente ai processi tettonici (Kent et al., 2002).

Durante lo scorso secolo però, l'emungimento delle acque di falda per uso industriale, ha indotto una subsidenza di origine antropica. L'estrazione d'acqua dal suolo iniziò nel 1930 con un picco di emungimento tra il 1950 e il 1970 che ha accelerato la velocità di abbassamento dell'area lagunare fino ad un picco massimo di 17 mm/anno registrato tra il 1968-1969 in prossimità della zona industriale di Porto Marghera (Brambati et al., 2003). La chiusura dei pozzi artesiani e l'approvvigionamento idrico diversificato ha permesso di fermare questo fenomeno non naturale. Considerato che nel corso del Ventesimo secolo l'approfondimento medio dell'area lagunare fu di 12 centimetri (3 centimetri causati dalla subsidenza naturale e 9 centimetri dalla subsidenza antropica), e considerato che nello stesso periodo si è registrato un fenomeno eustatico pari a 11 cm (Brambati et al., 2003) sappiamo oggi che in un arco temporale ristretto la laguna ha subito un innalzamento relativo del livello del mare di 26 cm ([www.comune.venezia.it/it/content/centro-previsioni-e-segnalazioni-maree](http://www.comune.venezia.it/it/content/centro-previsioni-e-segnalazioni-maree), comune di Venezia). Questo ha provocato la scomparsa di barene (Bellucci et al., 2007) ed ha portato a cambiamenti dell'idrodinamica all'interno della laguna (Brambati et al., 2003) innescando una serie di cambiamenti, che hanno portato all'attuale conformazione lagunare.

### 3.2 Il bacino Centrale della Laguna

L'area centrale della Laguna si estende dalla città di Venezia fino al canale Malamocco-Marghera, e gli scambi di marea sono garantiti dalla connessione attraverso la bocca di porto di Malamocco.

Il bacino centrale della laguna è la zona più dinamica di tutto l'ecosistema descritto ed è anche l'area che nel tempo è stata maggiormente modificata dall'uomo per interessi commerciali e strategici.

Gli elementi principali che caratterizzano il bacino centrale della Laguna sono:

- Canale Malamocco Marghera
- Casse di colmata
- Area di piana sub-tidale confinata dal Malamocco-Marghera
- Area industriale di Porto Marghera (fig. 5)

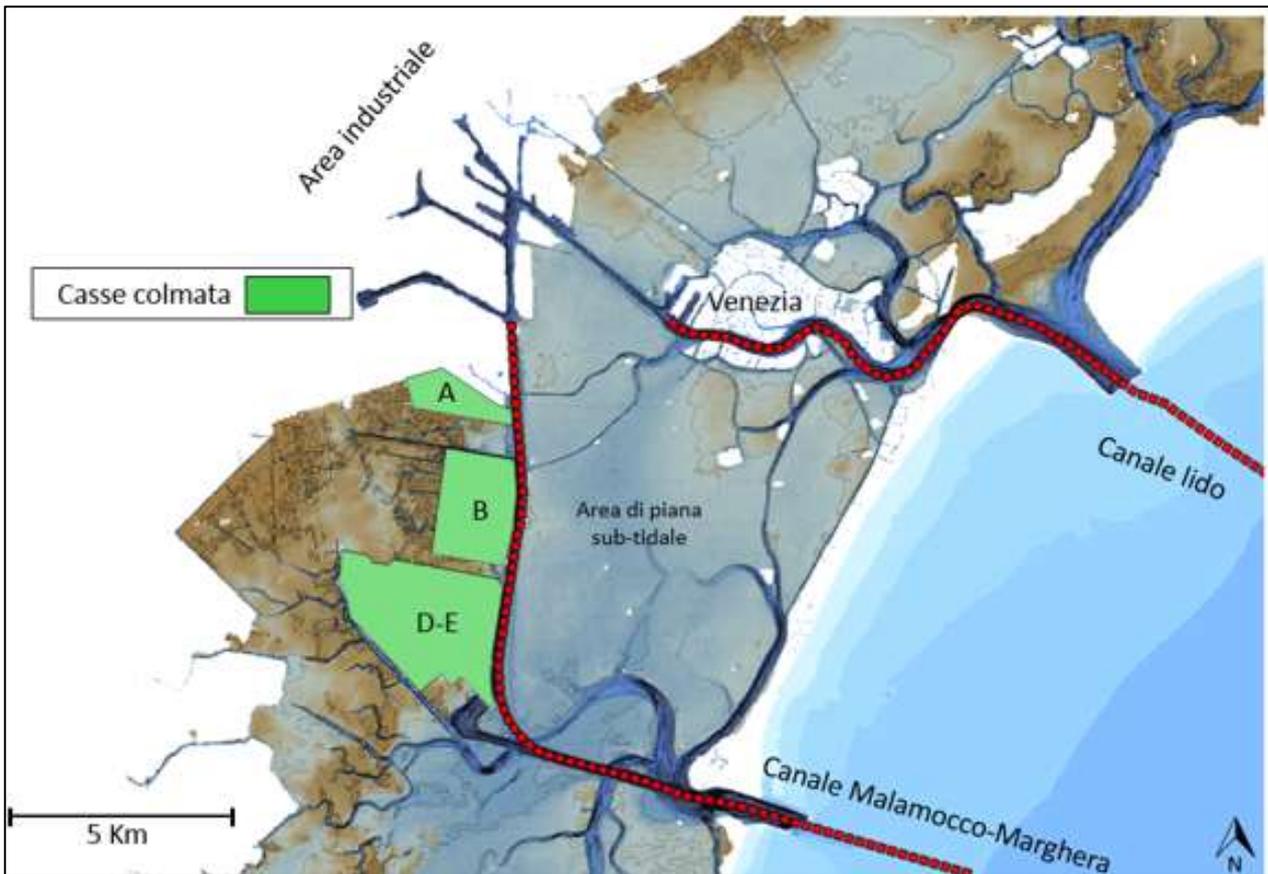


Figura 5. Laguna di Venezia bacino centrale. In evidenza le Casse di Colmata (delimitate in verde) e i due principali canali di navigazione (tratteggi rossi).

La velocità di corrente di marea in questa parte di laguna è generalmente al di sotto di 0,05 m/s anche se in particolari condizioni con presenza di vento sostenuto la corrente può arrivare fino a 0,15m/s (Coraci et al., 2007). Le condizioni climatiche e la morfologia dell'area fanno sì che il bacino sia protetto da eventi meteorologici intensi e il *fetch* limitato ne impedisce la formazione di onde di considerevole ampiezza. Rapaglia et al. (2011) indica come venti da scirocco, che implicano un *fetch* di 8 km, possano provocare onde di altezza fino a 0,2 m e che la media annuale di intensità del vento sia di 3,11m/s, viene ribadito inoltre come, meno di 10 eventi l'anno abbiano un'intensità sufficiente a provocare l'erosione della linea di costa.

Nonostante le dinamiche scarsamente energetiche dell'area, questa risulta estremamente alterata e consistenti modificazioni morfologiche testimoniano come questo bacino sia impattato dalla presenza di perturbazioni di origine antropica. Gran parte delle modificazioni indotte sono attribuibili all'intenso traffico di navi commerciali che navigano lungo il canale Malamocco Marghera per giungere fino all'area industriale.

Il lavoro di tesi è stato concentrato sulle dinamiche erosive indotte in differenti matrici ambientali focalizzando l'attenzione sui processi in atto all'interno del canale Malamocco-Marghera, nell'area a bassofondo e nelle casse di colmata a ovest del canale stesso.

### 3.2.1 La piana sub-tidale (area a bassofondo)

Classificata come "laguna Aperta" (Molinaroli et al 2009), l'area centrale della laguna è occupata oggi, da una piana sub-tidale che si estende per 5/7 km a est dal canale Malamocco-Marghera per una superficie totale di circa 240 Km<sup>2</sup> e una profondità variabile dagli 1 ai 2 metri.

Lo sviluppo di tale superficie è avvenuto a seguito di un graduale approfondimento di aree intertidali inizialmente collocate a profondità inferiori (>-0.50) evidenze di antiche depressioni e paludi presenti nella pianura alluvionale veneziana sulla quale si è formata la prima laguna nel medio olocene. Molinaroli et al., (2007, 2009, 2013) descrive la tipologia di sedimento come fango molto siltoso poco sabbioso riportando la diminuzione di tutte le frazioni granulometriche ad eccezione di sabbie fini (105-63  $\mu\text{m}$ , +8%) nel periodo compreso tra il 1970 e il 2000. La tendenza del fenomeno è confermata anche da Zonta et al., (2007) che riporta inoltre una diminuzione della frazione fangosa nei sedimenti superficiali più vicini al canale industriale associando questa variazione all'azione dei fenomeni idrodinamici relativi al transito delle navi. L'area presenta inconfutabili evidenze di un processo erosivo continuo e marcato, e risulta in progressivo approfondimento con un incremento delle aree sub-tidali (profondità compresa tra -0,75m e -2,00 m) che nel bacino centrale sono passate dall'occupare 88 km<sup>2</sup> a 206 km<sup>2</sup> in un arco temporale compreso tra il 1927 e il 2002. Nel proseguo di questa tesi, per la descrizione di tale superficie, verrà impiegato il termine più generico "bassofondo". L'approfondimento medio dell'area risulta di 1,11 m in un periodo di 75 anni (Sarretta et al., 2010). Trattandosi di un'area limitrofa alla zona industriale di Porto Marghera, numerose sono anche le problematiche legate alla presenza di contaminanti nel sedimento dovuta in parte allo scarico diretto e in parte allo stoccaggio in aree limitrofe e successivo percolamento (Bellucci et al., 2002). L'intera zona a bassofondo è stata designata come area contaminata di interesse nazionale nel 1999. Un graduale miglioramento nelle condizioni ambientali è stato osservato in recenti studi. (Secco et al., 2005; Zonta et al., 2007).

### 3.2.2 Il canale Malamocco-Marghera

Scavato tra il 1961 e il 1969, per il collegamento dell'area industriale di Marghera con il mar Adriatico, attraverso la bocca di porto di Malamocco, il canale Malamocco-Marghera è noto anche con il nome di Canale dei Petroli (figura 6).

Nel primo tratto in prossimità della bocca di porto, il canale Malamocco-Marghera è stato scavato in direzione est-ovest seguendo il percorso naturale di un preesistente canale tidale naturale (Canal Maggiore) mentre a seguito di una curva di circa 90° procede in direzione nord-sud nel suo tratto successivo in una nuova via di navigazione sviluppandosi lungo un percorso rettilineo ortogonale alla naturale rete di drenaggio. Il canale ha una lunghezza totale di 20 km e una larghezza media di 200 m. Il progetto originale prevedeva una profondità dello scavo di 14,5 metri e ad oggi questo presenta profondità variabili dai 17 m nella parte iniziale in prossimità della bocca di porto, ai 12 m nella parte intermedia e i 10 m in prossimità delle banchine del porto industriale (Madricardo et al.,

2017). Lo scavo di questa nuova via di accesso al porto è ritenuto la causa principale di consistenti variazioni idrodinamiche avvenute nel bacino centrale della laguna.

Le scarpate del canale sono piuttosto ripide con una pendenza di circa il 25% per il lato est e 30% per il margine ovest. Questa considerevole pendenza dei margini viene mantenuta grazie ad un programma di dragaggio continuo. La seconda parte del canale, che si estende per oltre 14 km a partire dalla curva in direzione nord risulta confinata a ovest dalla presenza di terreni di riporto (casse di colmata) costruiti in larga parte con il materiale derivante dello scavo del canale stesso, ma anche con materiali residui di lavorazioni industriali, mentre il lato ad est è caratterizzato dalla presenza dell'area a bassofondo già descritta. Solo nell'ultimo tratto in prossimità del porto industriale, i margini del canale sono protetti da barriere artificiali costruite con lo scopo di non permettere la propagazione sul basso fondo delle onde di depressione generate dal traffico navale. Nelle aree dove queste barriere non sono presenti, Parnell et al. (2016) hanno misurato consistenti onde di depressione che si propagano per diversi metri lungo l'area a bassofondo fino a completa dissipazione naturale a causa dell'attrito con il fondo che ne provoca la rottura e il frangimento (Chan and Liu, 2009).

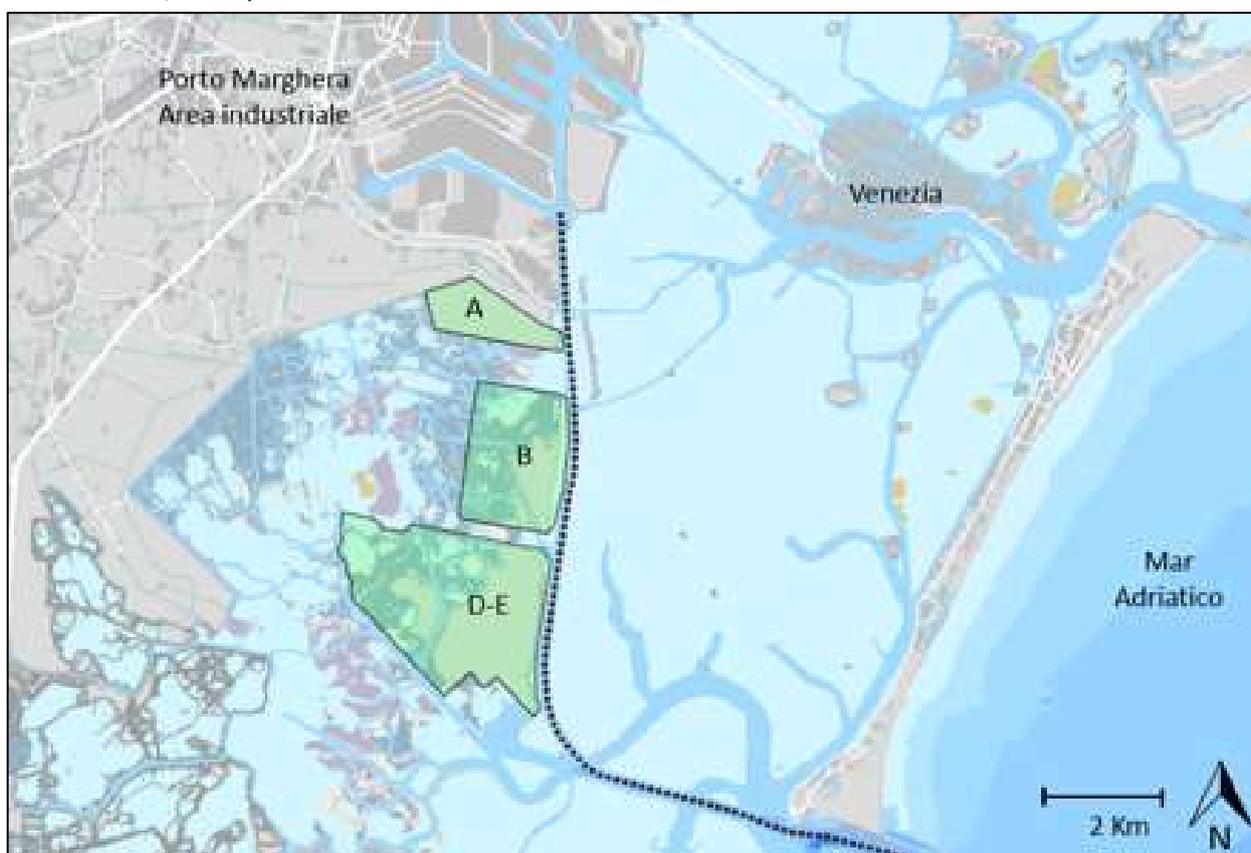


Figura 6. Laguna centrale. In evidenza il canale di navigazione Malamocco-Marghera (linea punteggiata) e le aree di laguna occupate dalle casse di colmata (poligoni verdi)

### 3.2.3 Casse di colmata

La rapida evoluzione dell'industria chimica di Marghera, le cui origini risalgono al periodo della prima guerra mondiale e del seguente dopoguerra, e di pari passo lo sviluppo di una zona portuale per il trasporto di materie prime e prodotti industriali, hanno portato alla ricerca di nuove aree ai margini della laguna dove installare quei fabbricati che avrebbero dato il via alla nascita e allo sviluppo dell'industria chimica.

Si rese necessaria, quindi, la trasformazione di estese zone occupate da barene, canali, velme e bassi fondi, in aree destinate all'industria a seguito di imbonimento di superfici lagunari e che oggi sono definite con il termine "Cassa di Colmata".

La prima area industriale, terminata negli anni '30 sorse a seguito della bonifica di paludi e barene interrate con i fanghi provenienti dallo scavo dei canali, mentre, la necessità di un'ulteriore espansione a fine degli anni '50, portò allo sviluppo di una seconda area ottenuta mediante l'imbonimento di terreni per i quali come materiale di riporto furono utilizzati i fanghi provenienti dalle lavorazioni industriali derivanti dalla prima area industriale.

La rapida evoluzione e il momentaneo successo dell'industria chimica hanno fatto sì che a distanza di poco tempo fosse necessario individuare un'ulteriore terza area di sviluppo per garantire un'ulteriore crescita dell'industria che di lì a poco avrebbe raggiunto il suo massimo apice. Si proseguì quindi con la realizzazione della terza area suddivisa in più casse di colmata (figura 6) che mai vennero occupate e che sono tutt'ora abbandonate.

Per la realizzazione della prima area industriale vennero sottratti alla laguna circa 500 ettari, mentre per la seconda e terza zona Industriale furono imboniti circa 1700 ettari di laguna (Cavazzoni, 1995). Di particolare interesse per le indagini di questo lavoro sono le aree destinate al terzo sviluppo dell'area industriale che come anticipato risultano oggi abbandonate e mai utilizzate. Queste furono realizzate dalla metà degli anni '60 con i fanghi rimossi dallo scavo del canale Malamocco-Marghera e furono imbonite fino al confine della conterminazione lagunare<sup>1</sup> ad una quota topografica pari a circa 1,5-2,0 m sopra il livello medio del mare (D'Alpaos, 2010).

Per la loro realizzazione vennero impiegati circa 25.000.000 m<sup>3</sup> di fango per una superficie totale di 11,36 km<sup>2</sup> così suddivise:

- Cassa di colmata A di 160 ettari a nord
- Cassa di colmata B di 380 ettari al centro
- Cassa di colmata D-E di 750 ettari a sud

Nei progetti relativi all'area era presente un'ulteriore cassa C che doveva essere situata ad Ovest della cassa B, e che non venne mai realizzata. Per l'attuazione di queste aree furono utilizzate delle draghe idro-refluenti per il prelievo del fango dal canale in escavazione e il diretto deposito nell'area da coprire. Come osservabile dalla figura 6 la cassa A risulta contigua alla terraferma ed è la sola che sia stata interamente completata mentre le casse B D-E, che possono essere equiparate a isole, pur essendo parzialmente perimetrare, presentano ancora ampie superfici non completamente imbonite e sfumano ad ovest sulla morfologia tipica dell'ambiente di barena preesistente. Queste ultime due sono poi state modificate nel tempo con diversi interventi per il ripristino delle condizioni idrologiche avviando in questo modo una rinaturalizzazione e facendo sì che oggi siano diventate importanti biotopi per differenti specie di uccelli e protette dalla direttiva europea 79/409/EEC del 2 aprile 1979. Si è, infatti, sviluppato all'interno delle casse di colmata un ambiente eterogeneo e

---

<sup>1</sup> Con l'espressione conterminazione lagunare si indicano i confini della Laguna di Venezia, così come stabiliti a suo tempo dalla Repubblica Serenissima: la conterminazione era contrassegnata ovunque lungo i margini della laguna attraverso una serie di cippi in pietra d'Istria. I decreti della Repubblica stabilivano gravissime pene per chi avesse violato la conterminazione edificando all'interno delle lagune o sottraendo spazi alle acque.

complesso strettamente legato alla natura del substrato e alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti utilizzati per la costruzione.

Oggi la morfologia di queste zone è fortemente alterata dall'azione delle perturbazioni idrodinamiche generate dal traffico navale, che propagandosi lungo i margini del canale navigabile, provocano una consistente erosione del margine delle casse di colmata e un progressivo arretramento della linea di costa (Zaggia et al., 2017).

In particolare, le casse A e B, nel tempo sono state private delle protezioni artificiali delle sponde, collassate per la rimozione del sottostante substrato sabbioso-siltoso, per l'azione delle onde delle navi e presentano una situazione di forte erosione. Nel margine delle casse di colmata B (figura 7) è evidente una marcata scarpata erosiva in prossimità della quale si trovano numerose specie arboree abbattute che testimoniano la consistente erosione in atto. Si è scelto pertanto di monitorare i processi idrodinamici e morfologici legati a queste zone ponendo l'attenzione sulle aree più erose, maggiormente soggette allo stress imposto dal traffico portuale.



*Figura 7. Immagine aerea di una porzione di Cassa di Colmata B. Dall'immagine è possibile osservare una situazione di alterazione caratterizzata da una netta scarpata erosiva e dalla presenza di alberi crollati a terra*

## 4 Attività sperimentali

Data la complessità del lavoro svolto e viste le molteplici interazioni esistenti tra le componenti ambientali studiate, si è deciso di organizzare il lavoro suddividendo le indagini sperimentali in tre diversi ambiti principali.

- Campagne di indagine idrodinamica
- Campagne di indagine sedimentologica
- Campagne di indagine morfologica

Questo tipo di suddivisione ha permesso di articolare la ricerca ottimizzando di volta in volta le uscite in campagna, stabilendo le condizioni idonee alle indagini in modo dettagliato, garantendo

una maggiore replicabilità dei dati e permettendo il trasporto e il posizionamento di un maggior numero di strumenti.

Per chiarezza espositiva, le attività sperimentali verranno descritte seguendo la stessa suddivisione. I risultati ottenuti dalle varie campagne sono poi stati elaborati ed integrati permettendo quindi una visione completa dei processi studiati.

## 4.1 Campagne di indagine idrodinamica

L'attività sperimentale per determinare gli effetti dell'onda di depressione generata dal transito delle navi nel canale Malamocco-Marghera si è articolata in quattro fasi principali.

- La prima fase ha riguardato il transito delle navi da crociera nel canale Malamocco Marghera in occasione della festività del Redentore. Nei giorni 19 - 20 luglio 2015 si è condotto il monitoraggio in modo da osservare gli effetti legati al passaggio di navi da crociera, che allo stato attuale transitano solo raramente per questo percorso.
- La seconda fase di indagine si è invece focalizzata sullo studio degli effetti del traffico commerciale ai margini del canale, in prossimità della cassa di colmata B, dove è stato possibile registrare serie temporali del livello idrico protratte nel tempo per un intervallo di oltre 45 giorni nel periodo 18 marzo 2016 – 2 maggio 2016.
- La terza fase, complementare alla seconda, si è invece concentrata sull'indagine della propagazione delle onde generate nell'area a basso fondale e si è svolta nel periodo 24 marzo – 2 maggio 2016.
- La quarta fase di attività sperimentali ripropone, invece, un'indagine degli effetti del transito di una nave da crociera. Le determinazioni sono state effettuate durante il transito occasionale (marzo 2018) attraverso il canale Malamocco-Marghera della nave Carnival Horizon varata nei cantieri navali di Marghera e fatta uscire in mare attraverso la bocca di porto di Malamocco.

### 4.1.1 Descrizione strumentazione utilizzata

#### 4.1.1.1 Correntometro S4

Per il monitoraggio idrodinamico è stato utilizzato il correntometro elettromagnetico S4 (InterOcean Systems, inc, USA), utilizzato in due diverse versioni. S4A, dotato di una frequenza di campionamento di 2 Hz e S4ADW in grado di campionare fino ad una frequenza di 5 Hz. Per l'ancoraggio sono state utilizzate per ogni strumento, 2 piastre di zavorra circolari in acciaio da 25 kg. (figura 8) connesse agli strumenti attraverso barre filettate da 50 cm. Questi strumenti determinano la velocità e la direzione del flusso attraverso la misurazione delle variazioni del campo elettromagnetico indotte dalla corrente idrica nell'intorno dello strumento stesso. Tale determinazione è possibile attraverso l'applicazione della legge di Faraday per ricavare la velocità. Una coppia di elettrodi interni e una bussola forniscono poi i valori vettoriali del flusso (figura 8).



Figura 8. Correntometri elettromagnetici S4 InterOcean. La foto mostra gli strumenti fissati al sistema di zavorra con piastre tonde in acciaio utilizzato per l'ancoraggio al fondo.

In Tabella 1 si riportano le caratteristiche tecniche degli strumenti S4 utilizzati:

Tabella 1. Caratteristiche tecniche e specifiche meccaniche dei correntometri S4 InterOcean.

	CORRENTOMETRO ELETTROMAGNETICO S4					
	V.corrente	Direzione	Inclinazione	Temperatura	Conducibilità	Pressione
Range	0 – 350 cm s <sup>-1</sup>	0 – 360 °	+/- 45°	-5°C - +45°C	0 – 70 mS cm <sup>-1</sup>	0 – 1000 dbar
Risoluzione	2 Hz 0.03 a 0.35 cm/s 5 Hz 0.037 a 0.43 cm/s	0.5°	0.06°	0.05 °C	0.1 mS cm <sup>-1</sup>	1 dbar
Precisione	2% of reading +/- 1 cm s <sup>-1</sup>	+/-2° within tilt angles of 5°	+/- 0.25°	+/- 0.05°C	+/- 0.2 mS cm <sup>-1</sup> (5-65 mS cm <sup>-1</sup> )	+/- 0.15 %
Frequenza di campionamento	S4/S4A 2 Hz S4ADW 5 Hz					
T di risposta			1.5 sec	0.1 sec	60msec	
Dimensioni	25 cm diametro					
Peso	Aria: 11 kg, Acqua: 1.5 kg					
Materiale	Sfera, vetroresina epossidica cicloalifatica. Asta per l'ancoraggio, Titanio 6 AL-4V					
Memoria	S4A 20 Megabyte S4ADW 2 Giga					

#### 4.1.1.2 Sonda multiparametrica Ocean Seven 316Plus

Questo strumento prodotto da Idronaut Srl., 2007, è una sonda multiparametrica equipaggiata con sensori di pressione, temperatura e conducibilità. Lo strumento è inoltre dotato di torbidimetro del tipo *Seapoint optical backscatter sensor* per la determinazione della torbidità mediante backscatter ottico calibrato per la determinazione del parametro in unità torbidimetriche di formazina (FTU).

La velocità di acquisizione può arrivare fino ad una frequenza di 20 Hz. Per analisi di lungo periodo è possibile associare allo strumento un pacco batterie esterno. Durante le campagne di misura lo strumento è stato fissato a delle postazioni fisse e dotato di una zavorra supplementare per mantenerne la posizione verticale anche in presenza di elevate velocità di corrente, come quelle generalmente indotte dalle onde di depressione delle navi (figura 9).



Figura 9. Sonda multiparametrica CTD con zavorra e cestello di protezione agli urti. A destra operazione di posizionamento nel campo sperimentale di Fusina.

In Tabella 2 si riportano le caratteristiche tecniche:

Tabella 2. Caratteristiche tecniche della sonda multiparametrica Ocean Seven 316 Plus con Specifiche dei sensori.

<b>SONDA MULTIPARAMETRICA</b>			
Produttore	Idronaut Srl.		
Modello	Ocean Seven 316Plus		
Frequenza di campionamento massima. (Hz)	20		
Memoria	512 Megabyte non-volatile memory		
	Specifiche del Sensore		
	Pressione	Temperatura °C	Conducibilità (mS cm-1)
Range	0 ÷ 1000 dbar	-3 ÷ +50	0 ÷ 70
Precisione	0.05% full scale	0.003	0.003
Risoluzione	0.002% full scale	0.0002	0.0003
Costante temporale	50 ms	50 ms	50 ms
	SENSORE DI TORBIDITA'		
Produttore	Seapoint Sensor Inc.		
Modello	Seapoint Turbidity Meter Auto-Ranging (FTU)		
Range	25	125	500
Precisione	0.05	0.25	1
Risoluzione	0.005	0.025	0.1
Costante temporale	0.1 sec	0.1 sec	0.1 sec

#### 4.1.1.3 Correntometro acustico ADCP

Conosciuto come profilatore acustico ad effetto doppler, è stato utilizzato per le campagne sperimentali idrodinamiche un Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) (Workhorse Rio Grande Teledyne RDI, USA) Si tratta di uno strumento acustico che sfrutta l'effetto doppler connesso alla propagazione degli impulsi generati dal profilatore e riflessi dalle particelle sospese nella colonna per la misura della velocità della corrente. Il variare della frequenza e fase di questi impulsi legati al movimento relativo delle particelle sospese rispetto allo strumento permette di determinare velocità e direzione di un flusso idrico e, mediante un'opportuna elaborazione dei dati dell'intensità del backscatter acustico basata sui dati di misure di calibrazione (T, S, particellato sospeso) anche le variazioni di concentrazione del solido sospeso. Lo strumento utilizzato lavora alla frequenza di 1200 kHz ed ha un trasduttore a 4 fasci. (figura 10). Per la valutazione degli effetti idrodinamici lo strumento è stato installato su un natante facendo attenzione che i suoi trasduttori si trovassero ad una profondità costante di circa 20 cm.



Figura 10. Profilatore acustico ADCP, prodotto da Teledyne RD instruments, modello Workhorse Rio Grande.

In Tabella 3 si riportano le caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato:

Tabella 3. Caratteristiche tecniche del profilatore acustico ADCP prodotto da Teledyne RD instruments, modello Workhorse Rio Grande.

ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER	
Produttore	Teledyne RD Instruments
Modello	Workhorse Rio Grande(®)
PAR. COSTRUTTORE :	
Frequenza (kHz)	1200
No. trasduttori	4
Inclinazione raggio acustico (°)	20
Accuratezza vel.	±0.25% vel. (acqua + barca) ± 0.25 cm s-1      0.3% vel. acqua rispetto ADCP ± 0.3 cm s-1
Risoluzione vel. (cm s-1)	0.1
Range vel. (m s-1)	±5m s-1 (default) ±20m s-1 (max)

#### 4.1.1.4 Sensore di pressione RBR-Solo submersible wave recorder

Il sensore RBR-Solo permette l'acquisizione di dettaglio della pressione nella colonna d'acqua garantendo determinazioni millimetriche delle altezze d'onda con una frequenza fino a 16 Hz. Lo

strumento è dotato di un sensore di pressione a singolo canale con data-logger interno. Permette l'acquisizione in continuo o a intermittenza con intervallo di campionamento selezionabile da 1 a 16 Hz e per lo scarico dei dati utilizza una connessione ad elevata velocità tramite cavo connettore USB. Per il lavoro condotto questo strumento è stato montato su zavorre costruite con piastre in cemento che sono state ulteriormente appesantite con dischi di piombo per l'impiego nei punti prossimi al canale dove le sollecitazioni della corrente sono più forti e possono determinare il ribaltamento dell'installazione pur avendo questa una ridotta sezione di ingombro (figura 11). Gli strumenti sono stati installati ad una profondità di circa 1,5 m e per lo scopo di questa ricerca sono stati fatti funzionare con una frequenza di acquisizione di 16 Hz.



Figura 11. Sensore di pressione RBR Solo Submersible Wave Recorder con sistema di zavorra con piastre in cemento.

In Tabella 4 si riportano le caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato:

Tabella 4. Sensore di pressione RBR Solo Submersible Wave Recorder specifiche tecniche.

	Fisiche		Marea
Alimentazione	Batteria tipologia AA 1.5V	Frequenze di acquisizione	>1s, da 1 a 16Hz
Connessione	Attraverso USB-C	Durata media	da 1s a 2m
Storage	60M	Periodo campionabile	1s up to 24h
Precisione orologio	± 60 seconds/anno		<b>Onde</b>
dimensioni	210mm x Ø25.4mm	Frequenza acquisizione	1s, 1 to 16Hz
Peso	960g in aria, 430g in acqua	Campioni per Burst	512 to 32768
<b>Pressione</b>			
Range	20/50m (dBar)	Precisione	±0.05%full scale
Risoluzione	<0.001% full scale	Costante temporale	<10ms

#### 4.1.1.5 Sensore di torbidità Aqualogger

Il torbidimetro AQUAlogger 210TY (Aquatec Group Ltd., UK) è uno strumento compatto per il monitoraggio della torbidità. Costituito da un alloggiamento cilindrico che ospita solamente un sensore di torbidità del tipo *Seapoint optical backscatter sensor*, un sensore di pressione e un sensore di temperatura. Lo strumento è dotato di memoria interna per la registrazione dei dati. La

torbidità, anche in questo caso, viene espressa in unità torbidimetriche di formazina (FTU) con range di torbidità specificatamente selezionabile o autoscalato. Il sensore fornisce una misura puntuale nell'intorno dello strumento, e in presenza di una calibrazione delle letture contro la concentrazione di particolato sospeso misurata in campioni d'acqua prelevati in prossimità dello strumento può fornire anche una stima della quantità del particolato sospeso. Per le determinazioni sperimentali di questa tesi l'Aqualogger è stato utilizzato ad una frequenza di acquisizione di 0.2 Hz, ritenuta sufficiente per gli scopi dell'indagine. Lo strumento è stato posizionato sul fondo ed ancorato per mezzo di una piastra in cemento ad una profondità di circa 1,5 m (figura 12).



Figura 12. Torbidimetro AQUAlogger 210TY Aquatec Group Ltd. A sinistra sistema di ancoraggio utilizzato.

In Tabella 5 si riportano le caratteristiche tecniche dello strumento:

Tabella 5. Torbidimetro AQUAlogger 210TY Aquatec Group Ltd specifiche tecniche.

	<b>torbidità</b>	
lunghezza d'onda luce sorgente	880 nm	
angolo diffrazione	15 - 150 gradi	
range misura	0 - 500 FTU Lineari	
	0 - 2000 FTU Polinomiali	
	<b>Temperatura</b>	<b>pressione</b>
Tipo sensore	termistore	ponte piezo-resistivo
ranges	-2 fino a 30 °C	5 bar
risoluzione	superiore a 0.007 °C	0.01% full scale
accuratezza	±0.05°C	0.2% full scale
capacità memoria	> 4 M letture	
velocità acquisizione	da 1 Hz fino 30 secondi	
comunicazione	RS232 or RS422 (specify) and USB 1.1, bus powered	
batteria	3 x 3.6V Custom Lithium 'AA'	
profondità massima	1000 m	

#### 4.1.1.6 Acquisizione dei dati di traffico attraverso l'utilizzo di un Ricevitore AIS

Per ottenere informazioni relative al traffico nelle aree di studio considerate si è scelto di installare una antenna AIS sulla piattaforma oceanografica "Acqua Alta" dell'Istituto di Scienze Marine del

CNR (CNR-ISMAR) così da poter registrare la maggior parte dei dati sul traffico navale (velocità navi, dimensioni, pescaggio posizionamento e direzione navigazione) per una copertura spaziale determinata a partire dal 1° febbraio 2016.

Il Sistema AIS è un metodo di tracciamento automatico utilizzato per la navigazione in supporto al sistema radar, esso impiega il sistema di trasmissione radio VHF per inviare le informazioni acquisite dal GPS di bordo permettendo il monitoraggio in continuo delle imbarcazioni durante la navigazione a scopo di sicurezza.

La frequenza con cui vengono aggiornate le informazioni è variabile e dipende dall'attività dell'unità, può andare da una trasmissione ogni 3 minuti per i mezzi all'ancora o ormeggiati fino ad una ripetizione ogni 2 secondi per unità in manovra o in rapido movimento.

L'adesione al network di AIS-Hub consente di ottenere dati del traffico in tempo reale a livello globale. AIS-Hub è infatti una piattaforma di condivisione nella quale vengono trasmessi in real time tutti i dati AIS forniti dagli utenti connessi alla piattaforma stessa. L'accesso alla rete è riservato a tutti coloro che attraverso l'impiego di un ricevitore o trasmettitore AIS forniscono dati in tempo reale di una determinata area. Lo strumento installato da cnr-ismar permette dunque la partecipazione a tale rete e di ottenere le informazioni relative all'area di interesse.

Attraverso l'applicazione di filtri spaziali per la latitudine e longitudine al volume di dati AIS in ingresso, è possibile ottenere un database del traffico nell'area del porto di Venezia interessata da questo studio. Tale database è stato quindi integrato in un sistema GIS che permette di rappresentare su cartografia i dati di posizione o di effettuare delle elaborazioni sugli stessi. L'area monitorata ha come estremi le coordinate 12,0° e 12,7° E; e 45,0° e 45,7° N. Un esempio dei dati relativi al giorno 5 giugno 2017 è riportato in figura 13 dove si possono osservare, riportati in cartografia GIS, tutti i punti relativi all'invio di un segnale AIS da parte di ogni imbarcazione. Un ingrandimento dell'area oggetto delle indagini sperimentali è invece riportato in figura 14 dove si possono osservare molteplici punti. Allegati ai punti di posizionamento ci sono connessi una serie di dati relativi alla velocità di avanzamento dell'imbarcazione, al suo numero di matricola e alle sue dimensioni.



Figura 13. Esempio di tracce AIS ricevute il giorno 5 giugno 2017 e filtrate per l'area d'interesse (coordinate 12.0° e 12.7° E; e 45.0° e 45.7° N).

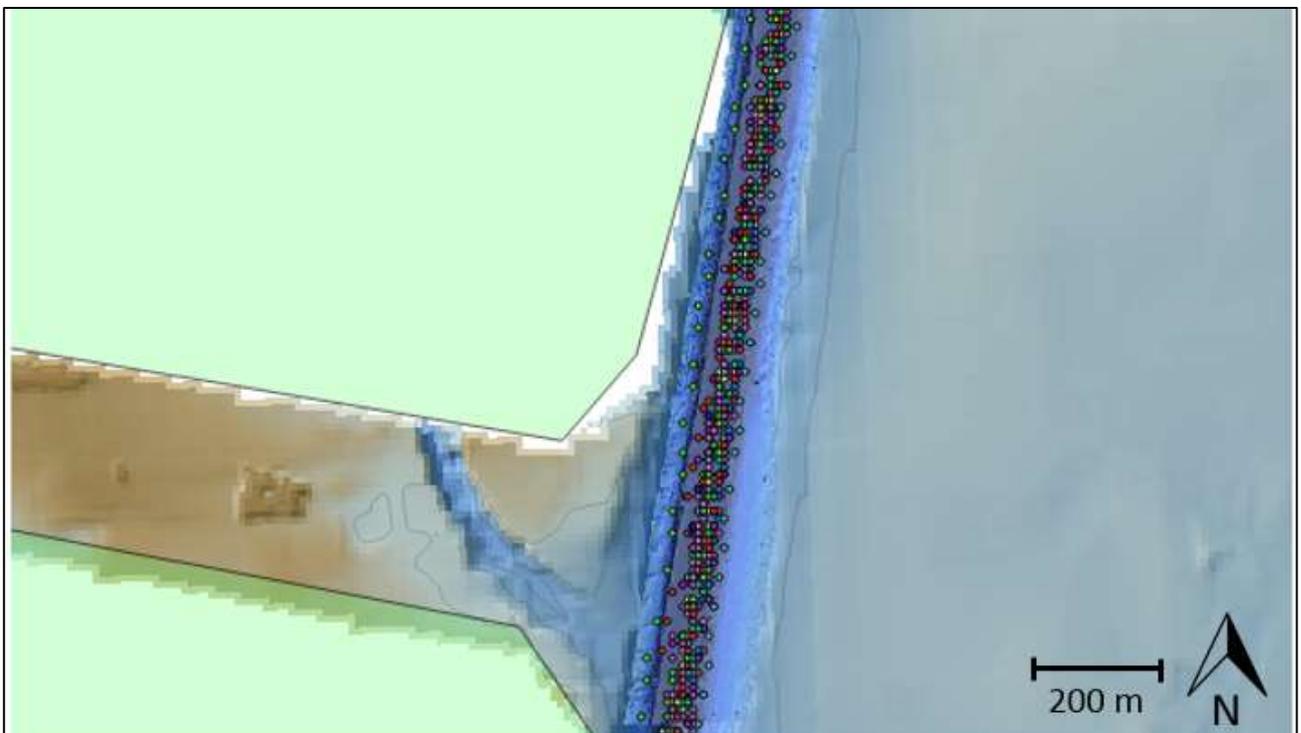


Figura 14. Ingrandimento della sezione di canale nei pressi della Cassa di Colmata B con riportate le posizioni delle trasmissioni del segnale AIS ricevuti nel giorno 5 giugno 2017.

#### 4.1.2 Campagna di monitoraggio navi da crociera luglio 2015

Le indagini sperimentali effettuate nel mese di luglio del 2015 sono parte di un'attività complementare che si è svolta in corrispondenza della festività del Redentore 2015 quando è stato chiuso il Canale della Giudecca (17-20 luglio 2015) con conseguente dirottamento del traffico crocieristico lungo il canale Malamocco-Marghera. Questa variazione è stata ritenuta un'occasione opportuna per programmare una campagna di misura per lo studio delle caratteristiche e della propagazione dell'onda di depressione prodotta dal passaggio delle navi da crociera lungo il Canale Malamocco-Marghera. Per questa campagna di misura si sono installati due campi sperimentali, denominati nel seguito A e B, lungo la via di navigazione.

Il campo sperimentale A (figura 15) è stato scelto su una porzione rettilinea del canale E-W con profondità massima di 17 m per 200 m di larghezza in superficie, e 70 m di larghezza sul fondo della cunetta di navigazione. L'area non è confinata da strutture artificiali o da barene naturali ed è in prossimità di zone di basso fondale relativamente estese e localmente caratterizzate da coperture a fanerogame marine. In prossimità del campo sperimentale descritto sono state posizionate 4 sonde multiparametriche (Ocean Seven CTD, Idronaut) dotate di sensore di pressione e di sensore di torbidità disposte in modo da definire i 4 vertici di un quadrato delimitante l'area di studio ad una profondità di 4 m, ancorate lungo le bricole di delimitazione del canale (punti A-B-C-D in figura 15). Un'altra sonda con le medesime caratteristiche è stata posizionata sul basso fondale adiacente ad una distanza di circa 300 m dal campo sperimentale (punto E in figura 15).

Per acquisire le correnti associate all'onda di depressione generata al transito delle navi, sono stati posizionati anche 3 correntometri elettromagnetici (S4, InterOcean Systems, inc.) (pentagoni arancioni F-G-H in figura 15) in grado di determinare, oltre alle variazioni di livello, anche le velocità di corrente al margine del canale, sulla cunetta e al centro canale. Sono stati inoltre acquisiti dati di velocità e direzione della corrente lungo il profilo verticale in un punto situato sulla scarpata al lato del canale mediante l'utilizzo del correntometro acustico (Workhorse Rio Grande ADCP 1200 kHz, Teledyne RDI) (simbolo a stella rossa in figura 15). Lo schema relativo al posizionamento dei correntometri lungo la sezione del canale nel campo sperimentale A è riportato in figura 16.

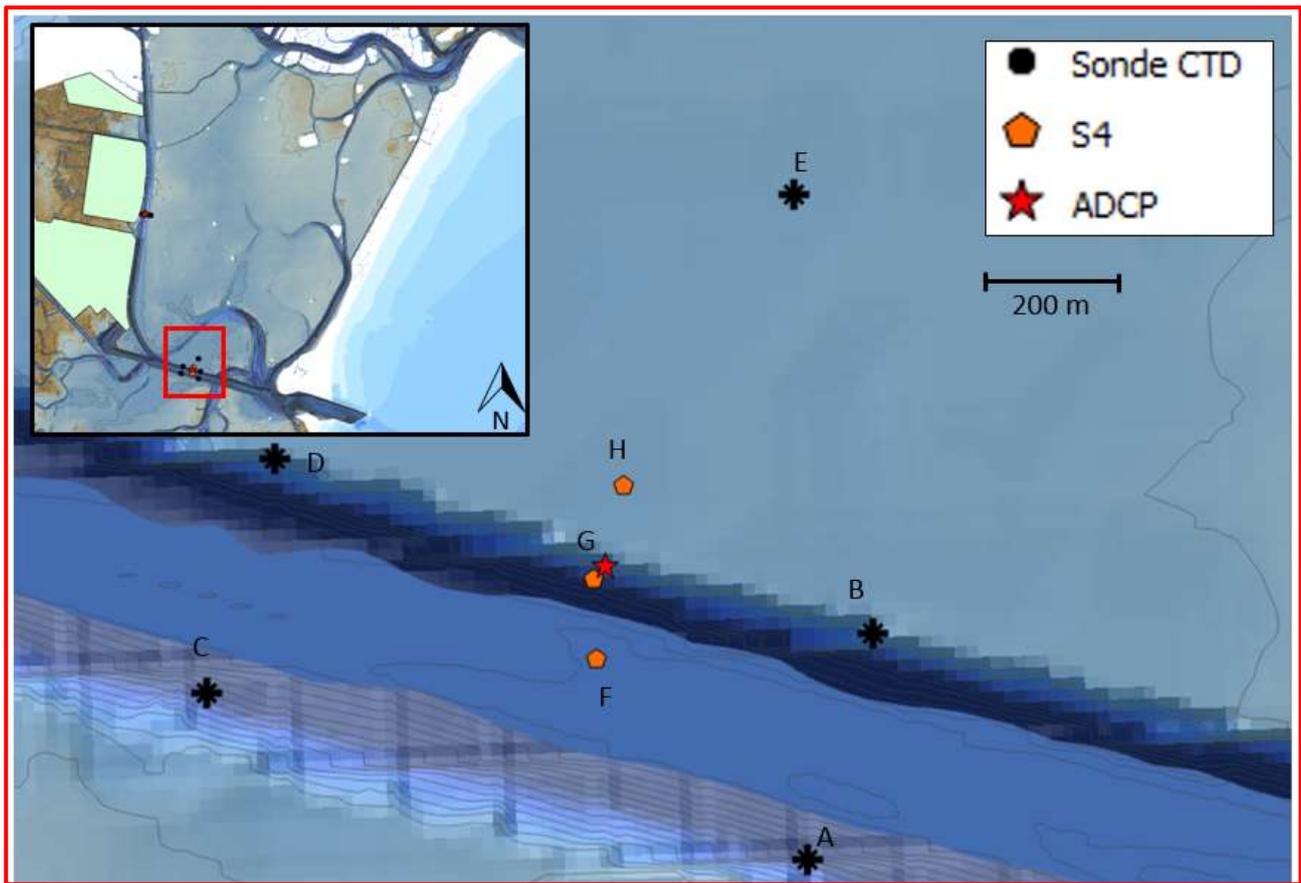


Figura 15. Posizione degli strumenti nel campo sperimentale A nei pressi della bocca di porto di Malamocco.

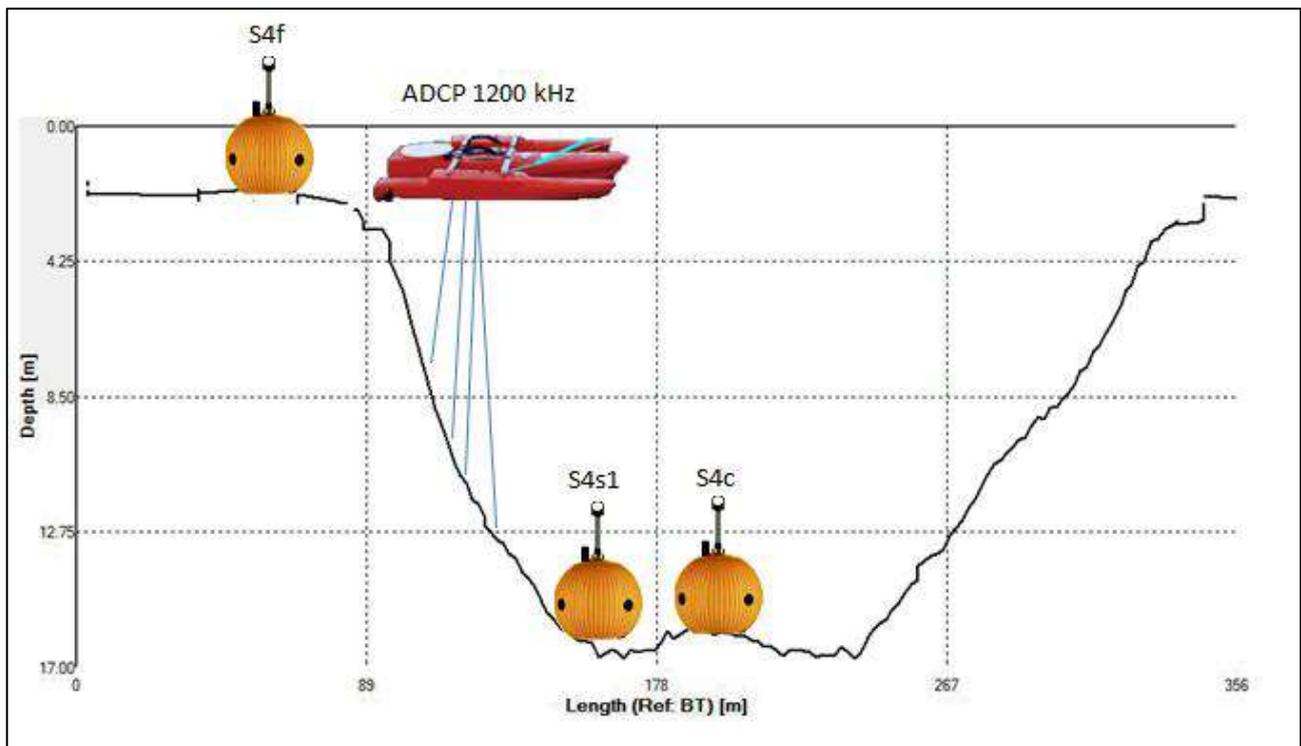


Figura 16. Schema di posizionamento dei correntometri lungo la sezione del canale navigabile (campo sperimentale A) Gli strumenti non sono rappresentati in scala.

Il campo sperimentale B (Figura 17) è stato invece allestito nel tratto N-S del canale Malamocco-Marghera in un segmento rettilineo del canale navigabile di profondità massima di 12 m per 150 m di larghezza, confinato a Ovest dalla Cassa di Colmata B, mentre a Est si estende un'ampia zona di basso fondale. Qui gli strumenti sono stati installati lungo un transetto perpendicolare al canale (figura 17). Le sonde multiparametriche (Ocean Seven CTD, Idronaut Srl), dotate di sensori di pressione e torbidità, sono state collocate ai margini del canale e sull'adiacente basso fondale ad una distanza di circa 200 m dal campo sperimentale (posizioni I-J-K in figura 17) e ad una profondità di circa 2 m. Per le misure di velocità e direzione della corrente si sono utilizzati un correntometro elettromagnetico (S4, InterOcean Systems, inc.) equipaggiato con torbidimetro (pentagono arancione in figura 17) posto ad una profondità di circa 11 m. Sul margine del canale è stato impiegato un correntometro acustico (Workhorse Rio Grande ADCP 600 kHz, Teledyne RDI) montato su natante in acquisizione su un punto fisso sulla scarpata del canale (simbolo stella rossa in figura 17). Lo schema relativo al posizionamento degli strumenti lungo la sezione è riportato in figura 18.

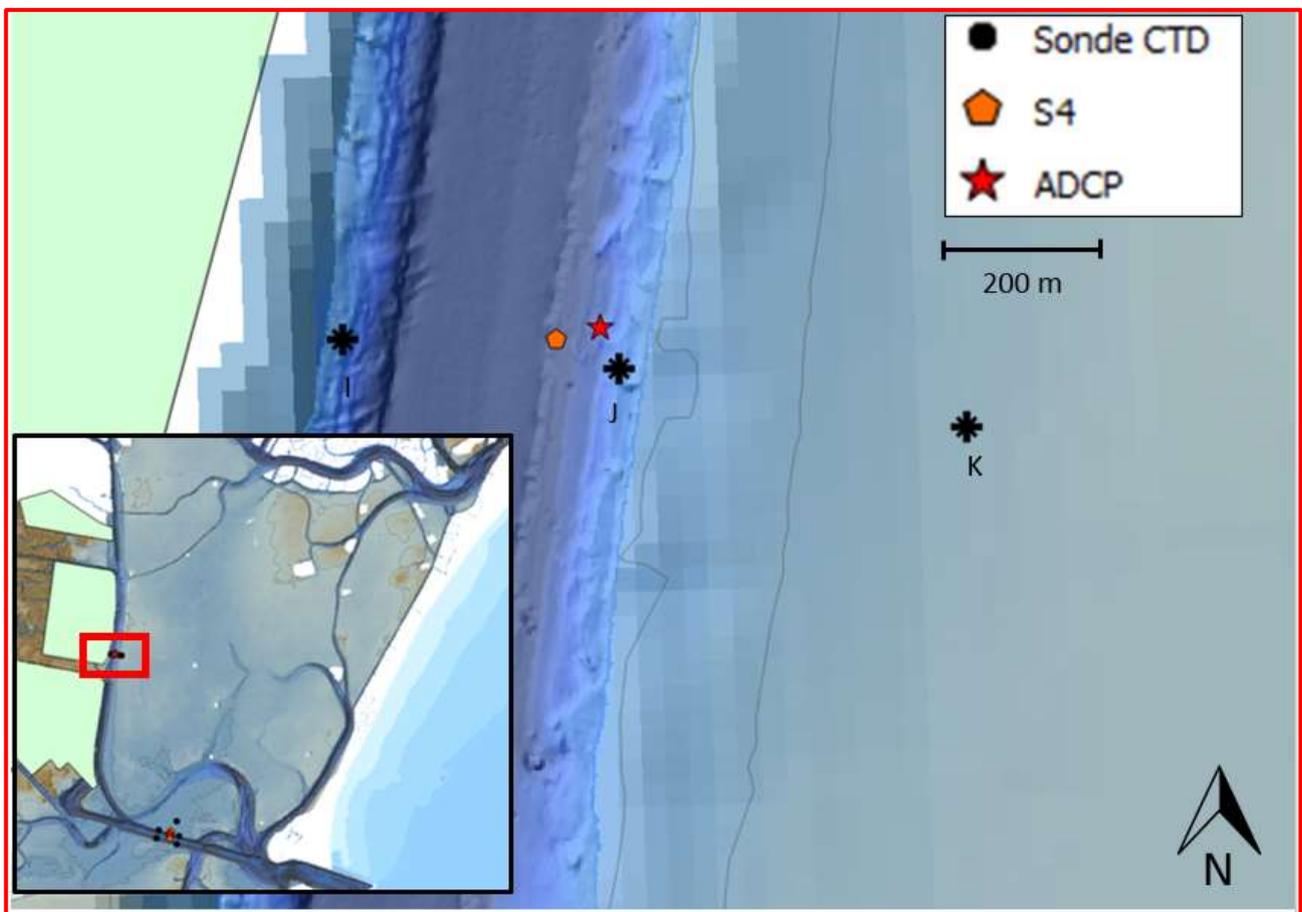


Figura 17. Posizione degli strumenti nel campo sperimentale B nei pressi della Cassa di Colmata B.

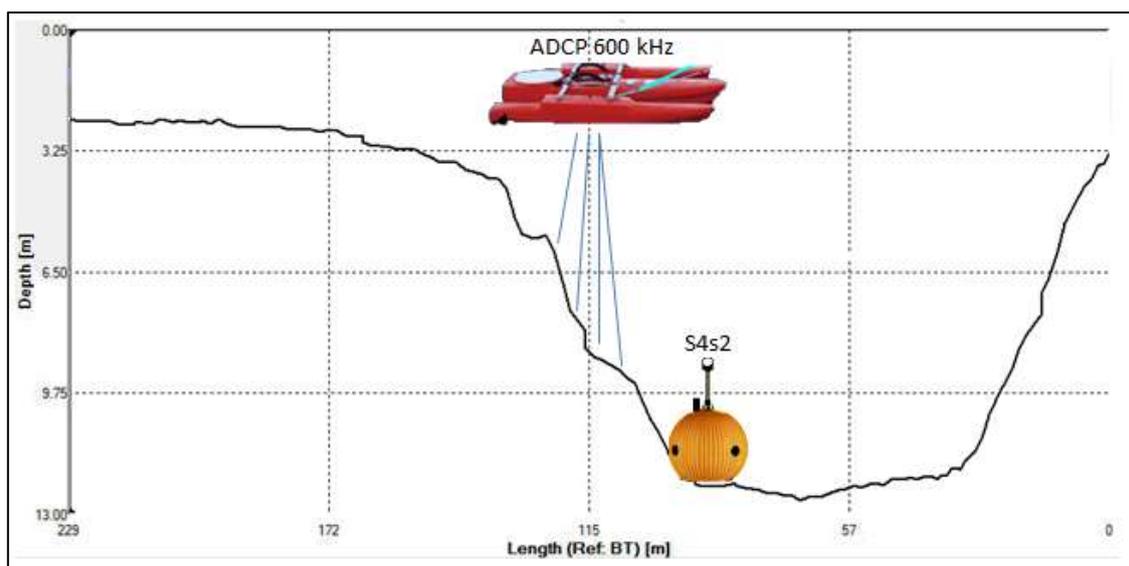


Figura 18. Schema di posizionamento dei correntometri lungo la sezione del canale navigabile (campo sperimentale B).

In tabella 6 si riportano le informazioni relative al posizionamento degli strumenti, nomi delle stazioni, frequenza di acquisizione e parametri acquisiti per entrambi i campi sperimentali.

Tabella 6. Posizionamento degli strumenti, nomi delle stazioni, frequenza di acquisizione e parametri acquisiti nella campagna di misura idrodinamica di luglio 2015.

Strumento	SN	WPT	Lat	Long	Par	Frequenza di campionamento	Note
CTD OS304	048	Bricola 106	45.386361	12.258889	Pressione Torbidità	8 Hz	3 m dalla superficie
CTD OS304	059	Bricola 61	45.386250	12.260361	Pressione Torbidità	8 Hz	3 m dalla superficie
CTD OS304	046	B2	45.386028	12.262222	Pressione Torbidità	8 Hz	1 m dalla superficie
CTD OS304Plus	3510	Meda Rossa	45.344590	12.273380	Pressione Torbidità	Rate 150 ms (6.66 Hz)	3 m dalla superficie
CTD OS304	047	Meda Verde	45.346410	12.274120	Pressione Torbidità	8 Hz	3 m dalla superficie
CTD OS304	282	Palo 7 sx	45.345056	12.280667	Pressione Torbidità	8 Hz	3 m dalla superficie
CTD OS304	045	Palo 7 dx	45.343306	12.279944	Pressione Torbidità	8 Hz	4 m dalla superficie
CTD OS304	050	B1	45.348444	12.279806	Pressione Torbidità	8 Hz	1 m dalla superficie
Correntometro S4	348	S4s2	45.386361	12.260028	Pressione Torbidità Corrente	2 Hz	11 m dalla superficie
Correntometro S4	458	S4s1	45.345472	12.277611	Pressione Torbidità Corrente	5 Hz	11 m dalla superficie
Correntometro S4	231	S4c	45.344861	12.277639	Pressione Corrente	2 Hz	17 m dalla superficie
Correntometro S4	520	S4f	45.346194	12.277944	Pressione Corrente	2 Hz	3 m dalla superficie
Correntometro ADCP 1200 kHz	9110	ADCP_1200 kHz	45.345570	12.277730	Corrente		
Correntometro ADCP 600 kHz	2207	ADCP_600 kHz	45.386404	12.260260	Corrente		

Le caratteristiche delle navi transitate sono poi state estrapolate dai dati AIS acquisiti nei giorni della campagna di misura. Per un'ulteriore verifica sulle dimensioni e le denominazioni delle navi si sono effettuati dei controlli incrociati integrando i dati AIS con i dati riportati dai siti web sul traffico navale quali Marine-Traffic (<https://www.marinetraffic.com>) e Vessel-Finder (<https://www.vesselfinder.com>).

In Tabella 7 si forniscono le caratteristiche delle navi monitorate e gli orari dei transiti durante la campagna sperimentale. Gli orari riportati sono espressi in UTC (Coordinated Universal Time).

Tabella 7. Caratteristiche delle navi monitorate e orari di transito attraverso i campi sperimentali.

Nave	Data	Direzione	Dimensioni Lunghezza (m) x Larghezza (m)	Passaggio campo sperimentale A Ora	Passaggio campo sperimentale B Ora
MSC LIRICA	18/07/2015	Entrata	251 X 29	04:35	04:55
MSC POESIA	18/07/2015	Entrata	294 x 32	04:52	05:26
MSC POESIA	18/07/2015	Uscita	294 x 32	16:22	16:06
MSC LIRICA	18/07/2015	Uscita	251 X 29	17:40	17:19
COSTA DELIZIOSA	19/07/2015	Entrata	294 x 32	04:22	04:28
MSC MAGNIFICA	19/07/2015	Entrata	294 x 32	05:01	05:24
MSC MUSICA	19/07/2015	Entrata	294 x 32	05:16	05:24
MSC MAGNIFICA	19/07/2015	Uscita	294 x 32	16:40	16:22
COSTA DELIZIOSA	19/07/2015	Uscita	294 x 32	17:18	16:59
MSC MUSICA	19/07/2015	Uscita	294 x 32	17:33	17:11

#### 4.1.3 Acquisizioni in continuo delle ampiezze d'onda sul margine canale

Per le misure in continuo delle onde generate dal traffico lungo il canale Malamocco-Marghera si è optato per l'installazione di una stazione fissa di monitoraggio dotata di sensore di pressione (RBR-Instruments, Solo) in corrispondenza della "Bricola n. 61" presso la sponda est del canale Malamocco-Marghera nel tratto N-S. Il sensore di pressione posizionato il giorno 18 marzo 2016 è stato predisposto per acquisire in continuo, alla massima frequenza disponibile, (16 Hz) ed è stato immerso ad una profondità di 4 m mediante un sistema che non consente oscillazioni significative anche in presenza di forti correnti, grazie anche alla ridotta sezione d'ingombro del sensore. Le coordinate della stazione di misura sono 12,260361° E, 45,386250° N.

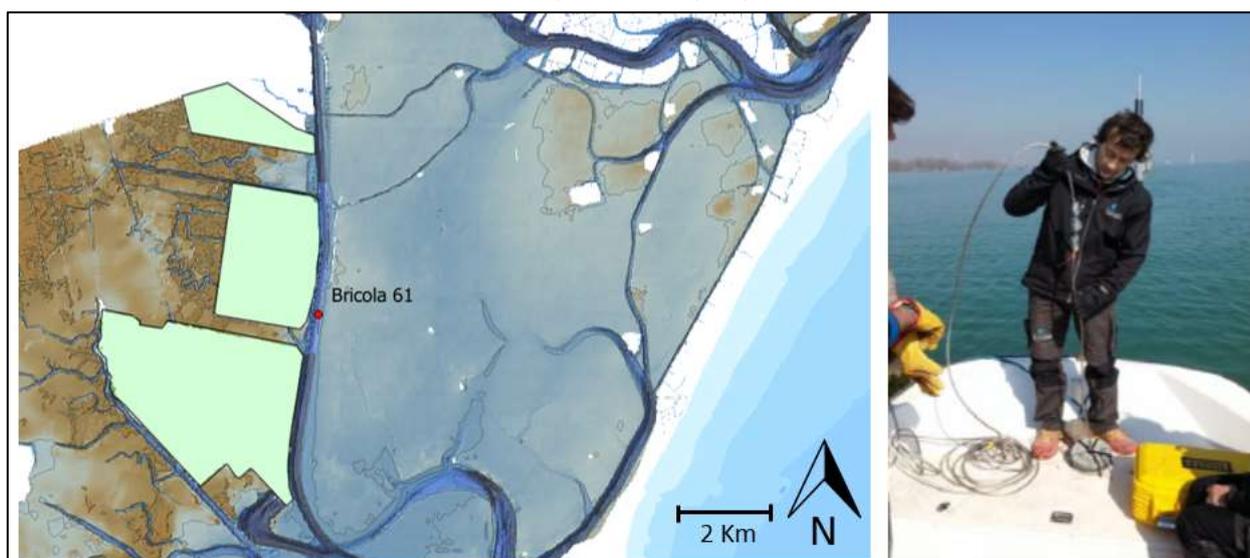


Figura 19. Stazione di acquisizione in continuo delle ampiezze d'onda sul margine canale e operazione di posizionamento dello strumento (destra)

I dati registrati dal sensore di pressione sono stati recuperati settimanalmente, durante le operazioni di download avveniva anche la pulizia dello strumento e il cambio batterie. La stazione di misura è stata mantenuta in questa stessa posizione (figura 19) fino al 2 maggio 2016 per un totale di 45 giorni durante i quali è stata anche attivata l'acquisizione delle informazioni sul traffico attraverso il sistema AIS.

Gli eventi esaminati per questo lavoro sono solo quelli generati da natanti dotati di sistema di trasmissione AIS con invio del segnale in classe A con registrazione dei messaggi AIS di tipo 1 e 5 che comprendono, oltre alla posizione, informazioni su dimensioni, pescaggio e velocità istantanea. Sono stati invece esclusi gli eventi associati ad imbarcazioni ausiliarie come i rimorchiatori, motoscafo piloti, diporto, o di dimensioni trascurabili per gli effetti idrodinamici. In allegato 1 si riporta la serie di dati acquisiti durante l'intero periodo, con associate le informazioni relative alle ampiezze d'onda registrate e le caratteristiche delle imbarcazioni che le hanno generate. Nell'intervallo temporale considerato si sono registrati 615 eventi significativi dei quali 589 sono corredati di tutte le informazioni AIS.

#### 4.1.4 Campagne di misura per la determinazione della propagazione dell'onda sul bassofondo

Durante i 45 giorni di monitoraggio delle altezze d'onda all'interno del canale, si sono effettuate ulteriori 4 campagne sperimentali per la determinazione della propagazione dell'onda di depressione sul bassofondo a est del canale Malamocco-Marghera. Questa attività ha permesso di ottenere una serie di dati relativi alle alterazioni indotte dalla propagazione delle onde (distanza e ampiezza) focalizzando l'attenzione sulle variazioni registrabili nel flusso idrico e nella risospensione di sedimento.

Le 4 campagne si sono svolte nei periodi:

29-31 marzo 2016

6-7 aprile 2016

20-21 aprile 2016

29 aprile – 2 maggio 2016

Durante questi giorni è stato allestito un campo sperimentale disponendo gli strumenti lungo un transetto posto in direzione perpendicolare rispetto al canale di navigazione ed esteso per circa 1600 m sul bassofondo a partire dalla stazione di misura fissa "Bricola 61". In figura 20 è presentato lo schema della posizione degli strumenti, mentre in tabella 8 sono riportate le coordinate delle stazioni e il tipo di strumentazione impiegata. I punti di misura, indicati in Figura 20 con le sigle B2-B7, sono disposti a distanze crescenti dal canale con un'interdistanza pressoché regolare di 250 m. Ogni stazione è stata equipaggiata con sensore di pressione RBR-Solo settato per il campionamento ad una frequenza di 16 Hz, mentre le stazioni con numero pari sono state equipaggiate anche di torbidimetro AQUAlogger, programmato ad una frequenza di acquisizione di 0,2 Hz. Nelle stazioni B2 e B4 sono stati impiegati anche due correntometri elettromagnetici S4 per l'acquisizione dei

valori della velocità e direzione della corrente, della pressione e della torbidità. La frequenza di campionamento di questi strumenti è stata impostata rispettivamente a 2 Hz e 5 Hz. Questi valori sono stati scelti perché i due strumenti hanno frequenze massime di acquisizione diverse e si è preferito avere una frequenza di campionamento più elevata nella parte più interna del basso fondale dove si verificano trasformazioni del fronte posteriore dell'onda che introducono oscillazioni di minor periodo.

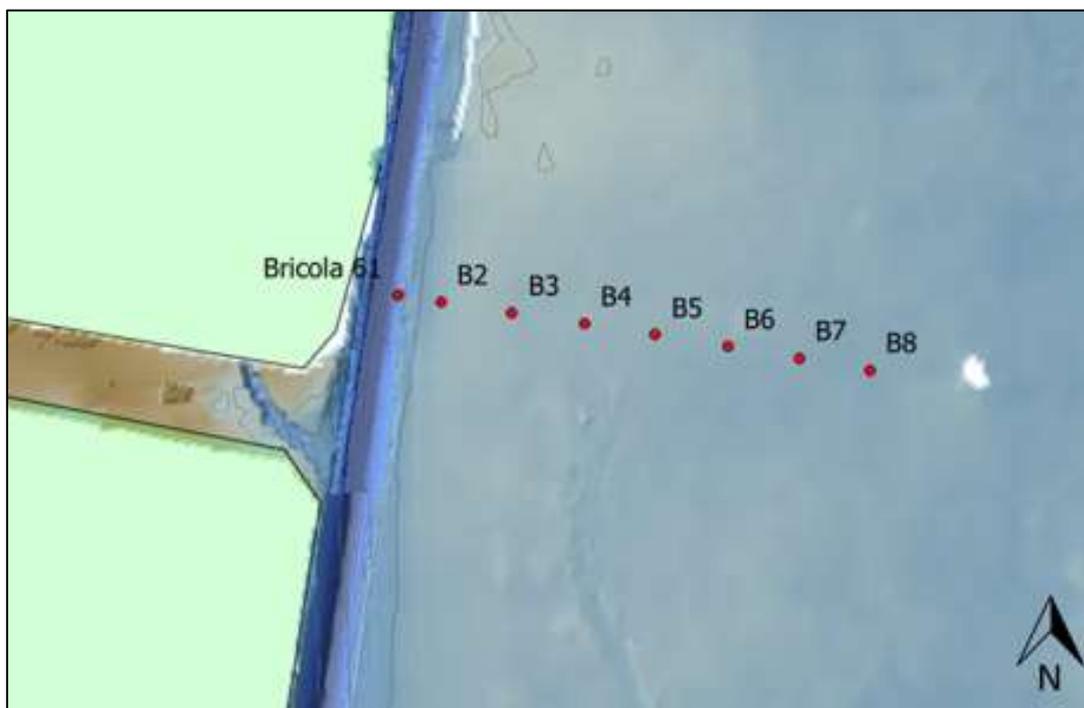


Figura 20. Schema della posizione degli strumenti nelle campagne di misura per la determinazione della propagazione dell'onda sul bassofondo.

Tabella 8. Coordinate delle stazioni e strumentazione impiegata nelle campagne di misura per la determinazione della propagazione dell'onda sul bassofondo.

Stazione	Lat. ° N	Long. ° E	Dist. (m)	S4	Press. Sens.	Torbid.
B2	45.386028	12.262222	150	X	X	X
B3	45.385697	12.265376	400		X	
B4	45.385358	12.268560	650	X	X	X
B5	45.385007	12.271681	900		X	
B6	45.384652	12.274871	1150	X	X	X
B7	45.384289	12.278019	1400		X	
B8	45.383915	12.281129	1650	X	X	X

#### 4.1.5 Campagna di misura Carnival Horizon

Questa campagna di misura è stata fatta in occasione dell'ultimazione e del varo della nuova nave da crociera Carnival Horizon, presso i cantieri navali Fincantieri di Marghera. La nave di nuova costruzione è stata varata nella darsena Fincantieri e ha percorso il canale Malamocco-Marghera il giorno 12 marzo 2018. In questa occasione si sono potuti misurare gli effetti idrodinamici generati dalle onde prodotte da una nave da crociera di grandi dimensioni (324 m di lunghezza x 44 m di larghezza x 8,5 m di pescaggio) lungo questa rotta che abitualmente è percorsa solo da navi commerciali. Il transito di navi di lunghezza superiore ai 300 m lungo il canale Malamocco-Marghera

è piuttosto inusuale pertanto si è ritenuto utile investigare le perturbazioni generate in corrispondenza al passaggio della Carnival Horizon.

Il campo sperimentale allestito ha acquisito dati dal giorno 8 al 13 marzo 2018.

Per questa campagna di misura si è mantenuto invariato il campo sperimentale delle precedenti misure idrodinamiche, tenendo fisse le posizioni corrispondenti alle stazioni “Bricola 61” e stazioni B2-B7. Tutte le stazioni sono state equipaggiate con sensori di pressione RBR SOLO programmati per l’acquisizione ad una frequenza di 16 Hz, mentre le stazioni B2 e B4 sono state anche equipaggiate con torbidimetri AQUA logger programmati per acquisizioni a 0,2 Hz. Gli strumenti sono stati ancorati al fondale per mezzo di piastre di zavorra in cemento sulle quali sono fissate delle barre filettate in acciaio che fungono da supporto per gli strumenti (figura 21).



Figura 21. Strumentazione utilizzata nelle campagne di misura e relativi sistemi di ancoraggio con piastre in cemento e bottiglie in plastica per la segnalazione della posizione.

In tabella 9 sono riportate le coordinate delle stazioni e il tipo di strumentazione impiegata.

Tabella 9. Coordinate delle stazioni e strumentazione impiegata per il monitoraggio della nave Carnival Horizon

Stazione	Lat. ° N	Long. ° E	Dist. (m)	Sensore press.	Torbidimetro
B2	45.386028	12.262222	150	X	X
B3	45.385697	12.265376	400	X	
B4	45.385358	12.268560	650	X	X
B5	45.385007	12.271681	900	X	
B6	45.384652	12.274871	1150	X	
B7	45.384289	12.278019	1400	X	

## 4.2 Campagna di indagine dei sedimenti

Si è ritenuto necessario associare all'indagine idrodinamica relativa ai fenomeni di moto ondoso, anche una caratterizzazione dei sedimenti, in particolare delle proprietà tessiturali per eventuali considerazioni sui fenomeni di trasporto ed erosione.

Fondamentale per questo studio è la caratterizzazione della curva granulometrica dei campioni di sedimento raccolto, che fornisce la stima delle dimensioni medie dei clasti contenuti. Questa caratteristica è utile per stabilire le proprietà dei materiali ai fini dell'erosione ma anche per avere informazioni sulla loro origine ed evoluzione. L'analisi granulometrica dei campioni raccolti permette di determinare la percentuale in volume di ogni classe di dimensioni del campione investigato. Per la caratterizzazione del materiale si utilizza una rappresentazione in 32 classi secondo una progressione di 0,50 ( $\phi$ )  $\Phi$  per un totale di 32 classi comprese tra 0,03  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$ .

La metodologia descritta è stata messa a punto per lo studio di sedimenti fini tipici di lagune e ambienti a bassa energia e prevede le analisi su materiali nei quali si esclude la presenza di una eventuale frazione ruditica (> 2 mm) a seguito di una vagliatura con setaccio a maglia >2mm.

L'area monitorata si trova compresa fra il tratto est-ovest e il tratto nord-sud del canale Malamocco-Marghera e si estende per circa 2,5 km nel bassofondo per una superficie totale di circa 12 km<sup>2</sup> (figura 22).

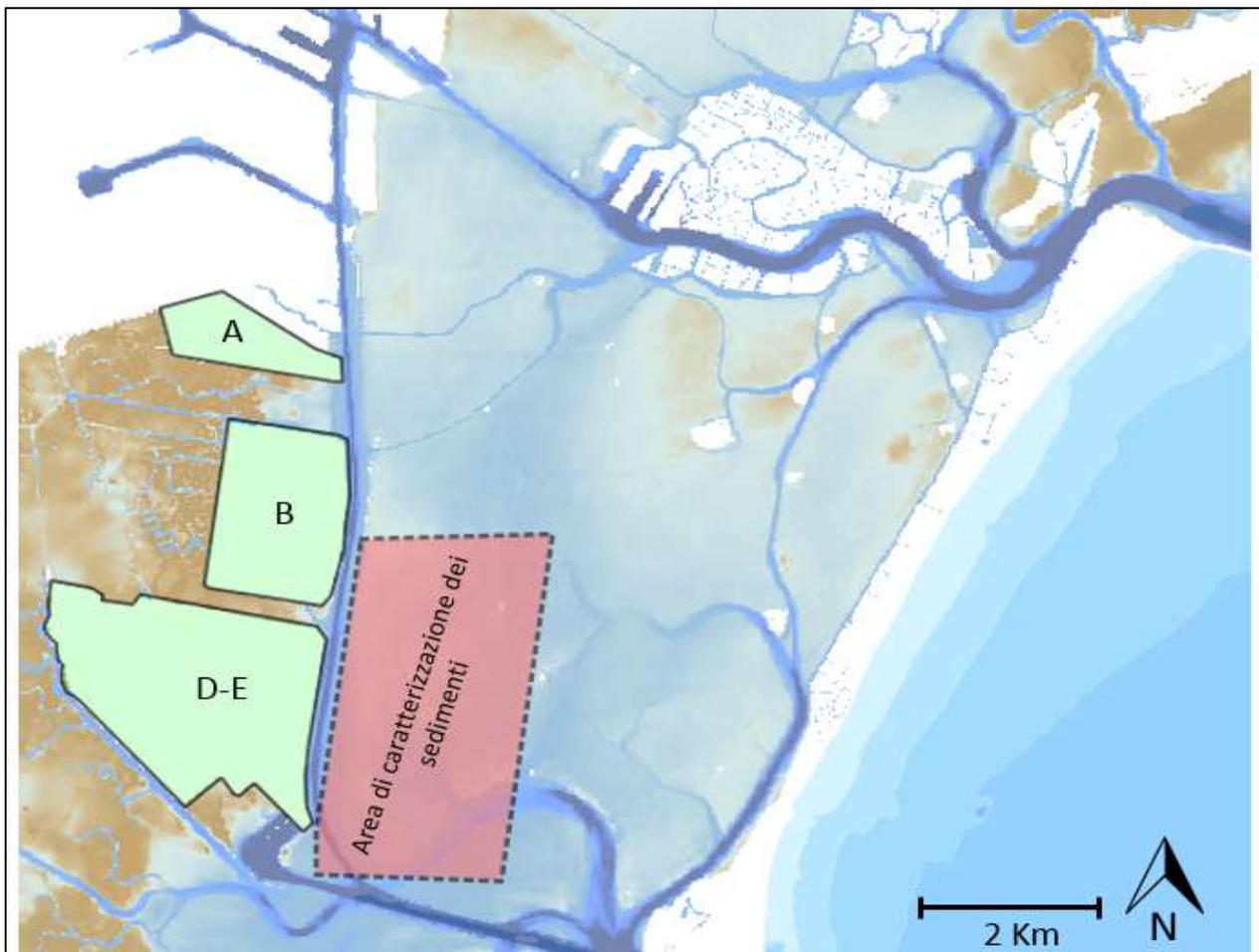


Figura 22. Laguna centrale. in Evidenza l'area indagata per la caratterizzazione dei sedimenti.

Nei giorni 4-6 novembre 2015 sono stati prelevati campioni di sedimenti di fondo, mediante una benna da 5 l, secondo una griglia di punti regolare il cui schema è riportato nella mappa di figura 24. In un sottoinsieme di questi siti, per un totale di 9 (punti in rosso nella figura 24), sono state prelevate delle carote di sedimento con carotatore a pistone per una profondità non superiore ai 50 cm (figura 23).



Figura 23. Carotatore a pistone utilizzato per il campionamento delle carote di sedimento.

Le carote di sedimento raccolte con carotatore e contenute in *liners* di plastica plexiglass sono state studiate con la tecnica della tomografia assiale computerizzata, (TAC) che consente di analizzare in dettaglio le strutture sedimentarie. Tutti i campioni superficiali raccolti sono stati poi trattati per rimuovere il materiale organico presente e in seguito effettuata l'indagine granulometrica (la procedura di analisi viene trattata nel paragrafo 5 "Metodologie di analisi").

In ogni stazione di campionamento dei sedimenti si è misurata, con asta metrica, la profondità annotando ogni volta l'ora in cui veniva effettuata la misura per procedere successivamente con la correzione del dato per il livello di marea.

In alcune stazioni, con maggior visibilità, sono state scattate foto al fondale utilizzando una fotocamera fissata ad un'asta. Questo ha permesso di verificare la presenza di conchiglie o eventuali coperture algali.

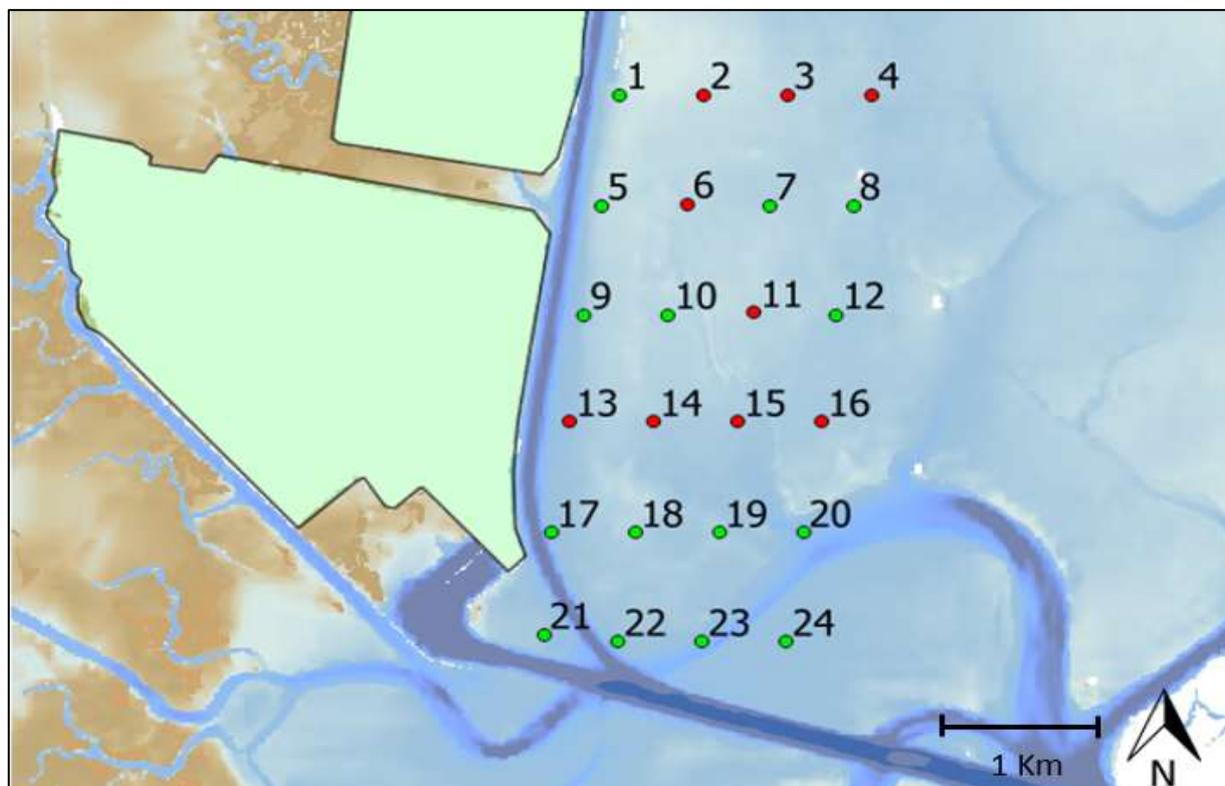


Figura 24. Riportante Localizzazione delle stazioni di campionamento dei sedimenti. Nelle stazioni in rosso sono state eseguite le indagini tomografiche.

Si riporta in tabella 10 la posizione dei punti di campionamento.

Tabella 10. Scheda di campo per le stazioni di campionamento dei sedimenti

stazione	Lat °N	Long °E	ora UTC	marea	profondità	carota	foto
1	45.38964	12.26339	8.26	0.40	1.65		
2	45.38964	12.27115	8.50	0.34	1.45	X	X
3	45.38964	12.27892	9.15	0.32	1.6	X	X
4	45.38964	12.28669	9.26	0.30	1.95	X	X
5	45.38175	12.26166	10.15	0.26	2.1		
6	45.38187	12.2696	9.59	0.28	1.6	X	X
7	45.38175	12.27719	9.44	0.29	1.7		
8	45.38175	12.28496	9.34	0.30	1.7		
9	45.37398	12.2601	10.19	0.26	2.1		
10	45.37398	12.26787	10.30	0.25	1.6		
11	45.3741	12.27582	10.46	0.23	1.75	X	
12	45.37398	12.28341	10.56	0.23	1.95		X
13	45.36633	12.25872	11.30	0.21	2.25	X	
14	45.36633	12.26649	11.26	0.21	1.8	X	
15	45.36633	12.27426	11.19	0.22	1.8	X	X
16	45.36633	12.28203	11.09	0.23	2	X	X
17	45.35844	12.25699	11.44	0.20	2.8		
18	45.35844	12.26476	11.50	0.20	1.65		
19	45.35844	12.27253	11.54	0.20	1.7		
20	45.35844	12.2803	12.00	0.20	3		
21	45.35117	12.25632	13.37	0.18	1.85		
22	45.35067	12.26321	13.35	0.18	2.1		
23	45.35067	12.27098	13.26	0.18	2.95		
24	45.35067	12.27875	13.22	0.18	2.2		X

### 4.3 Indagini morfologiche

Le variazioni morfologiche indotte dalle perturbazioni idrodinamiche generate dal transito di navi ad elevato tonnellaggio sono state indagate concentrando l'attenzione su:

- variazione di profondità dell'area a bassofondo
- modificazioni nella morfologia dei canali di navigazione
- alterazioni nelle forme emerse limitrofe ai canali

#### 4.3.1 Descrizione strumentazione utilizzata

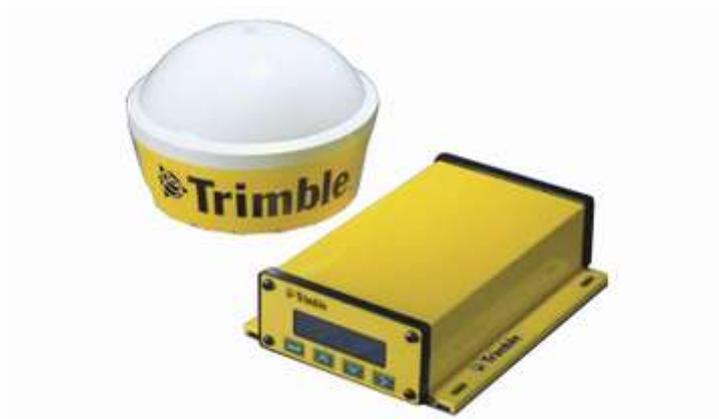
##### 4.3.1.1 ADCP in funzione bottom tracking

Per le indagini morfologiche subacquee è stato utilizzato il profilatore acustico ADCP Teledyne-RDI Workhorse Rio Grande 1200 kHz utilizzato anche per le indagini idrodinamiche. La sua funzione *bottom tracking* è stata utilizzata per l'acquisizione della batimetria in maniera analoga ad un ecoscandaglio *single beam*, con il vantaggio che in questo caso la misura rappresenta la media del

valore misurato dai 4 trasduttori che coprono un angolo di 20° intorno alla verticale. Lo strumento è stato installato a 0,3 m dalla superficie dell'acqua a lato di un'imbarcazione a fondo piatto per la navigazione su bassi fondali. L'accuratezza sulla misura di profondità è di 10 mm e la risoluzione è di 1 mm e lo strumento a 1200 kHz può lavorare in un intervallo di profondità compreso tra 0,5 e 30 m circa. Il trasduttore è montato a 0,3 m dalla superficie dell'acqua.

#### *4.3.1.2 GPS supportato su profilatore acustico*

Interfacciato con l'ADCP è stato utilizzato un ricevitore DGPS Trimble DSM132. Velocità di sincronizzazione 1, 2, 5 e 10 Hz. Velocità differenziale 0,1 nodi (0,1 MPH, 0,16 km/h, 5,6 cm/sec) accuratezza nel posizionamento orizzontale inferiore al metro garantita con una connessione minima a 5 satelliti (figura 25).



*Figura 25. GPS utilizzato per la georeferenziazione dei dati batimetrici acquisiti con ADCP*

#### *4.3.1.3 Aeromobile a pilotaggio remote DJI F450*

Multirottore quadricottero autocostruito con frame da 450 mm fornito di centralina di pilotaggio Naza M DJI e modulo GPS 10 Y. Il mezzo è dotato di trasmettitore dati telemetrici consultabili da uno schermo posizionato sulla stazione a terra. Carrello modificato per il supporto di fotocamera GO PRO 4 Hero Black con sistema di stabilizzazione su tre assi (figura 26).



*Figura 26. Aeromobile a pilotaggio remoto utilizzato per l'acquisizione di immagini aeree georeferenziate ed ortorettificate.*

#### 4.3.2 Determinazione quote batimetriche su basso fondo luglio 2017

Al fine di verificare l'esistenza di possibili fenomeni erosivi in atto e il conseguente approfondimento dell'area a basso fondo, su cui sono state eseguiti i campionamenti di sedimenti, in data 7 luglio 2017 si sono misurate nuovamente le profondità delle 24 stazioni di prelievo, a distanza di due anni dalla prima campagna di misura. Per il posizionamento esatto nei punti utilizzati è stato utilizzato un GPS Garmin GPSmap 276C mentre per la misura della profondità delle stazioni è stata usata la stessa asta metrica utilizzata per la campagna di novembre 2015. Anche in questo caso ad ogni lettura di profondità è stato associato l'orario di acquisizione del dato in modo tale da poter poi correggere le letture effettuate con la misura di marea.

#### 4.3.3 Determinazione morfologica subacquea con ADCP dei canali di navigazione

Una serie di acquisizioni con profilatore acustico ADCP sono state eseguite con lo scopo di monitorare eventuali variazioni morfologiche subacquee osservabili all'interno di canali percorsi/transitati da navi di grandi dimensioni. Utilizzando la funzione bottom tracking dell'ADCP, sono stati acquisiti i profili batimetrici trasversali di alcuni transetti di canale ritenuti significativi, che sono poi stati monitorati nel tempo. I transetti considerati riguardano sia il canale Malamocco-Marghera percorso da navi mercantili che il canale di Lido percorso da navi da crociera.

Il lavoro è stato suddiviso in due campagne di misura, la prima effettuata il 29 settembre 2015 e la seconda il 20 giugno 2017, come replica delle indagini sulle stesse postazioni. Si ritiene che un periodo ravvicinato di due anni, sia sufficiente per l'osservazione di fenomeni di erosione al fondo generati da perturbazioni idrodinamiche consistenti quali quelle create al transito di navi di grandi dimensioni.

Unitamente alla funzione bottom tracking dell'ADCP montato su natante, si è utilizzato un GPS (Trimble DSM132 DGPS Receiver) per il controllo del tracciato di acquisizione in entrambe le campagne. Ad ogni transetto acquisito è stato poi associato un orario preciso utilizzato per la correzione dei dati con il livello di marea. I transetti acquisiti sono riportati in figura 27.

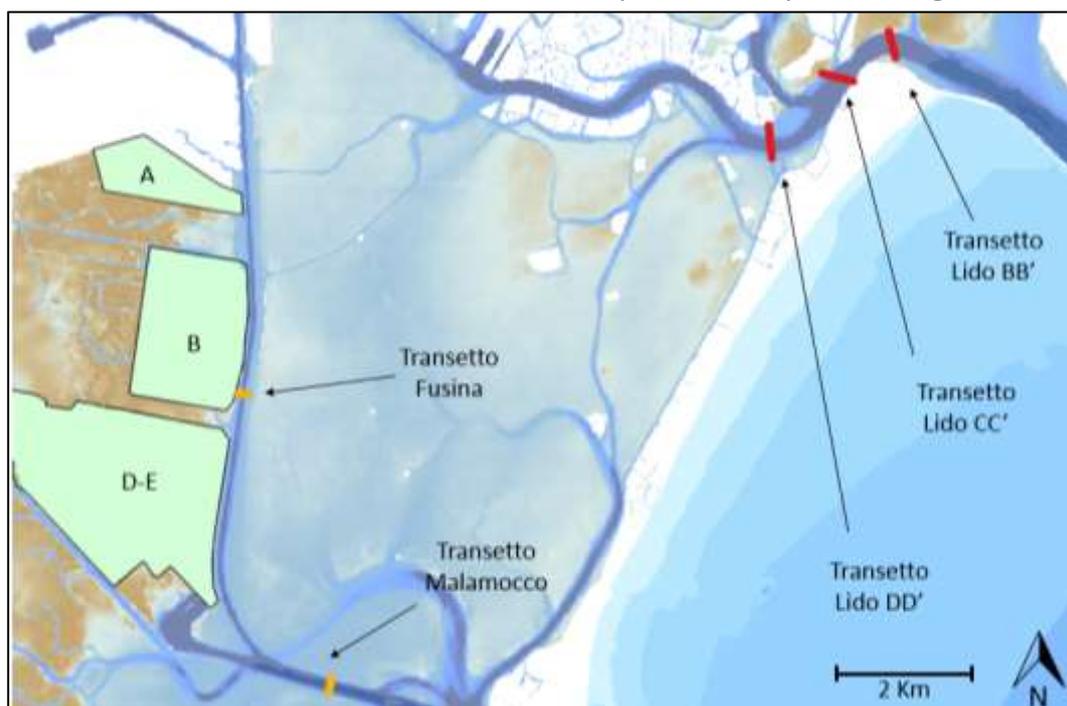


Figura 27. Posizione dei transetti trasversali ai canali di navigazione di cui si è acquisito il profilo batimetrico.

#### 4.3.4 Indagine morfologica dell'arretramento della cassa di colmata B

Le valutazioni sull'evoluzione morfologica ai margini della cassa di colmata B effettuate da Gionta (2014), che ha effettuato misurazioni periodiche da aprile 2014 fino a gennaio 2015, hanno rivelato consistenti fenomeni di erosione. Si è deciso pertanto di proseguire le indagini nell'ambito di questo studio ed approfondire la ricerca rielaborando ed integrando le informazioni di Gionta (2014) con ulteriori riscontri. Il lavoro è stato quindi implementato con nuove acquisizioni della linea di costa effettuate da CNR-ISMAR per la determinazione della regressione. Sono state ripetute sette misure nell'arco di tempo indicato per una miglior comprensione delle trasformazioni che attualmente avvengono lungo il canale di navigazione Malamocco-Marghera. A questa indagine sono state affiancate ulteriori misure di arretramento ottenute grazie ad elaborazioni effettuate in ambiente GIS a seguito di un processo di georeferenziazione di immagini aeree storiche che ha permesso di monitorare la variazione della linea di costa nel tempo.

Una sonda multiparametrica (Ocean Seven CTD, Idronaut Srl) in acquisizione a 5Hz, e un sensore di pressione (RBR SOLO) in acquisizione ad una frequenza di 2Hz sono stati posizionati nella parte nord della cassa di colmata B nell'area a basso fondale compresa tra il margine della cassa e il canale Malamocco-Marghera (quadrato e simboli gialli in figura 28) per descrivere la forma delle onde di depressione generate nell'area. A queste informazioni sono poi stati associati i dati ottenuti a seguito di un'indagine batimetrica condotta nell'area di basso fondale antistante la cassa di colmata B con ADCP (Teledyne-RDI Workhorse Rio Grande 1200 kHz) montato su imbarcazione a fondo piatto che ha navigato e raccolto dati batimetrici fino ad una profondità minima di 0,5 m dalla superficie. I dati sono poi stati georeferenziati con il GPS in dotazione su ADCP e corretti per il livello di marea. A supporto di queste informazioni durante la campagna di misura sono state acquisite immagini aeree ad una quota di 70 m per mezzo di un aeromobile a pilotaggio remoto.



Figura 28. Schema di campionamento. Con linee bianche tratteggiate si riportano le XV stazioni di controllo utilizzate per la valutazione dell'arretramento della linea di costa. In rosso i punti di campionamento dei sedimenti lungo la scarpata di erosione. In giallo la posizione degli strumenti per le misure idrodinamiche.

#### 4.3.5 Indagine fotogrammetrica su Cassa di colmata A

Come ultimo rilievo dell'area del canale Malamocco-Marghera si è indagata la cassa di colmata A situata a nord della cassa B. Il margine di questa risulta estremamente alterato rispetto alle condizioni iniziali dopo la realizzazione del progetto. Da una prima analisi in GIS dei dati storici dell'area, si è evidenziata l'estrema dinamicità delle zone, si è quindi pensato di sperimentare un metodo per la stima dell'erosione che permettesse di tracciare le variazioni della linea di costa nell'ordine di 5/6 metri/anno.

Essendo la disponibilità delle foto satellitari non così elevata da garantire una sufficiente risoluzione temporale delle immagini si è deciso di effettuare delle campagne di acquisizione di foto aeree per mezzo di aeromobile a pilotaggio remoto (drone).

Le campagne, che si sono ripetute nel mese di ottobre 2016 e giugno 2017, hanno consentito di acquisire numerose foto aeree. Le foto sono state scattate da una fotocamera GOPRO HERO 4 Black mantenuta fissa ad un angolo di 90° con il terreno da uno stabilizzatore a tre assi. La quota di volo è stata fissata a 40 metri ed è stata scattata una foto ogni 4 metri di spostamento sugli assi X e Y. Sono stati individuati dei punti di controllo a terra riconoscibili nelle immagini aeree la cui altezza e coordinate risultavano note. Ad ogni foto, il GPS, di cui è dotato il mezzo, ha associato le coordinate di scatto e l'altezza di volo. Lo scopo di questa campagna di misura è quello di determinare in modo accurato l'arretramento della linea di costa della cassa A su un periodo breve e attraverso il processo fotogrammetrico con procedura *Structure From Motion*, la creazione di un modello digitale di elevazione per l'area. Per quanto riguarda invece la parte sommersa compresa tra la cassa e il canale di navigazione, si è effettuata un'indagine con ADCP in funzione Bottom Tracking per conoscere la batimetria dell'area come si era fatto per la campagna di misura sulla cassa di colmata B.

## 5 Metodologie di analisi

Le analisi di laboratorio condotte per questo studio sono prevalentemente volte alla caratterizzazione sedimentologica dei sedimenti di fondo. Queste riguardano una serie di procedure standardizzate che sono state compiute sui campioni raccolti al fine di essere replicabili e confrontabili secondo procedure ben definite che verranno descritte nei prossimi paragrafi. Tutti i campioni di sedimento prelevati durante le varie campagne sono stati sottoposti a trattamento ed analisi granulometrica con granulometro laser, mentre un sottoinsieme di questi è stato inoltre indagato con la tecnica della tomografia assiale e successivamente datato con tecniche spettrografiche.

### 5.1 Trattamento campioni per indagini granulometriche

Immediatamente dopo la raccolta i campioni sono stati conservati in frigorifero al buio ad una temperatura di 4°C. I campioni sono stati quartati e successivamente analizzati con il granulometro laser. Un'aliquota di circa 70 g è stata setacciata ad umido, con acqua distillata su setaccio con maglia da 2 mm. Questa procedura è necessaria per la rimozione di eventuali residui di grandi dimensioni quali gusci e frammenti di organismi, alghe e detrito vegetale. Il materiale setacciato è stato fatto decantare all'interno di un Beaker da 1000 ml dopodiché è stata eliminata l'acqua in eccesso con una pompa a sifone facendo attenzione nella fase finale a non aspirare il materiale dal fondo del Beaker. A questo punto l'aliquota di campione setacciato e sedimentato al fondo è stata

lavata con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 20 volumi per l'eliminazione di eventuale materiale organico. Questa operazione è stata ripetuta per varie volte fino alla totale rimozione. La rimozione pressoché totale del materiale organico la si osserva in quanto nel campione non è più visibile alcun tipo di effervescenza associata alla reazione dell'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con la materia organica. In seguito, il campione è stato lavato con H<sub>2</sub>O distillata e quindi asciugato in stufa a 40°C. Il materiale essiccato, raccolto dal Beaker e disgregato in un mortaio è stato poi sottoposto ad analisi.

Per l'analisi granulometrica, un'aliquota del materiale trattato viene posta all'interno dell'unità di dispersione a umido Hydro EV del granulometro laser dove prima della lettura viene sottoposta a trattamento con gli ultrasuoni. Questa operazione è utile per prevenire la formazione di aggregati tra le particelle disperse e l'intrappolamento di microbolle d'aria aderenti alle particelle e in grado di influenzare la determinazione. Precedenti esperienze, hanno dimostrato che per campioni simili a quelli in esame è necessaria e sufficiente una sonicazione pari a 2 minuti; se sedimenti simili vengono sottoposti a ultrasuoni per un tempo più prolungato, il rischio è che le particelle meno resistenti si disgreghino.

Prima di avviare le letture, occorre inizializzare lo strumento (funzione automatica che consiste nell'allineamento dei sensori) e determinare lo spettro di background dell'acqua distillata in uso. Durante queste operazioni e per tutta la durata della lettura, l'unità di dispersione dello strumento mantiene in agitazione il mezzo disperdente ad una velocità di 60-70 giri/s in modo che nella cella di misurazione arrivi sempre sedimento mescolato. Nell'inserire il campione nell'unità di dispersione dello strumento è fondamentale fare attenzione al valore di opacità, espresso in percentuale, riportato nel pannello di interfaccia sul computer. Nel nostro caso l'opacità della cella deve rientrare nell'intervallo 3% - 5%. L'opacità della soluzione contenente il campione, è un indice della quantità di sedimento inserito nell'unità di dispersione, e il monitoraggio di questo parametro è pertanto un'operazione fondamentale per garantire la corretta quantità di campione che deve essere aggiunta al sistema di misura.

## 5.2 Determinazioni granulometriche

Per la determinazione della distribuzione granulometrica in questo studio è stato utilizzato il granulometro laser Mastersizer 3000 prodotto da Malvern Instruments, UK. Lo strumento utilizza il principio della diffrazione laser per il quale le particelle di campione sospese in acqua all'interno di una cella trasparente e colpite da un fascio laser diffrangono la luce ad angoli correlati alla loro dimensione (Sommerfeld, 1954). Grazie all'utilizzo di due laser che lavorano a diverse lunghezze d'onda, il granulometro laser Mastersizer 3000 è in grado di analizzare campioni compresi in un range dimensionale da 0,01 µm a 3500 µm (10 nm – 3,5 mm).

In una misurazione a diffrazione laser, un campione disperso viene fatto fluire in una cella attraversata da un fascio laser, e ne viene misurata la variazione angolare dell'intensità della luce diffusa. Le particelle più grandi diffondono la luce ad angoli di riflessione minori, mentre le particelle di dimensioni più piccole la diffondono ad angoli maggiori (figura 29).

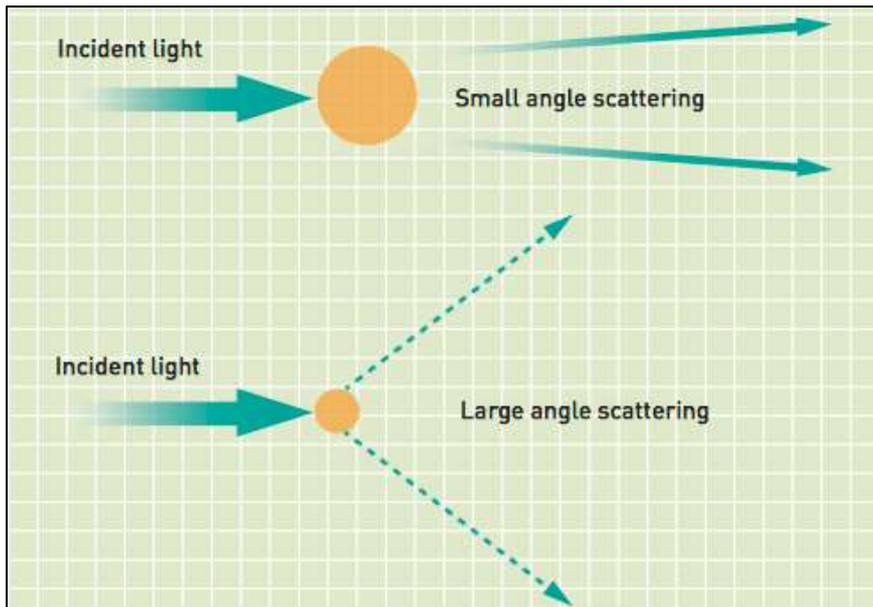


Figura 29. Rappresentazione della diffrazione del fascio laser per particelle di diverso diametro. (Immagine da Malvern.com)

La dimensione delle particelle viene determinata poi utilizzando la teoria di Mie (G. Mie, 1908) sulla dispersione della luce (figura 30).

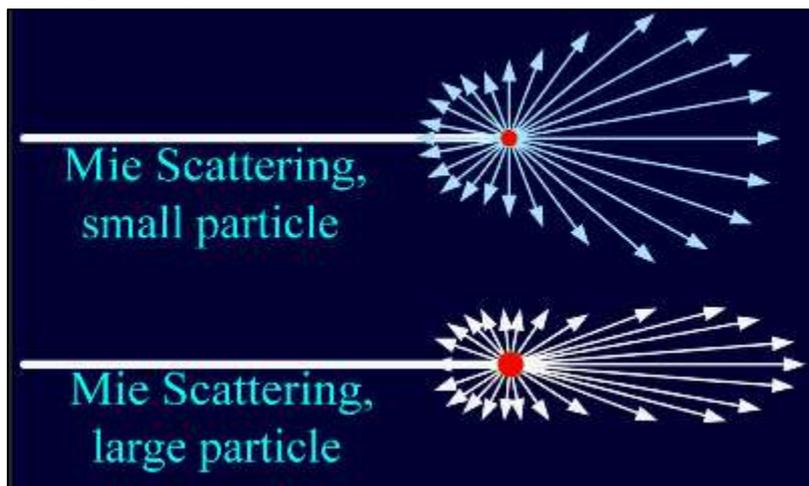


Figura 30. Diffusione della luce secondo la teoria di Mie per particelle di piccole dimensioni (in alto) e particelle di grandi dimensioni (in basso). (Immagine da Malvern.com)

Per questo studio è stata applicata un'approssimazione di questa teoria nota come "approssimazione di Fraunhofer" assumendo che:

- Le particelle da misurare siano equivalenti a dischi opachi (non trasmettono luce)
- La luce venga diffusa solo ad angoli stretti
- Le particelle di tutte le dimensioni diffondano la luce con la stessa efficienza
- Le particelle siano molto più grandi della lunghezza d'onda della luce impiegata

Gli elementi principali che compongono il granulometro laser utilizzato sono 4:

**1) Unità ottica:** Trasmette il fascio laser attraverso un campione disperso, e utilizza dei rivelatori per misurare l'intensità della luce diffusa dalle particelle nel campione per entrambe le lunghezze

d'onda di luce rossa e blu su una vasta gamma di angoli. La luce blu permette una migliore risoluzione nelle misurazioni delle particelle con dimensione minore di 1 micron.

**2) Unità di dispersione del campione:** unità a umido, controlla la dispersione di un campione sospeso in un liquido (utilizzata per questo studio con acqua MilliQ)

**3) Cella di misurazione:** È l'interfaccia tra l'unità ottica e l'unità di dispersione. Il campione viene indirizzato attraverso finestre di misura nella cella in modo che il fascio laser possa passare attraverso di esso al fine di effettuare una misurazione.

**4) Software dello strumento:** Il software Mastersizer 3000 controlla il sistema durante il processo di misurazione e analizza i dati di diffrazione per calcolare la distribuzione di dimensione delle particelle. Fornisce inoltre un feedback immediato durante l'analisi.

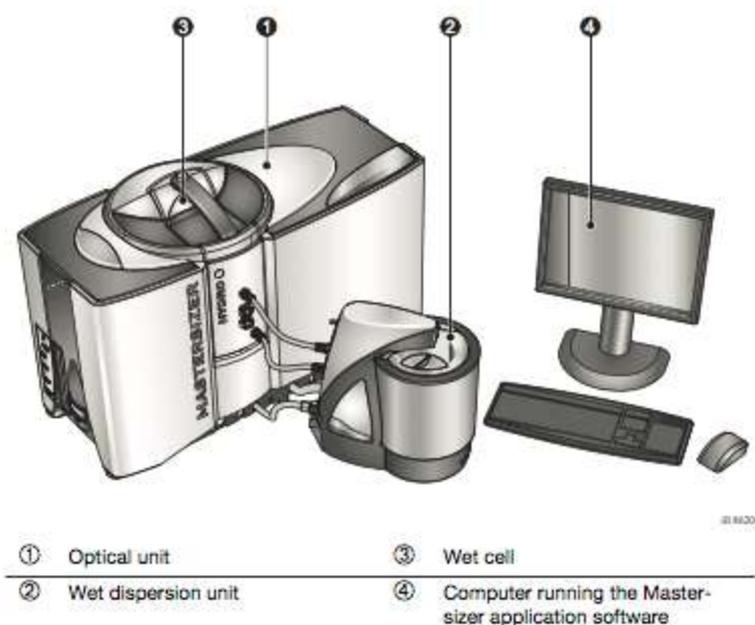


Figura 31. Componenti principali costituenti lo strumento Mastersizer 3000. (Immagine da Malvern.com)

### 5.3 Tomografia assiale su carote di sedimento (TAC)

Le carote di sedimento raccolte durante la campagna di indagine di novembre 2015, contenute in *liners* acrilici (figura 32) sono state analizzate con la metodologia TAC a pochi giorni dall'estrazione. Dal momento dell'estrazione fino all'analisi le carote di sedimento sono state conservate al buio e a temperatura di 5 C° per evitare alterazioni.



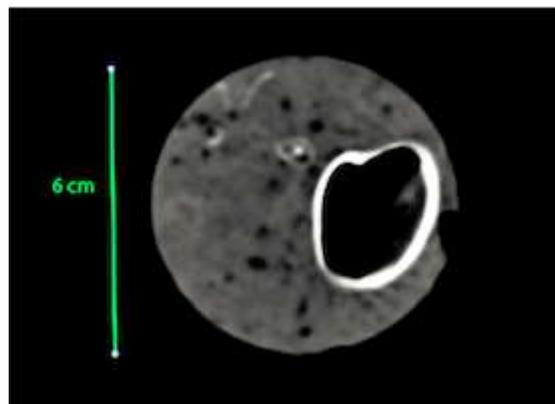
Figura 32. Carota di sedimento estratta con carotatore a pistone e contenuta in liner acrilico.

La tomografia assiale computerizzata è un metodo innovativo non invasivo introdotto nel 1973 che, a differenza della tomografia a raggi X, permette l'indagine della struttura interna del campione di sedimento raccolto con una visione sia longitudinale che trasversale garantendo una maggiore risoluzione spaziale (Duliu, 1999). Questa metodologia permette di riconoscere strutture sedimentarie interne, (Watson and Mudra, 1991), di valutare proprietà fisiche del materiale quali porosità, densità (Wellington and Vinegar 1987), permeabilità del suolo e mineralogia (Withjack 1987, Hunt et al.1988) e facilita inoltre, la visualizzazione di eventuali zone di frattura ed evidenzia processi di trasporto o variazioni climatiche.

Il tomografo utilizzato, in dotazione all'ospedale San Camillo di Lido di Venezia, appartiene alla generazione dei più recenti tomografi spiroidei, che grazie ad un sistema di posizionamento innovativo compiono una rotazione attorno al campione in più o meno un secondo e consentono un'acquisizione completa di una carota di sedimento da 1,5 m in 40 secondi. Il campione da analizzare viene posto tra un emettitore di raggi ionizzanti e un rivelatore che trasforma l'energia radiante del fascio di raggi X in un impulso elettrico misurabile. Durante l'analisi il campione è analizzato in progressione e suddiviso in layers. Uno strato infinitesimo di campione viene attraversato da un fascio di raggi X in molteplici direzioni, l'assorbimento del segnale viene registrato su dei rilevatori che determinano il segnale nelle diverse traiettorie. L'energia radiante rivelata, come impulso elettrico, viene processata attraverso l'utilizzo di un computer, che ricostruisce le immagini delle strutture interne che formano lo strato del campione.

Questo permette quindi di ottenere informazioni relative all'assorbimento localizzate su tutta la superficie di ogni singolo strato ricreando un'immagine la cui tonalità di grigio è proporzionale al corrispondente valore numerico del coefficiente di attenuazione (figura 33).

Le aree a tonalità più chiara o più scura rappresentano, rispettivamente, maggiore e minore attenuazione. L'output è quindi funzione della densità di massa del campione (McCullough 1975).



*Figura 33. Sezione trasversale di campione di sedimento ottenuta tramite tomografia computerizzata. Le aree caratterizzate da coefficiente di attenuazione maggiore sono rappresentate da una tonalità di grigio più chiara (si può distinguere un guscio di conchiglia), mentre con tonalità più scure vengono rappresentati i materiali con coefficiente di attenuazione minore. Immagine prodotta utilizzando il software Osirix.*

L'output che si ottiene da una analisi tomografica è fornito in file DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medicine), ovvero immagini rasterizzate che vengono generalmente utilizzate per comunicazioni digitali in medicina. Si tratta di uno standard che definisce i criteri per la comunicazione, la visualizzazione, l'archiviazione e la stampa di informazioni di tipo biomedico quali ad esempio immagini radiologiche. La descrizione dell'estrazione dei dati e la loro elaborazione è riportata in seguito nel paragrafo 6.6 "Elaborazione dati tomografici".

#### 5.4 Apertura delle carote

Dopo aver fatto le analisi tomografiche alle carote di sedimento contenute nei *liners* è possibile aprire le carote per procedere al subcampionamento ed effettuare le analisi granulometriche dei vari strati. Questo permette di associare ai valori di assorbimento tomografico registrati, le caratteristiche granulometriche dei vari subcampioni. Per eseguire le analisi dei vari livelli è stato necessario procedere con il taglio dei *liners* in plastica e sezionare in due metà il sedimento contenuto.

La carota di sedimento contenuta nel *liner* è stata posizionata su un supporto appositamente costruito per permettere un taglio longitudinale rettilineo al centro del campione (figura 34).



Figura 34. Operazione di apertura carota con seghetto vibrante su supporto per il taglio longitudinale.

Con l'ausilio di un seghetto vibrante, è stato tagliato il *liner* in plastica procedendo con un taglio parallelo al piano orizzontale. Per eseguire un taglio netto del sedimento interno, è stato fatto passare del filo in Nylon attraverso i tagli effettuati nell'involucro in plastica. In questo modo è stato possibile aprire la carota longitudinalmente in due metà e prelevare le aliquote di campione necessarie per le analisi granulometriche (figura 35).



Figura 35. Carota aperta longitudinalmente

I campioni prelevati sono stati inoltre pesati con una bilancia analitica, essiccati in stufa a 105°C per una notte e ripesati in modo da ottenere la percentuale d'acqua sul peso totale per differenza tra le due pesate.

### 5.5 Datazione carota stazione 2 Fusina

L'analisi tomografica effettuata sulle carote di sedimento analizzate ha permesso l'osservazione delle strutture morfologiche interne ai campioni. Vista la particolare struttura evidenziata nella stazione 2, si è deciso di effettuare una analisi radiometrica del *liner* prelevato in questa stazione per permetterne la ricostruzione cronostratigrafica. Per la datazione della carota è stato utilizzato il metodo della spettrometria alfa per il  $^{210}\text{Pb}$  e spettrometria gamma per il  $^{137}\text{Cs}$ . Questo tipo di analisi è stato effettuato sei mesi dopo la raccolta del sedimento che, fino alla data di analisi, è stato conservato al buio in frigorifero a 4°C. Le tecniche di spettrometria alfa hanno l'obiettivo di determinare l'attività per unità di massa dei radioisotopi  $\alpha$ -emettitori presenti in campioni di sedimento. L'obiettivo della misura può essere raggiunto mediante la misura diretta delle particelle alfa, oppure determinando la massa dell'elemento di interesse per unità di massa del campione. Ciascun isotopo radioattivo è caratterizzato da un determinato valore del tempo di dimezzamento, che rappresenta il tempo necessario perché una certa massa di un isotopo radioattivo si riduca a metà. In base al rapporto tra la quantità di un elemento radioattivo ancora presente in una roccia e la quantità di elemento stabile (risultante dal decadimento del primo), si può, conoscendo il tempo di dimezzamento, risalire, con opportune formule, all'età del sedimento. Se questa lettura viene ripetuta a differenti quote della carota raccolta è possibile ottenere da questa una sequenza cronostratigrafica. Nella carota 2 che si è scelto di analizzare sono stati determinati i radioisotopi del  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{137}\text{Cs}$ .

#### $^{210}\text{Pb}$

Il  $^{210}\text{Pb}$  è un importante strumento per la datazione dei sedimenti e la stima dell'accumulo di massa sedimentaria. È uno dei radioisotopi più studiati per ricostruire le cronologie dei sedimenti. Il suo tempo di emivita è di 22,3 anni e fornisce un metodo capace di risoluzioni temporali di un arco di tempo di circa 100 -150 anni negli ambienti lacustri e marini.

Il  $^{210}\text{Pb}$  è un radionuclide naturale appartenente alla serie di decadimento del  $^{238}\text{U}$  ( $t_{1/2} = 4,47 \times 10^9$  yr) che termina con l'elemento stabile  $^{206}\text{Pb}$ . L'attività totale del  $^{210}\text{Pb}$  nei sedimenti è data, dalla somma di due contributi: l'attività del  $^{210}\text{Pb}$  detta non supportata ( $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ) derivante dalle aliquote di  $^{210}\text{Pb}$  provenienti dal fallout, e l'attività del  $^{210}\text{Pb}$  di background o supportata ( $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ ) derivante dall'analoga catena di decadimento che però si è completata all'interno della crosta terrestre. Attraverso il confronto tra l'attività effettivamente misurata, data dalla somma  $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}} + ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  cumulata per tutte le sezioni di un carotaggio del  $^{210}\text{Pb}$  e il valore di background dello stesso elemento nelle sezioni di fondo è possibile estrapolare i corrispettivi valori di  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  derivanti dal solo fallout. Il  $^{210}\text{Pb}$  nell'acqua si lega al particolato in sospensione che poi viene accumulato nei fondali marini. La distribuzione dell'eccesso del  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  in funzione della profondità dei sedimenti si usa per calcolare la velocità di sedimentazione ed il tasso di accumulo dei sedimenti. L'attività in eccesso del  $^{210}\text{Pb}$  diminuisce in funzione della profondità del sedimento.

## <sup>137</sup>Cs

Alcuni radionuclidi provengono dalla fissione dell'uranio o dall'attivazione di altri nuclidi risalenti al periodo dei test nucleari, o da incidenti nucleari o dalla generazione di energia nucleare, pertanto possono essere utilizzati per le datazioni. Uno dei più importanti è il <sup>137</sup>Cs con un tempo di dimezzamento di 30 anni. Il <sup>137</sup>Cs è un prodotto di fissione introdotto nell'ambiente in quantità significative attraverso l'atmosfera nel periodo dei test nucleari degli anni 50. Il primo input è avvenuto nel 1954, poi negli anni 63-64 si è verificato il maggior numero di esperimenti nucleari in atmosfera. Una grande quantità di questo radionuclide si è introdotta nell'atmosfera dall'incidente del reattore nucleare di Chernobyl, in Ucraina, il 26 aprile del 1986. Questa emissione è continuata per tutto il mese di maggio del 1986 e le deposizioni radioattive si sono verificate anche a molti chilometri di distanza dal luogo dell'incidente. La distribuzione non era uniforme ed era controllata da fattori meteorologici, (Begy et al. 2009).

Il <sup>137</sup>Cs consente la datazione di alcuni livelli nella colonna sedimentaria in base all'andamento delle sue ricadute atmosferiche. Se il profilo non è particolarmente disturbato da fenomeni di diffusione e rimescolamento, la base del profilo può identificare i sedimenti depositati nel 1954, poi un successivo picco corrisponde ai sedimenti depositati al 1963. Nei sedimenti più superficiali dell'Adriatico e del Mediterraneo, il <sup>137</sup>Cs proviene dall'incidente di Chernobyl e costituisce il marker stratigrafico più recente che può essere usato per valutare il tasso di accumulo e studiare i processi di rimescolamento e diffusione molecolare nelle acque interstiziali.

## 5.6 Filtrazioni del particolato risospeso su colonna d'acqua

Durante tutte le campagne di misura in cui sono stati impiegati i torbidimetri, sono stati raccolti campioni d'acqua con bottiglia sifone sia in momenti di calma che in seguito al passaggio di imbarcazioni, al fine di poter calibrare i dati forniti dai sensori di torbidità.

Poiché i valori di torbidità misurati dai sensori vengono registrati come dati grezzi espressi in FTU (formazine turbidity unit) e le risposte strumentali sono differenti tra di loro, è necessario convertire il dato in valori di concentrazione del particolato solido sospeso (in mg/l). Tale conversione è possibile utilizzando le relazioni di regressione fra le concentrazioni determinate nei campioni d'acqua appositamente prelevati e filtrati, e il valore della torbidità (in FTU) registrata da ciascuno strumento. La raccolta d'acqua deve pertanto avvenire alla quota di posizionamento del sensore di torbidità di ciascuno strumento. Nelle varie campagne di misura è stato appositamente eseguito il prelievo d'acqua spostando di volta in volta la posizione del campionamento in modo tale da ottenere per ogni strumento un numero dati sufficienti alla costruzione di una retta di calibrazione. Le determinazioni dei solidi sospesi sui campioni raccolti sono state eseguite in laboratorio utilizzando la metodica IRSA (Quaderno 100/2050/94). Tale metodica impiega per la filtrazione membrane in policarbonato (Millipore HTP04700) con porosità di 0,4  $\mu$  m e diametro di 47 mm. Le membrane, attraverso le quali viene filtrato un determinato volume d'acqua (p.e. 200 ml), vengono pesate prima dell'uso, riposte in scatole Petri immediatamente dopo la filtrazione e conservate a +4° C. Dopo la filtrazione, le membrane vengono essiccate a +105° C per 12 ore, quindi raffreddate in essiccatore a vuoto ed infine ripesate. La concentrazione di solido sospeso si ottiene come differenza dal peso iniziale della membrana rapportata al volume d'acqua filtrato. Tutte le operazioni di pesatura sono effettuate mediante l'utilizzo di una bilancia analitica.

## 6 Analisi e trattamento dati

### 6.1 Variazioni di pressione e caratterizzazione delle onde di depressione

Attraverso l'utilizzo dei sensori di pressione descritti nelle campagne sperimentali è stato possibile studiare l'onda di depressione prodotta dal dislocamento della nave in transito permettendone la caratterizzazione attraverso la determinazione della forma e dell'ampiezza. Le perturbazioni sono state indagate in diverse posizioni e a differenti distanze dal punto di formazione dell'onda. Per rendere confrontabili e sincronizzati gli strumenti, i dati raccolti sono stati processati con il software Matlab<sup>2</sup>, in particolare attraverso la funzione "resample" che permette di ri-campionare matematicamente tutte le serie di dati acquisite e riportarle alla stessa frequenza con lo scopo di lavorare con tutte le frequenze di acquisizione omogenee. Per questa operazione viene impiegata una interpolazione polifasica<sup>3</sup>. Per poter rendere confrontabili le serie acquisite è stato necessario correggere i dati di pressione considerando le diverse profondità di posizionamento degli strumenti e il livello di marea nel momento dell'acquisizione. Gli eventi di perturbazione sono chiaramente distinguibili dal normale rumore di fondo nell'area di studio (figura 36) pertanto è stato possibile isolare ogni singolo evento e studiarlo nel dettaglio.

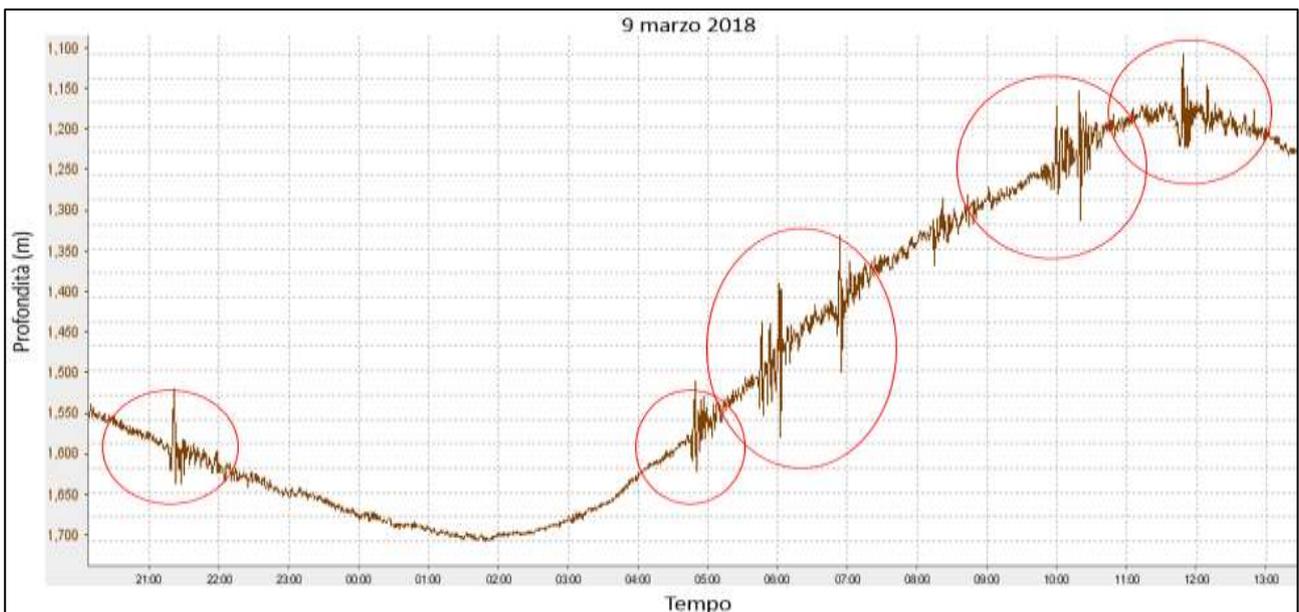


Figura 36. Serie temporale con segnale di pressione registrato da sensore di pressione RBR. Sovrapposti al normale andamento mareale sono osservabili gli eventi di perturbazione generati dalle navi, cerchiati in rosso.

Una volta isolato l'evento, è possibile restringere la serie temporale ottenendo informazioni dettagliate sulle caratteristiche di ogni singola onda di depressione (figura 37)

<sup>2</sup> MATLAB: abbreviazione di Matrix Laboratory, è un ambiente per il calcolo numerico e l'analisi statistica scritto in C che comprende anche l'omonimo linguaggio di programmazione creato dalla MathWorks.

<sup>3</sup> INTERPOLAZIONE POLIFASICA: per interpolazione s'intende un metodo per individuare nuovi punti del piano cartesiano a partire da un insieme finito di punti dati, nell'ipotesi che tutti i punti si possano riferire ad una funzione  $f(x)$ . Nel caso trattato, l'insieme di punti è dato dai dati relativi alle acquisizioni ad una data frequenza, che attraverso la funzione di Matlab: resample polyphase interpolation, vengono ricampionati e forniti come se l'acquisizione fosse stata fatta ad un'altra frequenza.

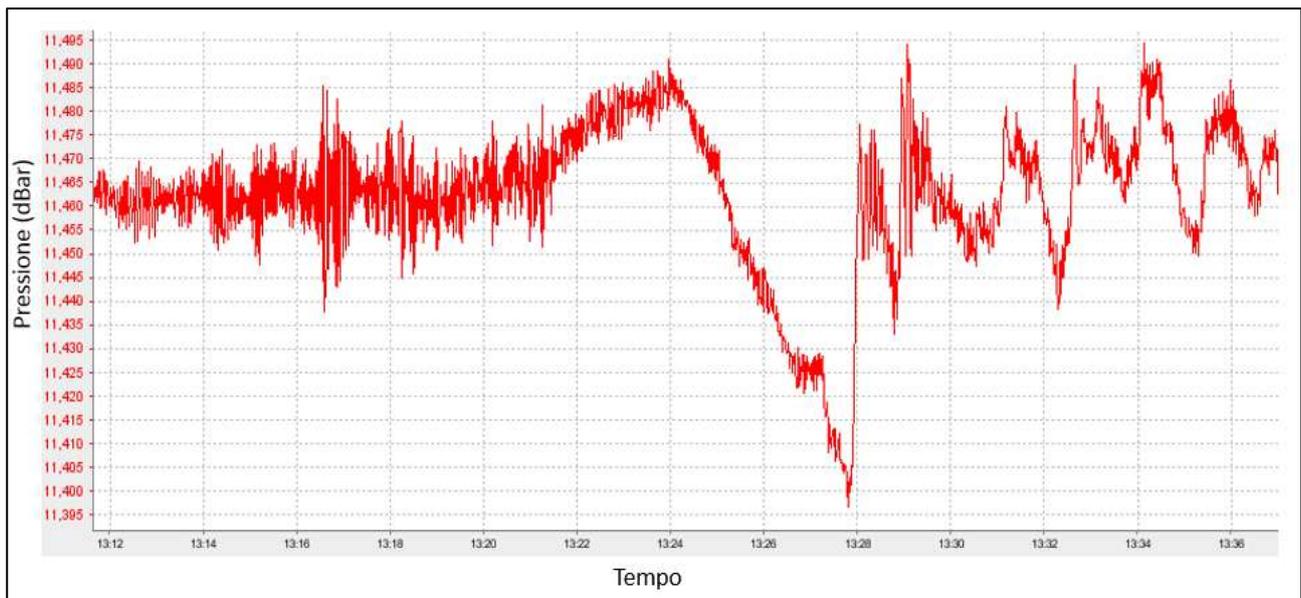


Figura 37. Esempio di onda di depressione generata al passaggio di una nave.

Per questo studio si è deciso di isolare tutti gli eventi da analizzare applicando lo stesso criterio. Sono state acquisite serie temporali di venti minuti nell'intorno del punto di massimo cavo dell'onda ottenendo quindi singole serie di dati relative alle variazioni di pressione 5 minuti prima e 15 minuti dopo l'evento considerato. Da ogni strumento, nelle diverse posizioni, si ottiene il grafico relativo alla depressione creata da cui si calcola in valore assoluto, per differenza tra cresta e cavo, l'ampiezza dell'onda registrata. Questo parametro viene calcolato per ogni strumento e per ogni nave. Ad ogni evento sono state poi attribuite le informazioni relative alle caratteristiche della nave che lo ha generato e alle velocità di transito. Questo ha permesso di utilizzare i dati ottenuti dalle campagne di misura in continuo, per effettuare delle analisi statistiche e delle proiezioni dei risultati su scala annuale.

Per ogni strumento, la correzione delle quote di acquisizione riportate a zero, ha permesso poi di rappresentare nello stesso grafico le serie temporali sovrapposte, registrate dai vari strumenti in varie posizioni per la stessa perturbazione. Gestendo la sincronizzazione temporale delle depressioni, e marcando la curva fornita da ogni strumento con un colore diverso, è possibile visualizzare la forma dell'onda nei vari punti di misura a differenti distanze dal luogo di generazione. In figura 38 viene riportato un esempio di elaborazione ottenuto per l'evento di perturbazione generato dalla nave Eurocargo Trieste transitata il 30 aprile 2016 misurato lungo il transetto di strumenti posto nel bassofondo a est del canale Malamocco-Marghera.

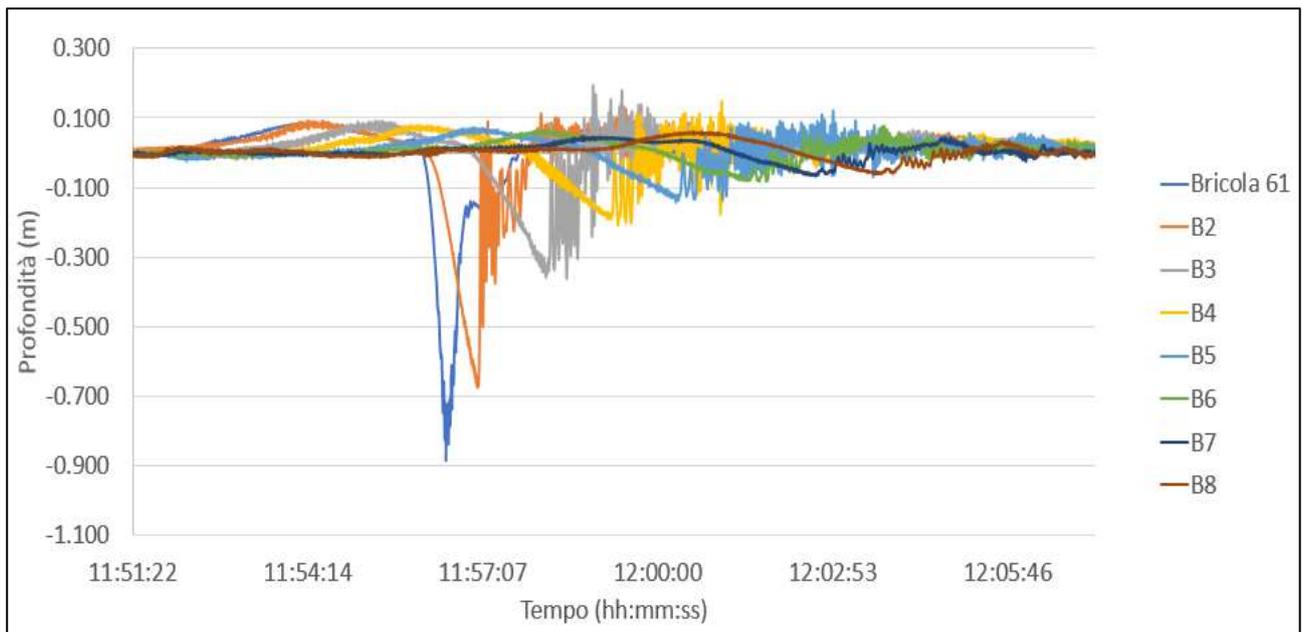


Figura 38. Evento di perturbazione generato al transito della nave Eurocargo Trieste misurato a distanza progressiva dal margine del canale.

Questo tipo di elaborazione, effettuata per le serie temporali di dati acquisite durante le campagne di misura per la determinazione della propagazione dell'onda nel bassofondo, evidenziano il comportamento e l'evoluzione della perturbazione nello spazio e nel tempo. È stato quindi possibile osservare in quale modo la variazione della profondità influenzi la struttura dell'onda e la sua ampiezza, stabilendo inoltre le aree di maggiore impatto idrodinamico lungo i transetti descritti per le varie campagne di misura.

## 6.2 Velocità e direzione del flusso: analisi ed elaborazioni dati acquisiti dai correntometri

I correntometri S4 forniscono serie temporali con dati relativi alla velocità di flusso (cm/s) e alla sua direzione in gradi (°). Anche per i dati acquisiti da questi strumenti si è eseguito un ricampionamento polifasico per riportare tutte le serie temporali ad una frequenza di acquisizione di 5 Hz. Successivamente sono stati isolati gli eventi suddividendo la serie in intervalli da 20 minuti corrispondenti all'intorno degli eventi di perturbazione. Tutti gli strumenti in acquisizione durante le campagne di misura sono stati sincronizzati con l'orologio dello stesso computer utilizzato per la loro programmazione e gli orari sono forniti in formato UTC<sup>4</sup>. Tale configurazione permette il confronto tra strumenti differenti.

In figura 39 si osserva la serie temporale acquisita dal correntometro in posizione B2 relativa al transito della nave Eurocargo Trieste di cui sopra si sono riportati i valori relativi all'ampiezza d'onda generata.

<sup>4</sup> Il tempo coordinato universale, conosciuto anche come tempo civile e abbreviato con la sigla UTC "Coordinated Universal Time", è il fuso orario di riferimento da cui sono calcolati tutti gli altri fusi orari del mondo.

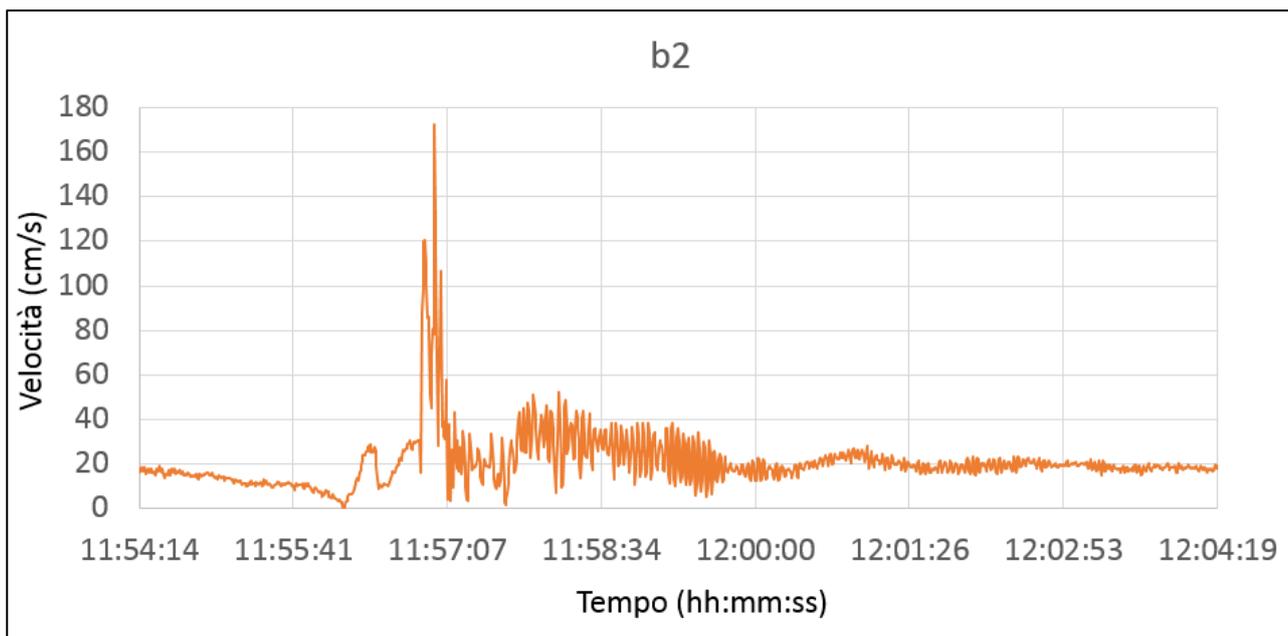


Figura 39. Serie temporale relativa ai valori di velocità di flusso acquisita dal correntometro S4 in posizione B2 in corrispondenza del transito della nave Eurocargo Trieste.

Conoscendo l'intensità e la direzione della corrente è possibile trattare i dati acquisiti come vettori la cui origine corrisponde alle coordinate del punto di posizionamento dello strumento. Sono stati quindi rappresentati in ambiente GIS i dati delle perturbazioni idrodinamiche rilevate dai correntometri come vettori, il cui orientamento sarà dato dalla direzione del flusso e l'intensità dalla velocità di corrente registrata. Tale rappresentazione, osservabile in figura 40, permette di indagare il comportamento idrodinamico dell'intera area di studio evidenziando fino a dove si estende l'area di influenza delle perturbazioni investigate.



Figura 40. Elaborazione GIS in cui vengono riportati i vettori di corrente (calcolati su una media di 15 secondi) determinati nelle stazioni di campionamento in relazione alla posizione della nave nel canale.

### 6.3 Analisi e trattamento dati ADCP

I dati raccolti dal profilatore acustico ADCP sono stati trattati mediante il software Ocean Data View, applicazione creata per l'elaborazione, il trattamento e la rappresentazione di dati oceanografici e serie temporali. In particolare, per l'analisi dei dati raccolti è stata impiegata l'elaborazione "Weighted Average Gridding" che attraverso l'interpolazione dei dati permette la rappresentazione grafica ad alta risoluzione spaziale dei valori di velocità di flusso sull'intera colonna d'acqua estrapolandoli dalla serie temporale acquisita dallo strumento stazionato al margine del canale. A tale rappresentazione è possibile poi correlare i valori di pressione, facendo in questo modo apparire l'andamento del livello idrico in sovrapposizione al grafico che riporta in scala cromatica variazioni di velocità e direzioni di flusso (figura 41).

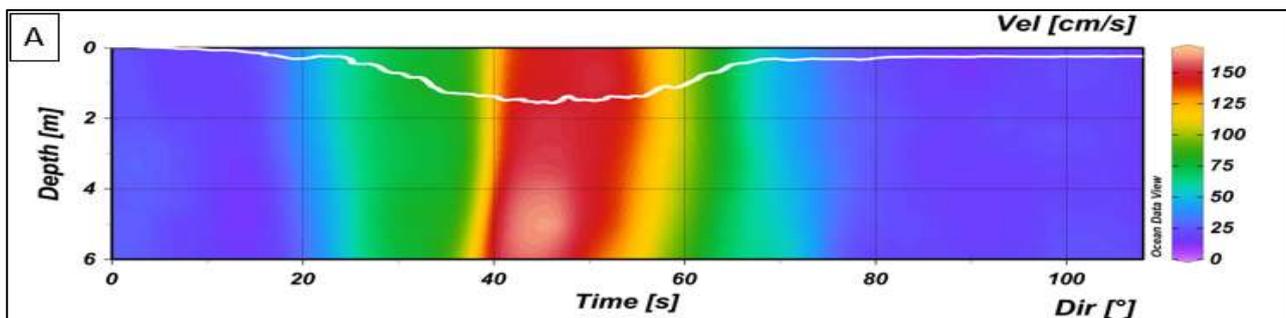


Figura 41. Elaborazione con software Ocean Data View per la rappresentazione grafica dei valori di velocità di flusso sull'intera colonna d'acqua a cui viene sovrapposto l'andamento del livello idrico nel tempo (linea bianca).

### 6.4 Calibrazione torbidimetri ed elaborazioni torbidità

In figura 42 viene presentato un esempio di grafico ottenuto dall'estratto delle serie temporali degli strumenti posizionati lungo il transetto sul bassofondale. I valori riportati sono relativi all'andamento della torbidità a seguito dell'evento di perturbazione generato al transito della nave Eurocargo Trieste. Anche in questo caso le serie temporali acquisite dagli strumenti sono state suddivise in singoli eventi di 20 minuti nell'intorno della perturbazione e gli strumenti risultano sincronizzati con orario UTC.

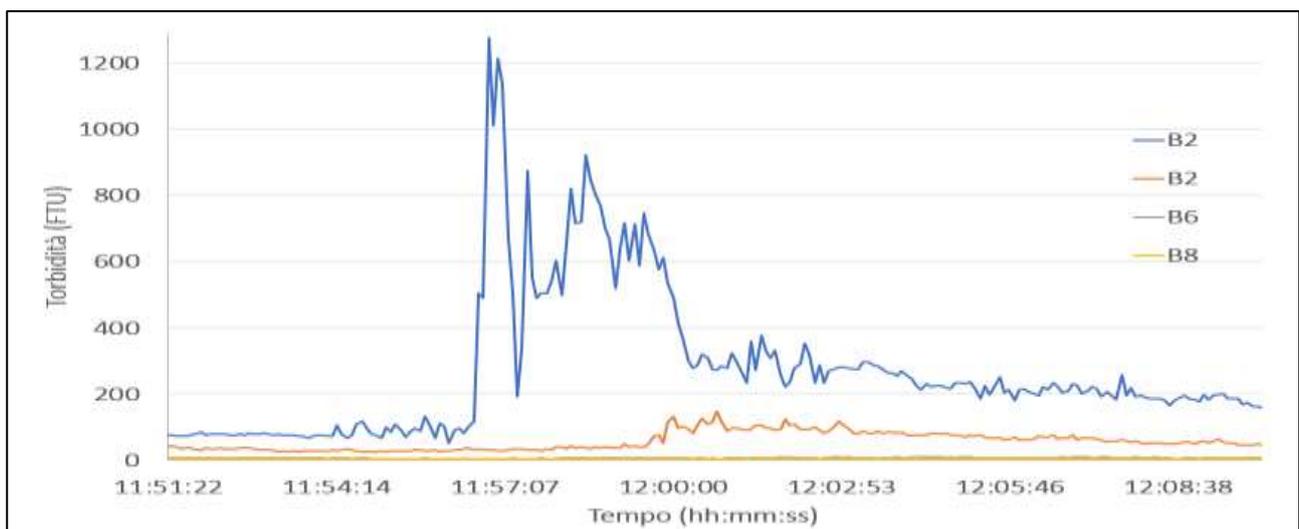


Figura 42. Serie temporali sincronizzate che riportano l'andamento della torbidità a differenti distanze dal canale di navigazione. Come esempio viene visualizzato l'evento di perturbazione registrato a seguito del transito della nave Eurocargo Trieste.

Come descritto nella sezione 4.1.1.5 i sensori di torbidità forniscono dati in valori di FTU (formazine turbidity unit). Il concetto di torbidità implica risposte strumentali tra loro differenti che necessitano di una conversione. Poiché la variabilità nella risposta strumentale nelle aree lagunari è elevata, non è possibile impiegare a tale scopo dati storici di precedenti campagne per convertire i valori. Per la calibrazione sono state utilizzate relazioni sito specifiche che descrivono il comportamento delle due variabili in una singola stazione. La relazione di regressione sito-specifica è determinata quindi per ogni strumento in ogni stazione correlando le concentrazioni determinate nei campioni d'acqua ed il valore della torbidità registrata dallo strumento nello stesso istante del prelievo.

Si riportano in figura 43 i grafici utilizzati per la determinazione delle rette di calibrazione degli strumenti che permettono la conversione del dato in valori di concentrazione di particolato solido sospeso (mg/l). Le letture di torbidità autoscalate sono state raccolte con frequenza di acquisizione di 2Hz da tutti i torbidimetri e non vengono pertanto ricampionate. Si considera che il valore di torbidità acquisito sia rappresentativo di un'area circoscritta all'intorno del sensore e che possa essere ragionevolmente estesa ad un volume di alcuni dm<sup>3</sup> in condizioni di uniformità della distribuzione, che tuttavia raramente si verificano durante le fasi di maggiore intensità degli eventi analizzati. La risospensione del sedimento dal fondo a seguito del passaggio di una nave è infatti un fenomeno piuttosto eterogeneo che si presenta con una distribuzione irregolare e riconducibile a fenomeni di turbolenza per natura eterogenei.

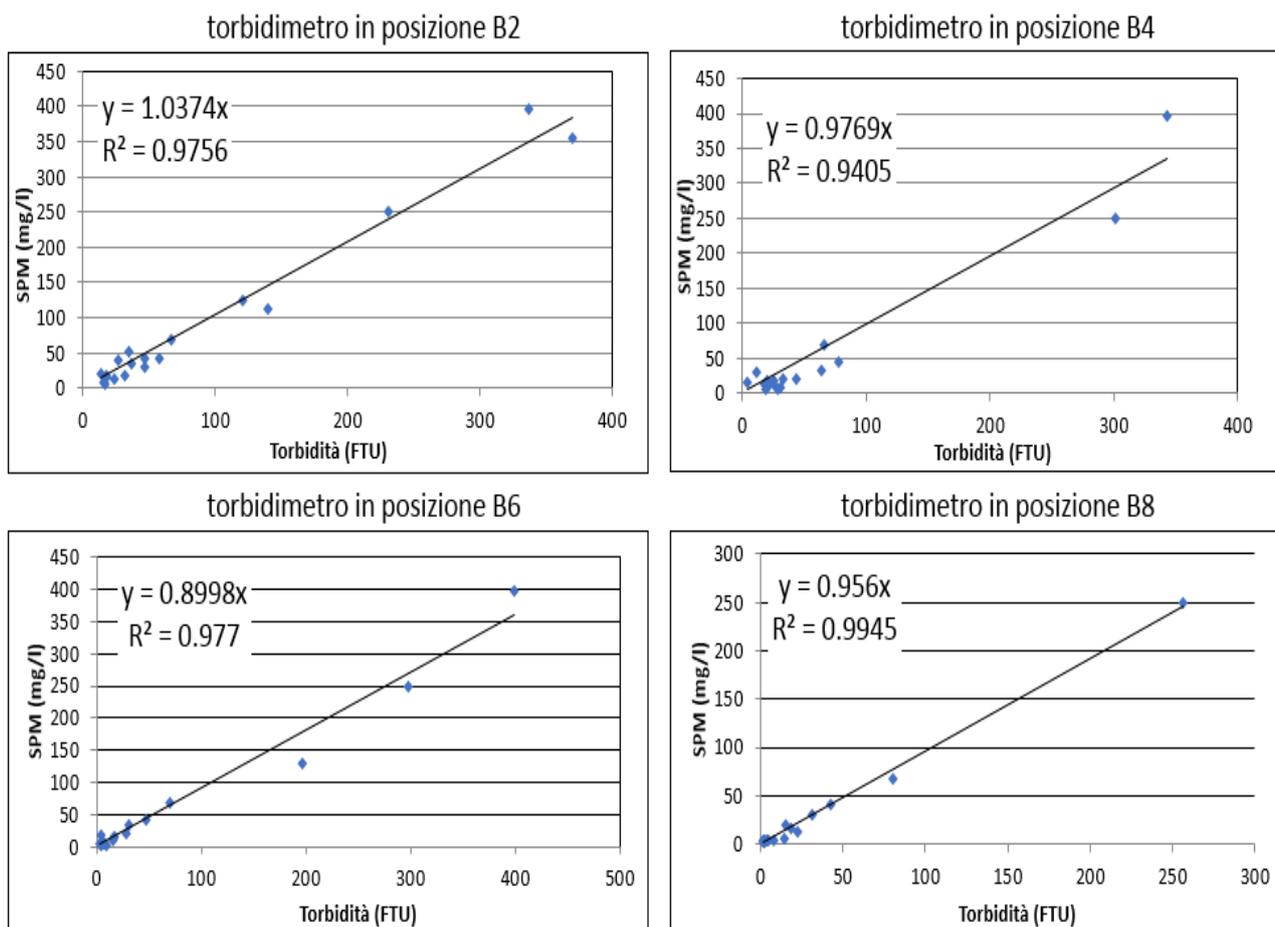


Figura 43. Rette di calibrazione per la conversione del dato in valori di concentrazione del particolato solido sospeso (mg/l) per tutti i torbidimetri utilizzati.

Il Valore  $R^2$  sta ad indicare la dispersione dei dati. Un numero tendente a 1 indica una forte correlazione tra valori misurati e i campioni prelevati. Nei casi in esame le correlazioni risultano superiori allo 0,9 in tre strumenti e uguali a 0,9 per lo strumento in posizione B6. Tale dispersione è da considerarsi più che soddisfacente allo scopo di questo lavoro.

## 6.5 Dati granulometrici e creazione report da Mastersizer

I dati granulometrici che si riportano sono il risultato della media effettuata su 100 letture per ogni campione analizzato al granulometro laser. Lo strumento Mastersizer 3000 offre la possibilità di impostare il numero di classi granulometriche nelle quali si vuole suddividere il campione. Come anticipato, per questo studio viene utilizzata la rappresentazione in 32 classi secondo una progressione di 0,50 ( $\phi$ )  $\Phi$  per un totale di 32 classi comprese tra 0,03  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$ . L'utilizzo della scala in  $\Phi$  è stata proposta da Krumbein (1934) e prevede di trasformare logaritmicamente i limiti tra le classi, utilizzando il valore  $\phi$  ( $\Phi$ ) secondo l'equazione:  $\Phi = -\log_2 d$ , dove  $d$  è il diametro delle particelle espresso in  $\mu\text{m}$ ; il segno negativo è stato introdotto per ottenere valori di  $\Phi$  positivi durante la classificazione delle granulometrie più fini.

Le statistiche sui campioni analizzati sono state calcolate attraverso il software Gradistat sviluppato per l'elaborazione di dati granulometrici ed il calcolo dei principali elementi statistici attraverso l'impiego del metodo dei momenti<sup>5</sup>. Gradistat è un software, scritto in Microsoft Visual Basic, che utilizza un foglio di calcolo Excel, e determina aritmeticamente, geometricamente e con logaritmi le informazioni relative alla media, moda, deviazione standard, classe modale, asimmetria della distribuzione e curtosi.

I dati ricavati dalle analisi granulometriche, vengono espressi graficamente con Istogrammi di frequenza. Nell'istogramma di frequenza vengono riportate in ordinate le percentuali in volume relative ad ogni classe granulometrica riportata in ascisse.

È possibile poi rappresentare il dato con maggior dettaglio riportando la curva di frequenza nella quale si elimina la discontinuità dell'istogramma tracciando la curva che passa per il centro delle barre.

I risultati che si ottengono dall'elaborazione sono poi utilizzati per la comparazione dei campioni tra loro. In allegato 2 vengono forniti i fogli di output per i campioni trattati con relativa rappresentazione grafica.

## 6.6 Elaborazione dati tomografici

Le immagini DICOM (*Digital Imaging and COmmunications in Medicine*) ottenute dalle analisi tomografiche sono state elaborate ed analizzate attraverso l'impiego del software Osirix. Questo software è stato sviluppato a scopo medico per sistemi Apple Mac.

Le immagini sono state elaborate creando riproduzioni tridimensionali con scale cromatiche differenti al fine di evidenziare le strutture interne della carota facilitandone la lettura e l'interpretazione morfologica. La variazione dei valori di assorbimento tomografico dipende dalla

---

<sup>5</sup> Il **metodo dei momenti** in statistica è un metodo di ricerca degli stimatori, introdotto nel 1894 da Karl Pearson. In base al metodo dei momenti, uno stimatore deve soddisfare una condizione che caratterizza uno o più suoi momenti campionari; in generale si impone l'uguaglianza tra il momento campionario e la sua controparte, non osservabile, che caratterizza la popolazione (es. tra media campionaria e valore atteso per la popolazione), determinando lo stimatore come soluzione dell'equazione che ne risulta.

capacità del materiale di assorbire i Raggi X, e questo può riflettere la porosità, la granulometria, la presenza di materia organica e la natura chimica del sedimento in esame.

Il software mette a disposizione delle scale cromatiche preimpostate, dette CLUT, che permettono di mettere in evidenza particolari assorbimenti. Per questo studio è stato applicato il CLUT "Rainbow", che ha permesso di evidenziare la stratigrafia del campione facendo risaltare gli strati a diversa densità con differenti colori. I materiali a densità minore sono rappresentati dai colori più freddi (blu), e all'aumentare della densità, il colore si sposta gradualmente verso le tonalità più calde (rosso) (figura 44).

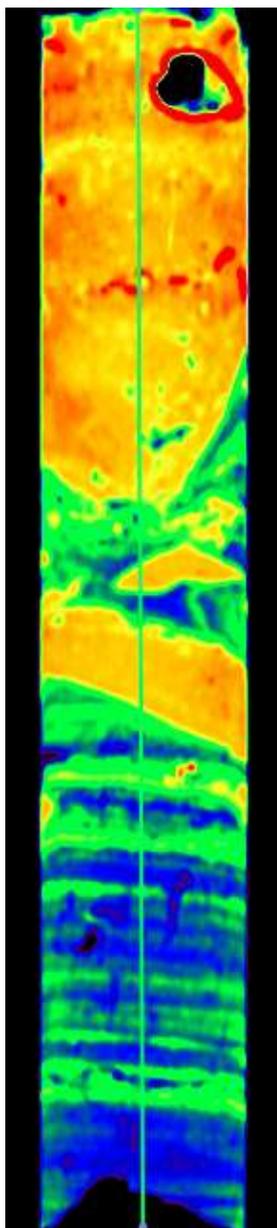


Figura 44. Elaborazione grafica effettuata con software Osirix dall'analisi tomografica effettuata sulla carota WP 2

Per uno studio di maggior dettaglio è stato estrapolato l'effettivo valore di assorbimento tomografico in una sezione centrale della carota per ogni pixel dell'immagine risultante utilizzando la funzione ROI (*region of interest*) del software, che permette di tracciare una linea di interesse della quale si vuole conoscere il valore di assorbimento tomografico. Il risultato di questa operazione viene plottato in un grafico in cui in ascissa vengono riportati i pixel, in ordine consecutivo dal top

della carota fino alla base, e in ordinata il valore tomografico di ognuno di questi (figura 45). Questi valori sono poi estrapolabili come file TAB o EXCEL.

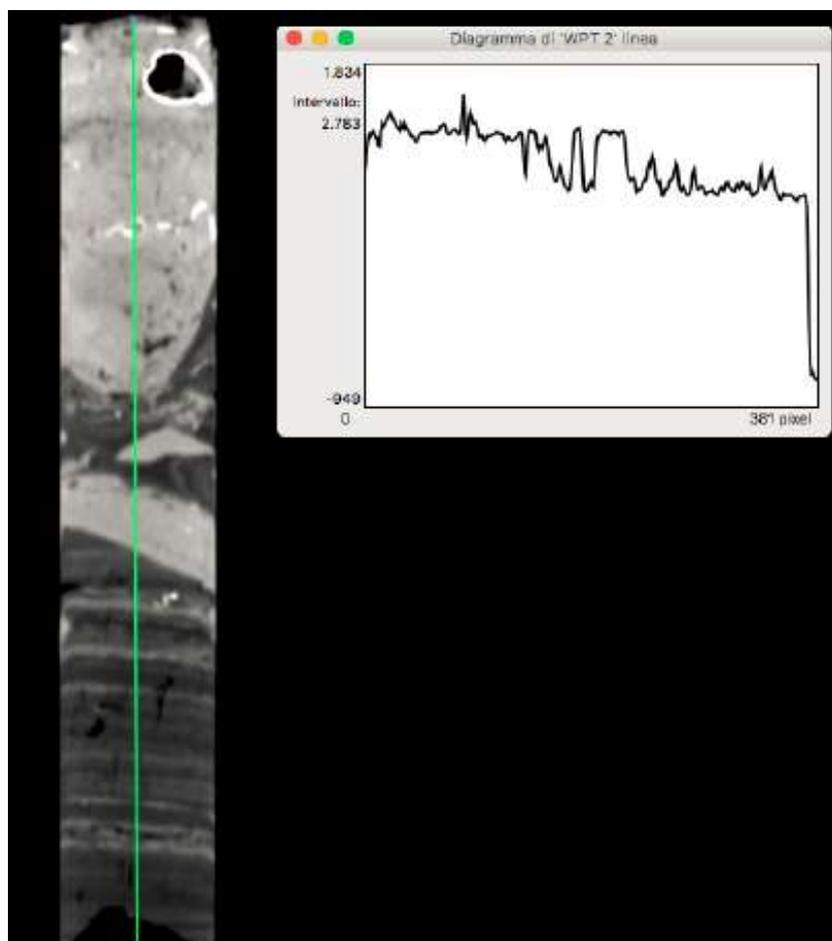


Figura 45. Grafico con i valori di assorbimento tomografico lungo la carota di sedimento WP2 rappresentata nella foto in scala di grigi.

Sapendo che ogni singolo valore di assorbimento corrisponde ad uno specifico pixel lungo la sezione della carota, è stato utile convertire i pixel in centimetri in modo tale da riferire nella carota ogni singolo valore di assorbimento ed attribuire ad ogni quota di profondità l'effettivo valore.

La trasformazione da pixel a centimetri è stata effettuata dividendo il numero di pixel totali per la lunghezza totale in cm della carota. Convertendo le misure in centimetri anziché pixel è possibile costruire un grafico che riporta in ascisse il valore di assorbimento e in ordinate il valore di profondità. Sovrapporre il grafico di assorbimento alle immagini tomografiche elaborate facilita l'interpretazione del segnale poiché vengono associati direttamente i valori di assorbimento, rappresentati dai picchi nel grafico, ai punti del campione al quale si riferiscono (figura 46).

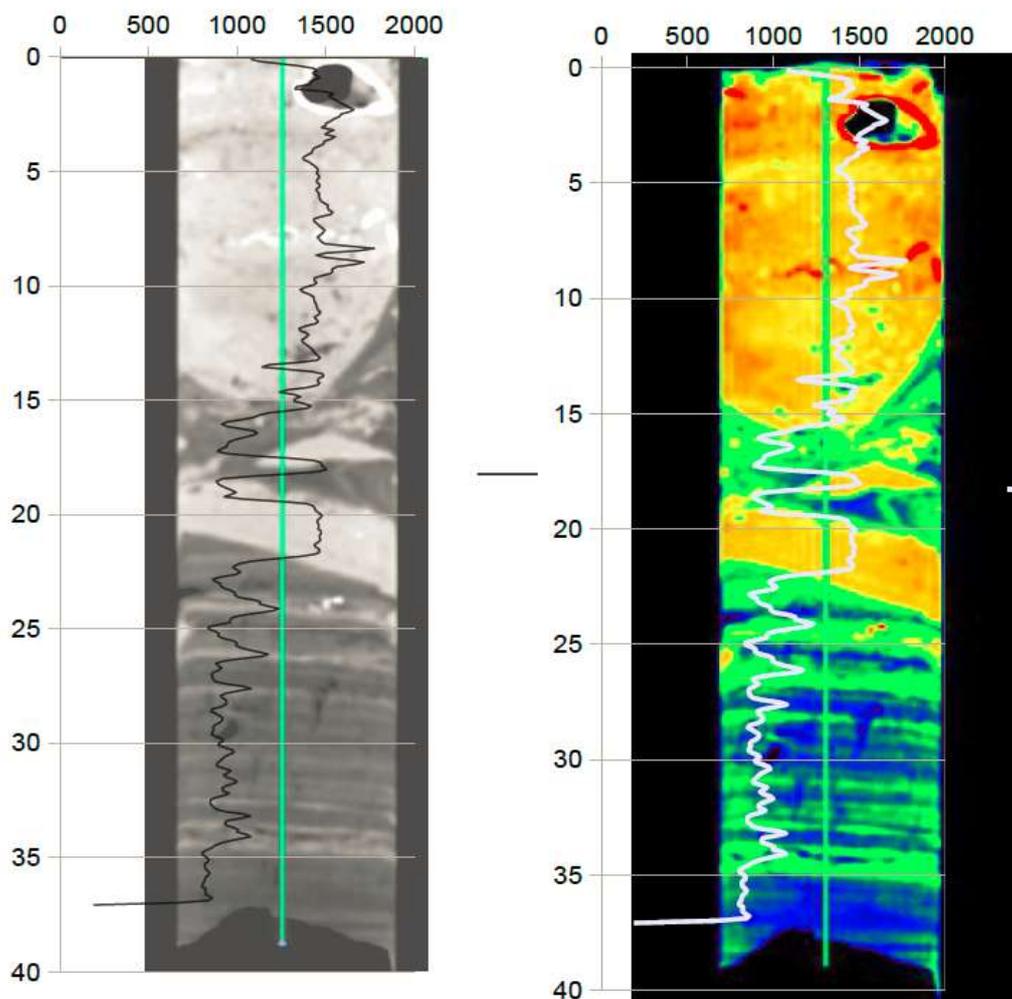


Figura 46. Elaborazioni grafiche con differenti "CLUT" del segnale tomografico ottenuto dalle analisi sulla carota WP2. Il segnale di assorbimento tomografico dopo la referenziazione può essere rappresentato sovrapposto all'immagine della carota (linea bianca).

## 6.7 Trattamento dati batimetrici

I dati di profondità acquisiti nell'area a bassofondo (con asta metrica) e lungo transetti nel canale Malamocco-Marghera e canale della Giudecca (con funzione *bottom tracking* dell'ADCP) sono trattati con la medesima metodologia. Il valore di profondità registrato deve essere normalizzato secondo la marea presente al momento della misura. I dati vengono quindi riportati allo zero mareografico<sup>6</sup> adottato per convenzione quale riferimento locale per la città di Venezia e l'intera laguna. Per eseguire questo tipo di correzione nel miglior modo possibile, vengono utilizzati i valori di marea registrati in continuo dalla rete mareografica del comune di Venezia. In particolare, per quanto riguarda i valori batimetrici registrati lungo il canale della Giudecca, sono stati utilizzati i dati acquisiti dal mareografo localizzato a Punta Salute (45°25'51.42"N; 12°20'13.488"E) mentre i dati di profondità raccolti nell'area a bassofondo del bacino centrale e lungo il canale Malamocco-

<sup>6</sup> Pari al livello medio del mare del 1897, calcolato mediando 25 anni di osservazioni, dal 1885 al 1909, ed assegnando il valore di riferimento all'anno centrale. Rispetto alla rete altimetrica dello stato italiano, riferita al livello medio del mare registrato dal mareografo di Genova nel 1942 (mediando i dati registrati dal 1937 al 1946), lo zero mareografico di Punta Salute risulta più basso di circa 23 cm.

Marghera sono stati utilizzati i livelli misurati nella stazione mareografica di Fusina (45°41'6.45"N; 12°15'33.94"E).

Alle misure di profondità sono associate poi le coordinate geografiche.

## 6.8 Determinazione del Coefficiente di Blocco, numero di Froude e stima del parametro Vi

Le interazioni con l'ambiente, ed in particolar modo con il sedimento, provocate dal traffico navale dipendono principalmente dalle perturbazioni idrodinamiche generate che a loro volta sono strettamente correlate alle caratteristiche fisiche dello scafo della nave quali lunghezza, larghezza, pescaggio e velocità di avanzamento e altri fattori quali larghezza del canale navigato e profondità (Schoellhamer, 1996; Parnell e Kofoed-Hansen, 2001; Soomere 2007). Questi fattori determinano dunque le proprietà delle onde generate e sono i principali elementi da considerare per una indagine di impatto ambientale.

Per questo studio si è deciso di determinare tre principali parametri matematici necessari per la comprensione del fenomeno, nel seguito elencati e descritti.

**Numero di Froude.** Abbreviato come Fr, è un valore adimensionale che mette in relazione la forza d'inerzia con la celerità dell'onda. Viene impiegato per determinare il regime di avanzamento delle navi in esame. In base al valore assunto da tale parametro il movimento può risultare subcritico, critico o supercritico. Il calcolo di tale parametro viene eseguito mettendo in rapporto la velocità di avanzamento della nave  $V_s$ , con la radice quadrata del prodotto tra l'accelerazione gravitazionale  $g$ , e l'altezza della colonna d'acqua sulla quale la nave stessa sta navigando  $h$ . (Parnell and Kofoed Hansen, 2001; Soomere, 2007; 2009)

$$Fr = \frac{V_s}{\sqrt{gh}}$$

Per valori del numero di Fr prossimi o superiori a 1 la teoria classica per onde lineari può essere applicata solo parzialmente, e in queste situazioni vengono generati gruppi di onde di differenti tipologie. Tra queste sono inclusi solitoni, onde di Kelvin, onde a lungo periodo.

**Coefficiente di blocco.** Abbreviato come CB, noto anche come coefficiente di finezza, è un parametro adimensionale utilizzato per la descrizione della carena e dell'ingombro della nave. Il parametro è calcolato attraverso un rapporto il cui valore non supera l'unità ed è essenzialmente ottenuto dividendo l'area della carena della nave considerata ( $L*W$ ) per la superficie della sezione del canale navigato ( $A$ ).

In questo studio, per la determinazione di tale parametro, si considera il rapporto tra il prodotto della larghezza dello scafo ( $L$ ) per il suo pescaggio ( $W$ ), con l'area del canale navigato ( $A$ ).

$$C^* = \frac{L*W}{A}$$

### Stima del parametro $V_i$

Il parametro  $V_i$  è stato calcolato al fine di determinare quali siano le aree potenzialmente più impattate dal transito delle grandi navi. Per la sua stima è necessaria l'acquisizione dei parametri AIS secondo la metodologia descritta nel capitolo 4.1.1.6 "acquisizione dati di traffico attraverso l'utilizzo di un ricevitore AIS".

Il calcolo di questo parametro è stato supportato dall'acquisizione per un periodo di un anno (febbraio 2016 – gennaio 2017) dei dati AIS di tutte le imbarcazioni in possesso dell'adeguata strumentazione per la ricetrasmisione dei segnali AIS e che hanno transitato nello spazio marittimo della Laguna di Venezia. I dati scaricati sono stati selezionati applicando dei filtri in ambiente GIS che tenessero conto della lunghezza dello scafo e della velocità di transito. Si sono eliminate quindi di fatto le classi di navi con lunghezza inferiore a 100 m, ritenute non in grado di apportare modifiche sostanziali al sistema canale-laguna e navi la cui velocità di avanzamento fosse inferiore a 0,1 nodi ottenendo un dataset costituito da un numero di record pari a 2200000. La strategia adottata è stata quella di interpolare la serie di dati di velocità georeferenziati per calcolare la velocità media di tutte le navi in transito nei canali lagunari. Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è stato SAGA. L'interpolazione adottata è stata di tipo IDW *Inverse Distance Weighted*. L'interpolazione dei dati ha permesso di ottenere un file raster della distribuzione spaziale delle velocità lungo i canali lagunari di interesse. Questi dati sono stati poi integrati con i dati batimetrici dei canali di navigazione. Questa operazione effettuata in ambiente GIS ha permesso di ricavare l'indice  $V_i$  espresso come rapporto tra l'area della sezione ortogonale al canale e la velocità media delle navi che transitano in quel determinato punto.

In figura 47 attraverso l'utilizzo di questo indice è possibile evidenziare in modo preliminare le aree potenzialmente critiche dal punto di vista idraulico-morfologico ( $V_i$  maggiori), in corrispondenza delle quali programmare le indagini sperimentali

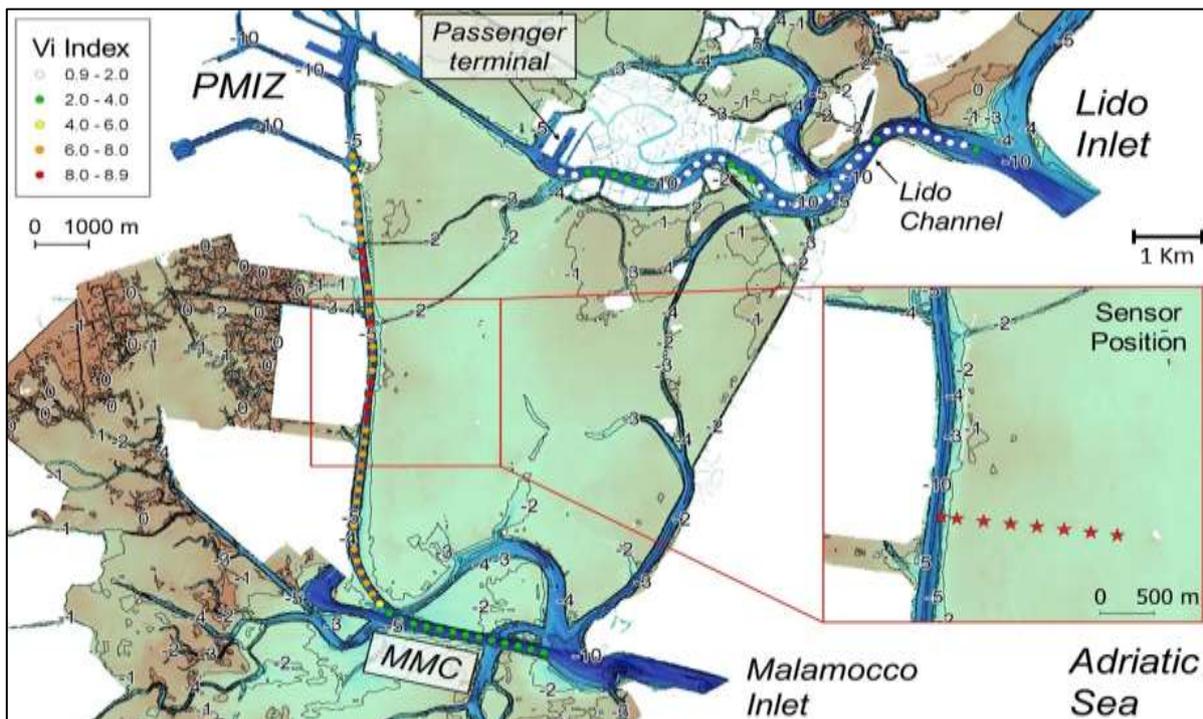


Figura 47. Rappresentazione con scala cromatica dell'indice  $V_i$  calcolato lungo le due vie di navigazione principali per l'individuazione di aree critiche dal punto di vista idraulico-morfologico.

## 6.9 Elaborazione GIS e processo fotogrammetrico per lo studio morfologico

L'elaborazione delle informazioni spaziali relative all'arretramento della linea di costa per la cassa di colmata B ed A è stata effettuata mediante la realizzazione di file vettoriali riportanti le linee di costa tracciate singolarmente sulle immagini aeree georeferenziate. La linea di vegetazione è stata impiegata come indicatore per l'analisi del trend erosivo. La marcata differenza tra la copertura vegetale della cassa di colmata e il deposito di sabbia fine della spiaggia originata dall'erosione del deposito rende l'identificazione della linea di costa piuttosto semplice e precisa a causa di una consistente variazione di tonalità ed elevazione dovuta alla presenza di una evidente scarpata erosiva.

Le immagini aeree utilizzate sono state scaricate dal Geoportale IDT della Regione Veneto (Regione Veneto. Infrastruttura dei Dati Territoriali del Veneto), e non hanno informazioni di riferimento spaziale. Le immagini più recenti (2009-2018) sono state, invece, direttamente caricate in QGIS attraverso il plug-in *Openlayers* che fa riferimento al servizio "web services" di Google (Digital Globe) e Microsoft® Bing™ Maps i quali forniscono le immagini già georeferenziate.

Il processo di georeferenziazione per le immagini aeree è stato effettuato con il software QGIS mediante la funzione georeferenziatore. La georeferenziazione consiste in un insieme di tecniche che permettono di attribuire una posizione geografica ad ogni pixel di una foto iniziando con l'attribuzione, a dei punti scelti nell'immagine, delle coordinate note in un sistema di riferimento. Nel caso di studio si è utilizzato il sistema di riferimento WGS84 Pseudo Mercatore EPSG 3857. Questa funzione di georeferenziazione consente di gestire e analizzare i dati collocati nello spazio, collegando ogni elemento geografico a delle relazioni di tipo alfanumerico attraverso una trasformazione polinomiale il cui ordine è stato scelto di volta in volta per minimizzare l'errore. I dati geometrici georeferenziati possono così essere elaborati per analisi quantitative dei fenomeni. Per lo studio del fenomeno di regressione della costa nelle casse A e B si è considerato il periodo compreso tra il 1974 e il 2018. Maggiore dettaglio è stato considerato poi per lo studio della cassa di colmata A, dove le immagini aeree e satellitari sono state integrate con immagini aeree auto-acquisite attraverso l'impiego di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (drone).

L'elaborazione delle immagini acquisite dal drone è stata fatta attraverso il software Photoscan che ne ha permesso la georeferenziazione, l'ortorettifica e la mosaicatura. Il software, attraverso la tecnica "Structure from motion", ha permesso inoltre di ricavare foto rappresentazioni tridimensionali dell'area oggetto di studio e il calcolo del modello digitale di superficie. La tecnica SFM è una tecnica basata su algoritmi di "Computer Vision" che estrae i punti notevoli per ogni singola foto scattata, desume i parametri fotografici e incrocia i punti riconoscibili su più foto, rilevando le coordinate nello spazio dei punti stessi.

Al fine di standardizzare le misure di regressione effettuate su immagini acquisite in periodi differenti, sono state scelte, per la cassa B il cui arretramento presenta un andamento lineare, 15 sezioni di controllo mantenute fisse nel tempo. L'entità dell'arretramento è stata quindi determinata dall'intersezione della linea di costa tracciata per ogni periodo con la relativa sezione di controllo.

È stato poi successivamente stimato il volume di sedimento eroso dalla cassa di colmata B dalla differenza di due modelli digitali del terreno relativi all'anno 1968 e 2015. I modelli di elevazione utilizzati sono stati ottenuti partendo dal modello digitale del 2007 utilizzato come riferimento per

la stima dell'elevazione della cassa di colmata. Dall'elaborazione di questo è stato ricavato il modello digitale del terreno del 1968 ottenuto integrando al modello 2007, l'area erosa di cui si conoscono i limiti tracciati nelle foto aeree storiche. Il modello digitale di elevazione del 2015 è stato invece ottenuto sottraendo l'area perduta fino al limite tracciato dalla linea di costa relativa alla foto aerea del 2015. L'elevazione dell'area ormai erosa e attualmente sommersa è stata ottenuta integrando al modello le misurazioni batimetriche effettuate con ADCP.

## 7 Risultati

### 7.1 I numeri del traffico navale

I dati AIS, ottenuti con le acquisizioni effettuate nel periodo di misura marzo-maggio 2016 durante la campagna "Acquisizioni in continuo delle ampiezze d'onda sul margine canale" (paragrafo 4.1.3) sono stati riprodotti su base annua per poter ottenere una stima del traffico lungo il canale Malamocco-Marghera.

La proiezione annua identifica la rappresentatività dell'intensità del traffico del periodo di monitoraggio rispetto alle condizioni medie.

Il traffico annuo stimato è di 4776 passaggi di navi commerciali.

In tabella 11 sono presentate le statistiche principali relative alle caratteristiche fisiche degli scafi in transito, la loro velocità di navigazione in prossimità della stazione di misura, il valore di Fr calcolato e l'ampiezza dell'onda di depressione misurata (Hmax) ad ogni passaggio durante il periodo di acquisizione in continuo.

*Tabella 11. Dati statistici del traffico transitato per la sezione di misura nel canale Malamocco-Marghera nel periodo di monitoraggio 18 marzo-2 maggio 2016.*

	<b>Lunghezza [m]</b>	<b>Larghezza [m]</b>	<b>Pescaggio [m]</b>	<b>Blocking coeff.</b>	<b>Velocità [nodi]</b>	<b>Fr</b>	<b>Ampiezza depressione (Hmax) [m]</b>
<b>Min</b>	32	9	2	0.02	5.4	0.25	0.03
<b>Max</b>	306	41	11.5	0.37	12.8	0.59	2.45
<b>Media</b>	160	24	7.3	0.15	9.28	0.43	0.52
<b>Std. Dev.</b>	44	5.7	1.51	0.06	0.26	0.06	0.33
<b>Mediana</b>	166	25	7.1	0.14	9.4	0.44	0.5
<b>Moda</b>	100	32	6	0.19	9.9	0.36	0.35
<b>5 percentile</b>	100	16	5	0.07	7.1	0.34	0.16
<b>25 percentile</b>	127	20	6.3	0.11	8.5	0.40	0.33
<b>50 percentile</b>	166	25	7.1	0.14	9.4	0.44	0.5
<b>75 percentile</b>	187	28	8.3	0.19	10.2	0.47	0.67
<b>95 percentile</b>	225	32	9.9	0.26	11.1	0.52	0.94

La nave più lunga transitata nell'area di studio è stata di 306 m, il pescaggio maggiore 11,5 m e Hmax ha raggiunto i 2,45 m. I valori di Fr calcolati per il periodo di monitoraggio sono variabili da un valore minimo di 0,25 fino ad un massimo di 0,59 con valore medio di 0,43. Le dimensioni medie degli scafi in transito sono state di 160 m di lunghezza per 24 m di larghezza.

I dati acquisiti sono stati quindi utilizzati per valutare i parametri relativi al traffico, riportando i dati su scala annuale e suddividendo in classi le diverse variabili considerate (tabella 12).

Tabella 12. Eventi suddivisi per classi di ampiezza d'onda, classi di velocità e classi di lunghezza dello scafo. Per tutti i parametri è riportata la frequenza.

Classi Ampiezza onda	Frequenza-Ampiezza	Classi Velocità	Frequenza-Velocità	Classi Lunghezza	Frequenza-Lunghezza
≤ 0.2	356	<5	0	<25	0
0.2-0.4	1330	5-6	7	25-50	17
0.4-0.6	1436	6-7	187	50-100	454
0.6-0.8	1103	7-8	625	100-150	1557
0.8-1.0	422	8-9	1062	150-200	2182
1.0-1.2	81	9-10	1590	200-250	454
1.2-1.4	16	10-11	1053	250-300	97
1.4-1.6	8	11-12	243	300-350	16
>1.6	24	>12	8	>350	0

Dalla tabella 12 si osserva come più di 1400 eventi in un anno possano generare onde di ampiezza compresa tra i 0,4 e i 0,6 m, che risulta l'ampiezza d'onda più frequentemente misurabile nell'area di studio. Dalle statistiche annuali si evince inoltre come 24 navi all'anno siano responsabili della formazione di onde di ampiezze superiori a 1,6 m, mentre a più di 1100 eventi di passaggio viene attribuita la formazione di onde la cui altezza è compresa tra i 0,6 e gli 0,8 metri. La classe di velocità più frequente è compresa tra i 9 e i 10 nodi, e 1053 imbarcazioni all'anno transitano attraverso l'area di studio a velocità superiori ai 10 nodi. Le navi più frequenti hanno lunghezze comprese tra i 150 m e i 200 m e si è stimato come in un anno, all'interno del porto di Venezia attraverso la bocca di porto di Malamocco, transitino ben 16 imbarcazioni con lunghezza superiore ai 300 metri, potenzialmente in grado di originare degli impatti rilevanti come conseguenza del moto ondoso connesso al loro dislocamento.

In Tabella 13 si riportano frequenze delle ampiezze di depressione misurate, suddividendole in varie classi in relazione alla lunghezza delle navi che le hanno generate.

Tabella 13. Numero di eventi di depressione suddivisi per ampiezza della depressione generata da classi di lunghezza dello scafo diverse

Ampiezza della depressione Hmax (m)	Classi di lunghezza dello scafo						
	25-50 m	50-100 m	100-150 m	150-200 m	200-250 m	250-300 m	>300 m
<0.2	16	146	195	0	0	0	0
0.2-0.4	0	268	779	251	32	0	0
0.4-0.6	0	41	479	746	170	0	0
0.6-0.8	0	0	73	852	162	16	0
0.8-1.0	0	0	24	300	65	16	16
>1.0	0	0	8	32	24	65	0

Come si è osservato la classe più frequente di perturbazione generata è compresa tra gli 0,4 e i 0,6 m di ampiezza. A generare questo tipo d'onda sono per la maggior parte navi comprese tra i 150 m e 200 m (746 eventi). A questa classe di lunghezza vengono inoltre associate 300 eventi con Hmax comprese tra 0,6 e 0,8 metri. Per eventi di magnitudo elevata (onde superiori al metro di ampiezza)

si nota come 65 di questi, siano generati da navi di dimensioni elevate comprese tra i 250 e i 300 metri, 24 di questi eventi siano generati da navi comprese tra 200 e 250 m, 32 eventi generati da navi di 150-200 m e 8 eventi siano comunque generati da navi di dimensioni inferiori comprese tra i 100 e i 150 m.

La tabella 14 mostra invece la distribuzione delle velocità in funzione delle classi di lunghezza dello scafo proiettate su base annua.

*Tabella 14. Numero di passaggi suddivisi per velocità di transito per classe di dimensioni dello scafo.*

Velocità (nodi)	Classi di lunghezza dello scafo						
	25-50 m	50-100 m	100-150 m	150-200 m	200-250 m	250-300 m	>300 m
5-6	0	0	0	0	8	0	0
6-7	0	0	0	114	32	32	8
7-8	0	24	81	308	170	41	0
8-9	0	49	284	625	89	8	8
9-10	16	122	592	754	89	16	0
10-11	0	219	470	316	49	0	0
11-12	0	41	122	65	16	0	0
>12	0	0	8	0	0	0	0

Considerando le distribuzioni delle velocità in funzione delle dimensioni dello scafo si può osservare come solamente 8 navi all'anno di dimensioni comprese tra i 200 e i 250 m transitino lungo l'area di studio a velocità estremamente ridotte (5-6) nodi. Come anticipato la velocità di transito più frequente è compresa tra i 9 e i 10 nodi. In questo regime di velocità si hanno 592 passaggi di navi le cui dimensioni sono comprese tra 100 e 150 m, 754 transiti attribuibili a navi di dimensioni comprese tra i 150 e i 200 m, 89 passaggi di navi da 200-250 metri e 16 passaggi di navi le cui dimensioni sono comprese tra 250 m e 300 m. Nessuna imbarcazione naviga attraverso l'area di studio a velocità superiori ai 12 nodi, ma ben 16 imbarcazioni di dimensioni considerevoli, 200-250 m, transitano lungo l'area ad una velocità compresa tra gli 11 e i 12 nodi. Questo regime di velocità si stima sia mantenuto inoltre da 122 imbarcazioni di dimensioni comprese tra 100 e 150 m.

## 7.2 Le onde di depressione e la loro propagazione

I sensori di pressione impiegati all'interno del canale Malamocco-Marghera e lungo un transetto di misura nel bassofondo, hanno acquisito eventi di considerevole entità nei quali l'ampiezza delle onde di depressione ha superato in alcuni casi i 2 m.

L'evento caratterizzato dalla massima altezza dell'Hmax (2,45 m), determinata a margine canale, è associato al passaggio della nave Xin Xia Men (pescaggio di 9,4 m), transitata il giorno 26/04/2016 alle ore 17.48 UTC e diretta verso il porto di Marghera ad una velocità di 9,1 nodi. In figura 48 viene presentata l'onda di depressione registrata al margine del canale di navigazione nella stazione "Bricola 61".

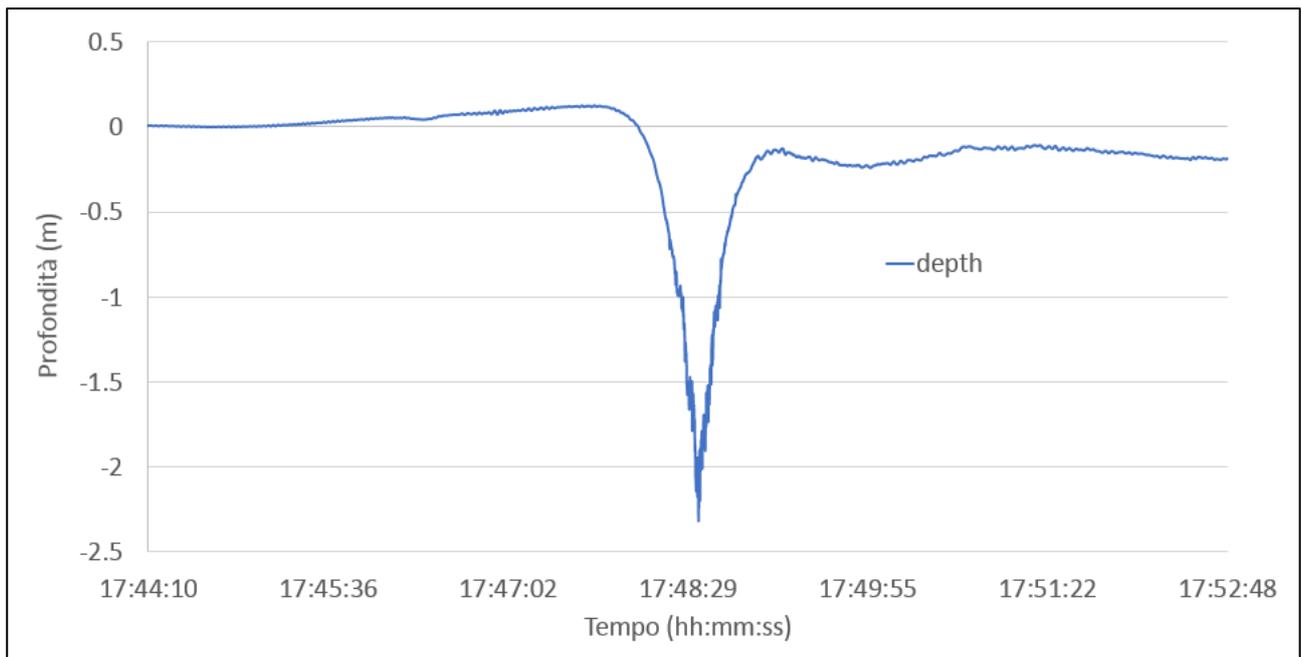


Figura 48. Onda di depressione registrata dal sensore di pressione posto nella stazione "Bricola 61" al transito della nave Xin Xia Men.

Le depressioni generate dal transito di navi di grandi dimensioni si presentano come onde a lungo periodo (fino a 60 secondi) la cui forma tipica a V subisce una distorsione allontanandosi dal canale. Dalle acquisizioni ottenute, combinate ai dati AIS relativi alle dimensioni delle imbarcazioni è possibile osservare come esista una relazione diretta tra il periodo dell'onda di depressione e la lunghezza dello scafo.

In figura 49 viene presentato il profilo batimetrico, acquisito con strumento ADCP, del transetto lungo il quale sono stati posizionati gli strumenti per la determinazione delle depressioni.

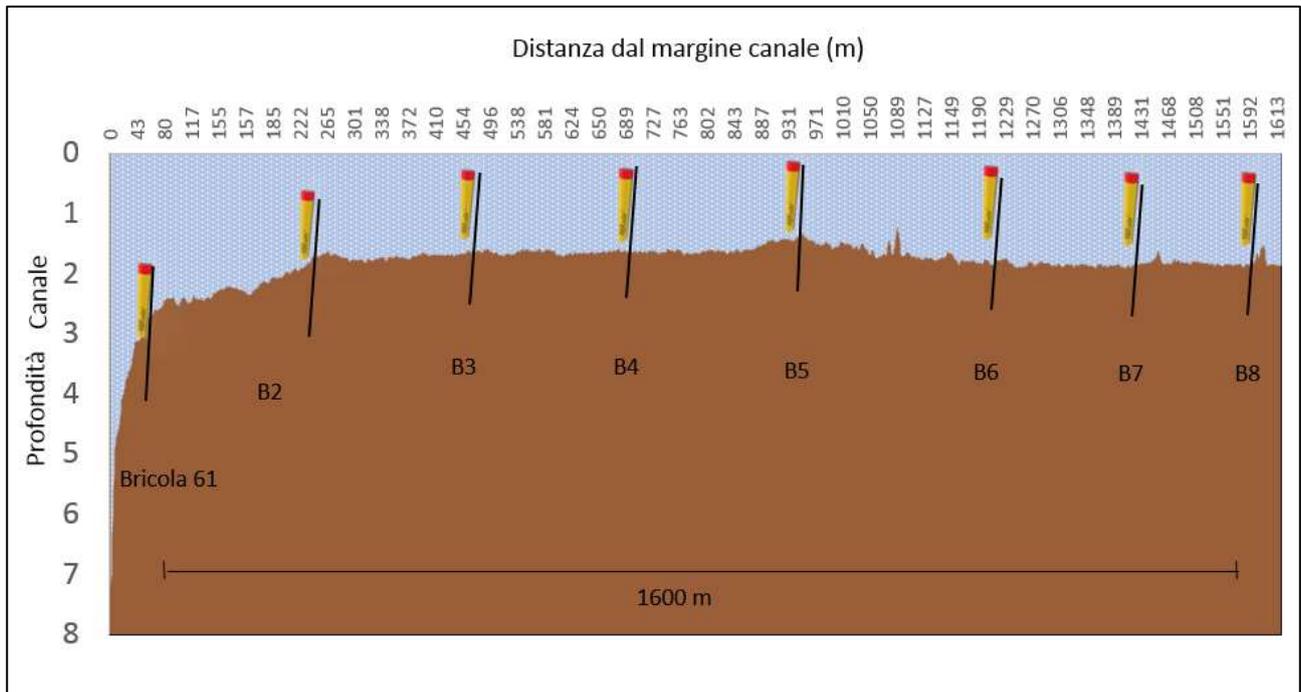


Figura 49. Profilo batimetrico dell'area a bassofondo a ovest del canale Malamocco-Marghera con la posizione degli strumenti (sensori di pressione) utilizzati per la determinazione delle onde sul bassofondo

Con il propagarsi della depressione lungo il bassofondale prossimo al canale è possibile osservare una graduale diminuzione dell'ampiezza dell'onda, la cui forma subisce una consistente variazione. Si osserva infatti una distorsione del suo fronte che subisce un repentino aumento della ripidità, dovuta all'attrito con il fondo, che porta al frangersi dell'onda stessa. In figura 50 è riportato un esempio dell'evoluzione della perturbazione generata dal transito della nave EUROCARGO PATRASSO transitata il 31 marzo 2016 ad una velocità di 10 nodi in uscita dal porto. I dati sono presentati come sovrapposizione di serie temporali acquisite dagli strumenti posti sul bassofondo i cui dati sono stati normalizzati per la profondità e sincronizzati.

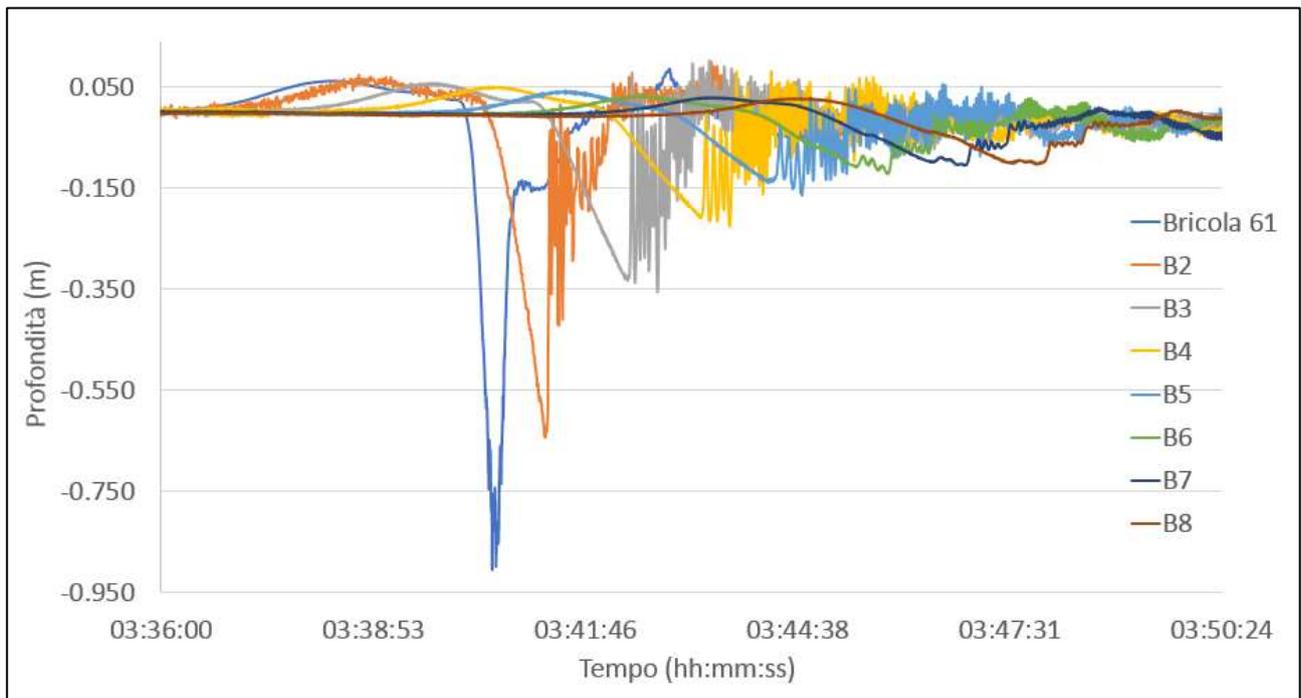


Figura 50. Andamento dell'onda di depressione registrata dagli strumenti posizionati lungo il basso fondale nel transetto B2-B8, durante il passaggio della nave EUROCARGO PATRASSO in transito il 31 marzo 2016 ad una velocità di 10 nodi.

Le registrazioni degli strumenti posizionati sul basso fondale hanno consentito di identificare ben 119 eventi significativi, dove per eventi significativi s'intendono onde di depressione il cui periodo è superiore ai 25 secondi.

Dai dati si osserva che per tutti gli eventi la gran parte dell'energia associata all'onda di depressione viene dissipata entro una distanza dal canale corrispondente alla stazione B4 localizzata a 650 m dal canale, indipendentemente dall'altezza massima iniziale dell'onda rilevata al margine (Bricola 61). Questo risultato è confermato in generale per tutti gli eventi registrati durante le quattro campagne di misura sul basso fondale. Le altezze d'onda, relative alla perturbazione principale, nella stazione B4 si riducono solitamente a 0,25 e 0,20 m. Da questa stazione in poi lo smorzamento prosegue fino ad esaurimento del segnale, ma con una minore efficacia e, nel caso delle perturbazioni maggiori, il valore dell'altezza dell'onda ad una distanza di 1650 m (in prossimità della stazione B8), è ancora dell'ordine di 0,05-0,1 m. I risultati rappresentati nella Figura 50 sono molto simili a quelli pubblicati nel lavoro di Rodin et al. (2015).

### 7.3 Gli effetti delle perturbazioni su intensità e direzione del flusso

Le misure di velocità e direzione della corrente effettuate con correntometri S4 e profilatore acustico ADCP riportano una repentina accelerazione della velocità del flusso idrico in corrispondenza dell'evento di perturbazione e una variazione nella direzione dello stesso. L'analisi dettagliata del fenomeno, registrato in molteplici occasioni al margine del canale di navigazione e a varie distanze dal canale, mettono in evidenza consistenti alterazioni che coinvolgono l'intera colonna d'acqua con conseguenze nella risospensione del materiale al fondo. Dalle analisi dei dati ADCP, registrati al margine del canale, è possibile studiare in dettaglio il fenomeno. Per chiarire meglio il processo viene presentato un esempio indicativo. La misura con ADCP effettuata sul margine ovest del canale Malamocco-Marghera, in occasione del transito della nave da crociera MSC Musica (294 m x 32 m x 7.8 m) in entrata, fornisce un valore di velocità di flusso tipico delle correnti associate al normale scambio di marea di 0,15 m/s, con l'avvicinamento della nave si registra un'accelerazione della velocità di corrente che supera i 150 cm/s (figura 51A). La direzione del moto (figura 51B) risulta essere opposta a quella di avanzamento dell'imbarcazione ( $Dir \approx 180^\circ$ ). Si attribuisce l'incremento della corrente all'onda di depressione la cui variazione di profondità provoca il richiamo e il movimento di massa d'acqua verso il canale dall'area circostante a bassofondo. Tale fenomeno è particolarmente osservabile in corrispondenza del picco di velocità (Tempo  $\approx 60$  sec) durante il quale una variazione della direzione del flusso ( $Dir \approx 225^\circ$ ) testimonia il movimento della massa d'acqua dal bassofondo verso il canale. Come osservabile in figura 51 entrambe le fasi della perturbazione coinvolgono l'intera colonna d'acqua. La componente verticale della velocità di corrente mostra un iniziale spostamento verso l'alto (figure 51C, 8-10 sec) con un picco in corrispondenza degli strati più profondi. Successivamente un movimento verticale verso il basso è visibile a 50-60 secondi ed è il risultato del flusso richiamato dal bassofondo che si muove lungo la scarpata del canale che mantiene sempre una componente parallela al canale di navigazione. Immediatamente dopo il passaggio dell'onda la velocità del flusso si ristabilisce a valori naturali. Un ulteriore supporto alle informazioni ottenute dalle misure effettuate con ADCP, viene fornito dall'analisi dei dati raccolti dallo strumento S4 posto al fondo del canale ai piedi della scarpata destra. In figura 51D l'evento registrato dal correntometro è stato sincronizzato alle acquisizioni ADCP per la tessa perturbazione, e come sottolineato dal quadrato rosso in figura 51D, (40-60 secondi) è possibile osservare come la componente idrodinamica risulti perpendicolare al canale. Questo a ulteriore conferma di come il trasporto di materiale durante il passaggio di una nave sia diretto verso l'interno del canale di navigazione dove viene successivamente depositato in particolare ai margini della cunetta dove le indagini batimetriche mostrano evidenti accumuli di materiale che poi viene successivamente dragato come specificato nella sezione 8 "discussione".

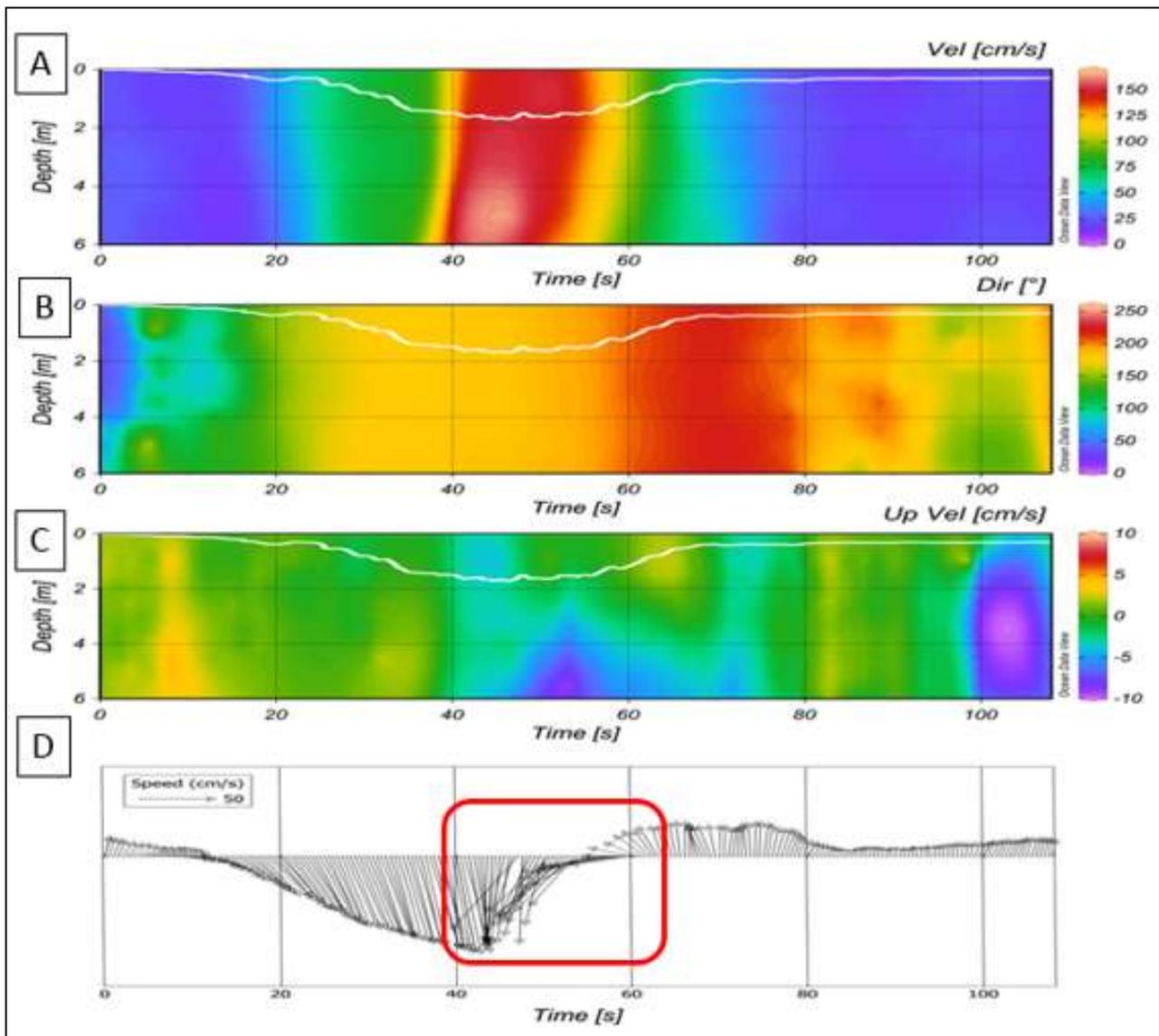


Figura 51. A) Velocità della corrente al margine del canale B) direzione del flusso idrico C) velocità verticale (valori positivi indicano un movimento verso l'alto, valori negativi verso il basso), D) vettori di direzione e intensità del flusso misurati da strumento S4 al fondo del canale durante il passaggio della nave MSC Musica.

La direzione del trasporto solido e la variazione nella direzione della corrente possono essere spiegate in modo più approfondito osservando la figura 52. Dall'elaborazione GIS dei dati raccolti dai correntometri S4, secondo la metodologia descritta nel paragrafo 6.2 "Velocità e direzione del flusso", sono state rappresentate le variazioni individuate per direzione e velocità della corrente di ogni perturbazione misurata, integrando tali dati con le acquisizioni AIS in modo da collegare le perturbazioni con la posizione della nave in transito. In figura 52 è riportata l'analisi dell'evento generato dal transito della nave mercantile HISTRIA AZURE (180 m x 32 m x 7 m) in uscita dal porto alla velocità di 8,7 nodi il primo maggio 2016. Nella figura viene evidenziato, con l'utilizzo di vettori, l'andamento del flusso idrico (direzione e velocità) in tre siti di misura posti a diverse distanze dal canale. Inoltre, sono visualizzate tre diverse fasi, per tutti gli strumenti, con i vettori che descrivono la condizione idrodinamica in relazione al posizionamento della nave lungo il canale. Nella prima fase (nave in avvicinamento alla sezione di misura) è visibile un iniziale spostamento d'acqua in prossimità della scarpata del canale, la cui direzione è opposta alla direzione di avanzamento della

nave. Tale situazione è parzialmente visibile anche nello strumento posto nel bassofondo più prossimo al canale, mentre il flusso appare indisturbato nella stazione più lontana dalla via di navigazione. Nelle successive due fasi, 2 (nave all'interno della sezione di misura) e 3 (nave che ha superato la sezione di misura) si osserva una progressiva riduzione della velocità della corrente in prossimità del canale e viene ristabilita la condizione naturale (fase 3). La perturbazione che nel frattempo si propaga sul bassofondo, influenza il comportamento del flusso nelle due stazioni di misura più lontane dal canale (200 m e 1000 m) dove si osserva una successiva accelerazione della corrente, e una variazione nella direzione del flusso che risulta ulteriormente indirizzato verso il canale di navigazione. Questa rappresentazione permette di capire come l'alterazione idrodinamica, dovuta alla formazione dell'onda di depressione, sia sufficientemente estesa da raggiungere il punto di misura più lontano, posizionato a circa 1000 m dal margine del canale.

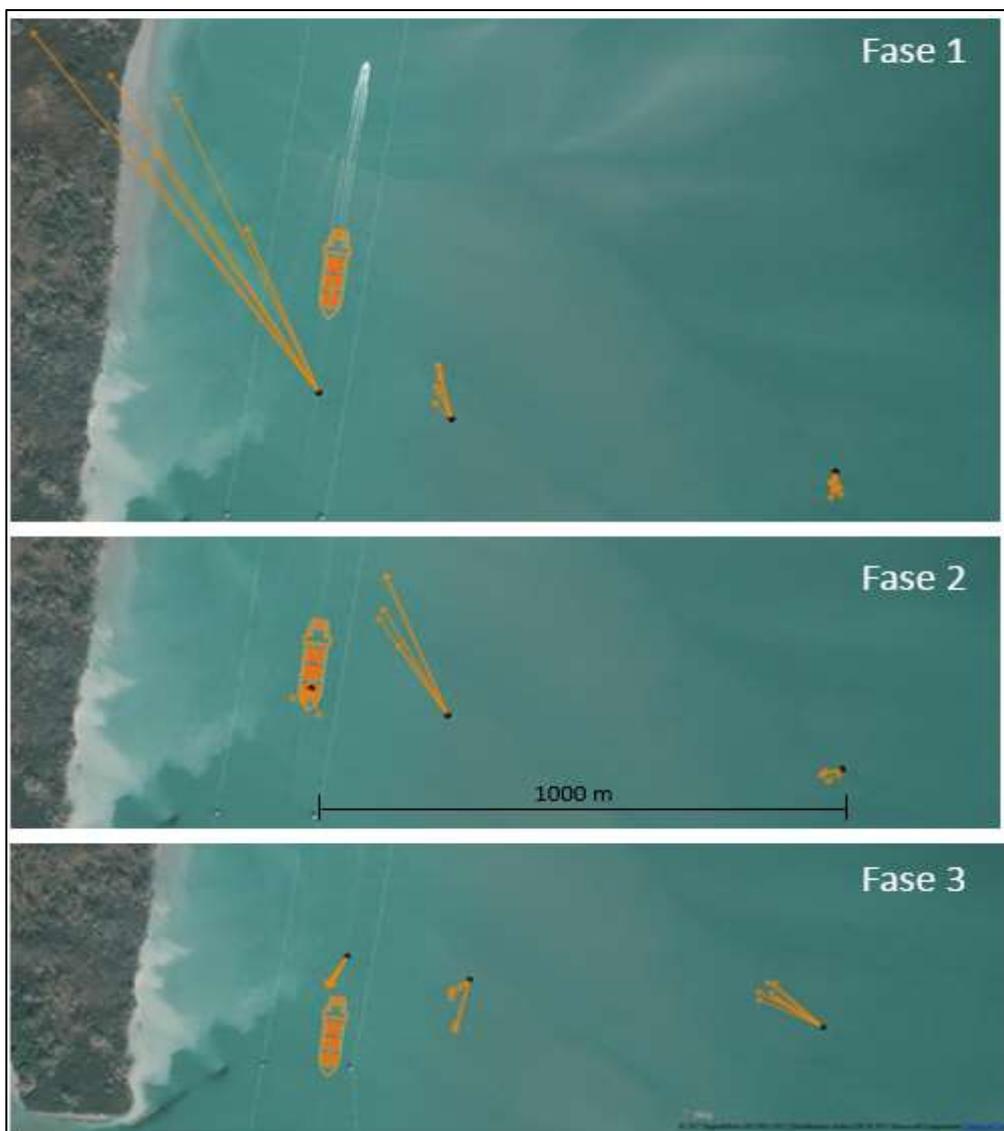


Figura 52. Rappresentazione vettoriale di velocità e direzione di flusso in relazione alla posizione della nave nel canale. Fase 1, nave che sta per raggiungere il campo sperimentale. Fase 2 nave all'interno del campo sperimentale. Fase 3 nave che ha superato il campo sperimentale. I dati fanno riferimento all'evento di perturbazione generato dal transito della nave HISTRIA AZURE in uscita dal porto ad una velocità di 8.7 nodi.

A conferma della rappresentazione vettoriale si riportano, in figura 53, le misure di velocità registrate dai correntometri al fondo per lo stesso evento (transito nave HISTRIA AZURE 180 m x 32 m x 7 m). Dalle tre serie temporali sovrapposte è possibile notare come la perturbazione idrodinamica che si propaga sul bassofondo influenzi il normale flusso di marea con un picco della velocità chiaramente visibile fino alla stazione di misura più lontana posta a 1000 metri di distanza dal canale. Per una perturbazione come quella descritta, la cui Hmax è di 0,7 m, si ha un incremento della velocità di corrente che arriva ad oltre 160 cm/s all'interno del canale mentre la velocità raggiunge 60 cm/s e 40 cm/s rispettivamente a 200 metri e 1000 metri dal margine del canale. Si tratta di velocità di corrente molto più elevate di quelle che si possono riscontrare in condizioni naturali, anche durante eventi meteomarinari di forte intensità.

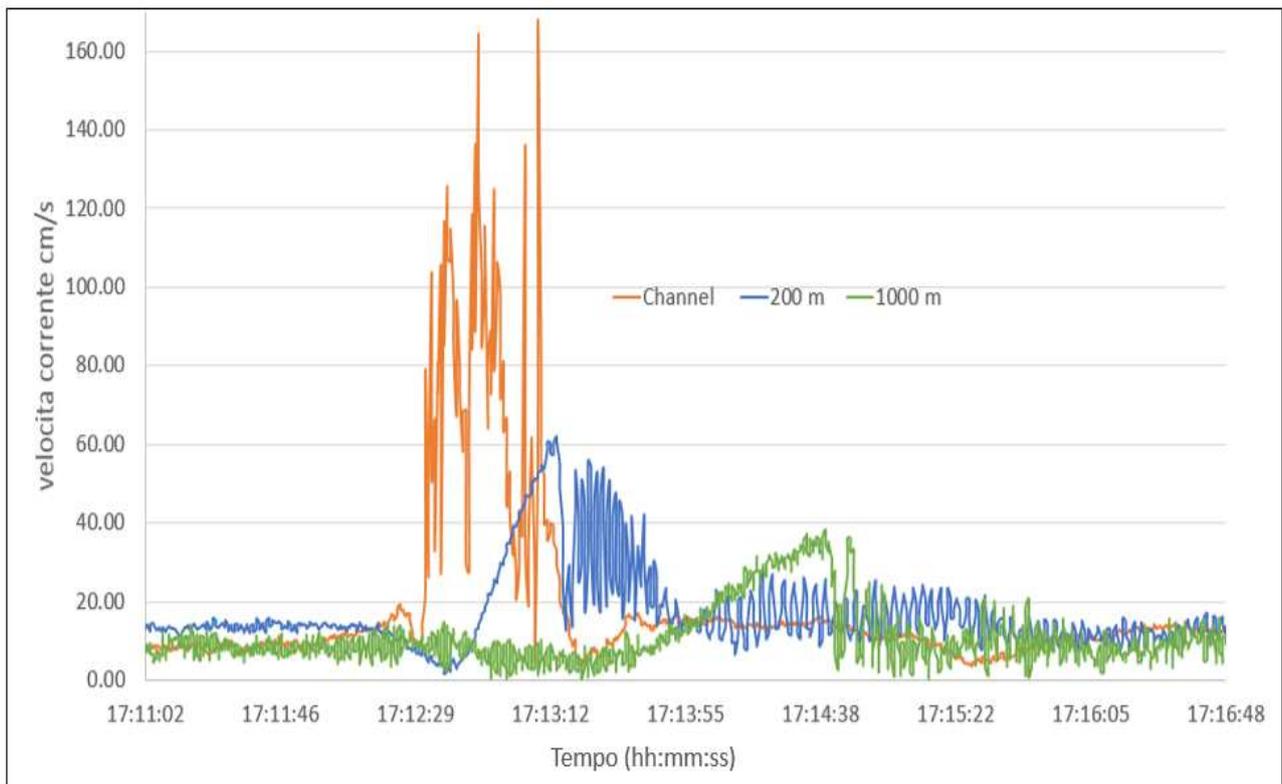


Figura 53. Velocità di corrente misurate dagli strumenti S4 installati nelle stazioni "centro canale", B2 e B4 durante l'evento generato dal transito della nave HISTRIA AZURE in uscita dal porto ad una velocità di 8.7 nodi.

Una dinamica come quella descritta genera la risospensione e il trasporto di una considerevole quantità di sedimento il cui effetto risulta amplificato dal susseguirsi degli eventi dovuti ai continui transiti.

## 7.4 Gli effetti del traffico sulla torbidità

L'accelerazione repentina del flusso e l'aumento dello shear stress al fondo provocano la risospensione del materiale con conseguente innalzamento dei valori di torbidità nell'area soggetta alle perturbazioni investigate. In figura 54 si riporta la variazione di torbidità per l'evento di perturbazione generato dalla nave HISTRIA AZURE della quale si sono già analizzate la variazione nella velocità e direzione di flusso durante l'evento di perturbazione.

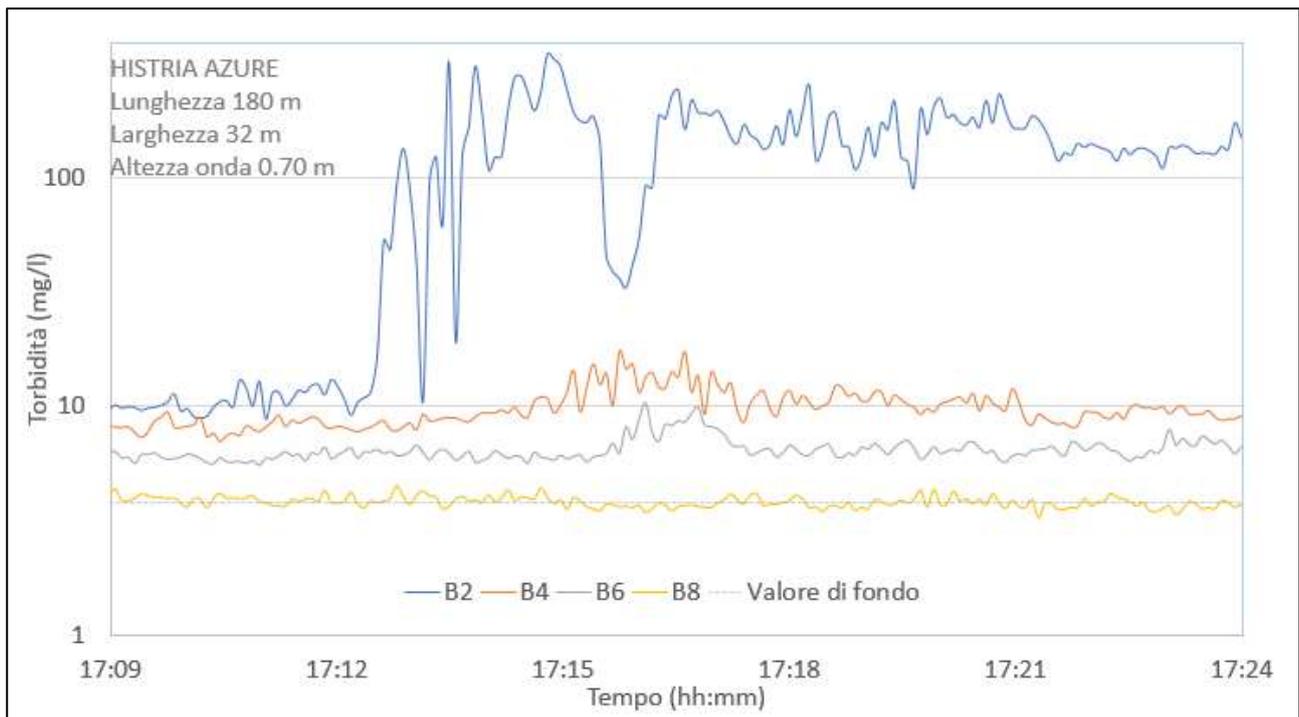


Figura 54. Concentrazione del particolato solido sospeso ottenuta dalla calibrazione del sensore obs con la concentrazione dei solidi misurata in campioni d'acqua. Valori ottenuti dagli strumenti Aqualogger installati nelle stazioni B2, B4, B6, B8 durante l'evento generato dal transito della nave HISTRIA AZURE in uscita dal porto ad una velocità di 8.7 nodi il primo maggio 2016. Asse Y presentato in scala logaritmica.

Dal grafico si può notare come, soprattutto per la stazione B2 limitrofa al canale, ci sia un repentino incremento della torbidità, che raggiunge un valore massimo di 350 mg/l per poi mantenersi elevato per un lungo intervallo di tempo (oltre 12 minuti) successivamente alla perturbazione. Nelle stazioni più distanti dal canale tale comportamento risulta decisamente attenuato rispetto alla stazione B2, ma in ogni caso comporta un incremento apprezzabile rispetto ai valori ambientali in assenza di perturbazione. Viene considerato come valore di fondo il dato proveniente dallo strumento B8 localizzato a oltre 1200 m dal canale, sulle cui serie temporali non sono osservabili alterazioni dovute al passaggio di navi. Per ogni stazione, anche se con diversa intensità si verifica quindi un innalzamento della torbidità in corrispondenza dell'evento.

Per analizzare più in dettaglio come possono variare i valori di torbidità con navi di diverse dimensioni sono presentati in figura 55 tre esempi differenti relativamente a navi di dimensioni diverse.

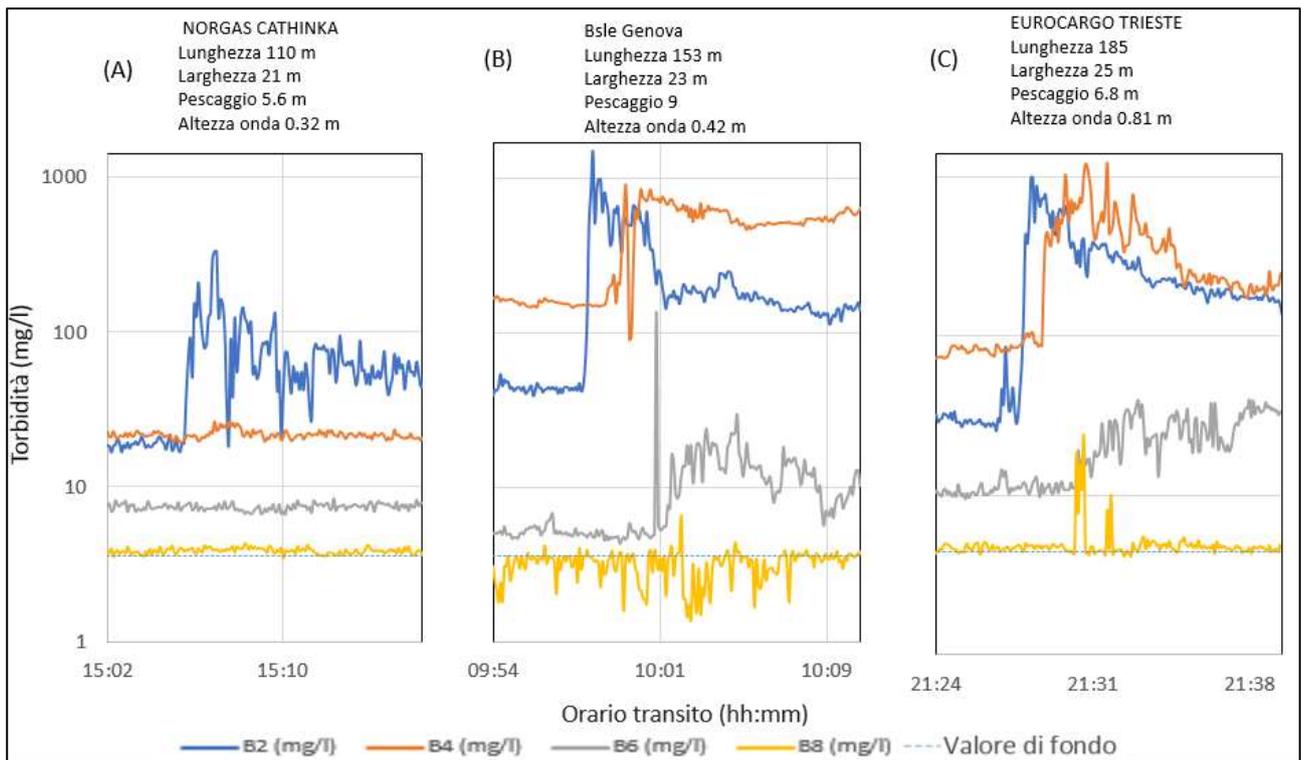


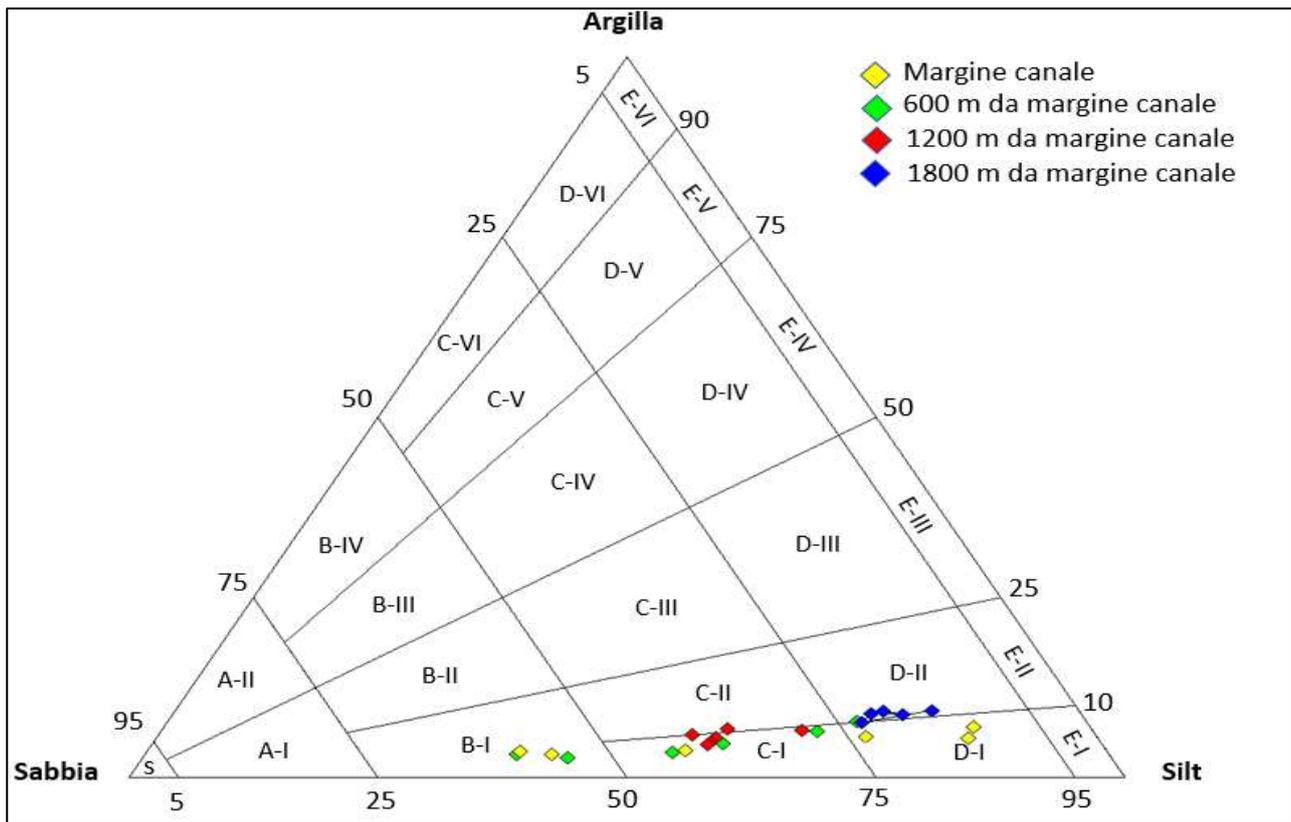
Figura 55. Torbidità misurata dagli strumenti Aqualogger installati nelle stazioni B2, B4, B6, B8 durante l'evento generato dal transito della nave: a) NORGAS CATHINKA, b) BSLE GENOVA, c) EUROCARGO TRIESTE.

La torbidità presenta valori molto elevati nella stazione B2 qualsiasi sia l'altezza dell'onda di depressione iniziale, qui rimane elevata per lungo tempo dopo il passaggio delle navi. Gli effetti nella stazione B4 sono tanto più visibili quanto più marcata risulta essere l'onda di depressione iniziale. Per quanto più basse rispetto alla stazione B2, le concentrazioni nella stazione B4 raggiungono valori più di 4 volte superiori ai valori misurati in assenza di perturbazione e si mantengono tali per un periodo di tempo altrettanto lungo. Le concentrazioni massime raggiungono frequentemente, e in diversi casi superano, i 1000 mg/l, un valore di un ordine di grandezza superiore a quello che si può rilevare in condizioni di moto ondoso indotto da episodi di vento particolarmente intenso (vento di Bora). Come valore naturale di fondo viene considerato il dato medio fornito dalle acquisizioni nella stazione B8 in quanto indisturbata anche nel caso di eventi a magnitudo elevata.

## 7.5 Tipologia di sedimento al fondo e risospeso

La classificazione tessiturale più comune dei campioni di sedimento è basata sulla diversa percentuale di sabbia (>63  $\mu\text{m}$ ), silt (63  $\mu\text{m}$  e 2  $\mu\text{m}$ ) e argilla (<2  $\mu\text{m}$ ). I risultati sono presentati in diagrammi ternari che riportano per ogni vertice il 100% di sabbia, silt e argilla. Per questo studio è stata utilizzata la classificazione di Flemming (2000) in quanto classifica, in modo più dettagliato, la tessitura del sedimento. Questa prevede un numero elevato di classi tessiturali (25), fornisce informazioni sull' "energia idrodinamica" dell'ambiente di deposizione e suggerisce una nomenclatura per ogni classe descritta, accompagnata da un codice alfanumerico, sulla base della percentuale di sabbia/silt/argilla.

La composizione tessiturale dei 24 campioni di sedimento superficiali raccolti nell'area a bassofondo, limitrofa al canale Malamocco-Marghera, è illustrata in figura 56.



Codice	Classe	Codice	Classe
S	sabbia	D-I	fango estremamente siltoso poco sabbioso
A-I	sabbia poco siltosa	D-II	fango molto siltoso poco sabbioso
A-II	sabbia poco argillosa	D-III	fango siltoso poco sabbioso
B-I	sabbia molto siltosa	D-IV	fango argilloso poco sabbioso
B-II	sabbia siltosa	D-V	fango molto argilloso poco sabbioso
B-III	sabbia argillosa	D-VI	fango estremamente argilloso poco sabbioso
B-IV	sabbia molto argillosa	E-I	Silt
C-I	fango sabbioso estremamente siltoso	E-II	silt poco argilloso
C-II	fango sabbioso molto siltoso	E-III	silt argilloso
C-III	fango sabbioso siltoso	E-IV	argilla siltosa
C-IV	fango sabbioso argilloso	E-V	argilla poco siltosa
C-V	fango sabbioso molto argilloso	E-VI	Argilla
C-VI	fango sabbioso estremamente siltoso poco sabbioso		

Figura 56. Classificazione secondo Flemming (2000) dei 24 campioni di sedimento di fondo suddivisi in relazione alla loro distanza dal canale.

Nel diagramma sono riportati i 24 campioni con colori differenti suddivisi in 4 gruppi in relazione alla loro distanza dalla via di navigazione. I campioni raccolti a 1800 metri dal canale (rombi blu) sono molto simili tra loro e classificati come fango molto siltoso poco sabbioso. I campioni a 1200 metri dal canale sono anch'essi simili tra loro, ma presentano una percentuale in sabbia superiore rispetto al precedente gruppo (1800 m dal canale) e sono classificati come fango sabbioso estremamente siltoso. I restanti campioni di sedimento prelevati al margine del canale e a 600 metri dallo stesso, sono più eterogenei con percentuali di sabbia e silt più variabili. Questi ultimi due gruppi variano da sabbia molto siltosa a fango sabbioso estremamente siltoso a fango estremamente siltoso poco sabbioso. In tabella 15 per ogni campione sono riportati i dati relativi ai principali parametri tessiturali.

*Tabella 15. Statistiche riassuntive relative all'indagine granulometrica condotta su 24 stazioni nel bassofondo a ovest del canale Malamocco-Marghera.*

wpt	longitudine	latitudine	% sabbia	% silt	% argilla	Media ( $\mu\text{m}$ )	Moda 1 ( $\mu\text{m}$ )	Moda 2 ( $\mu\text{m}$ )	D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ ):
1	12.26339	45.38964	56	40.8	3.3	59.5	213.5	75.5	80.5
2	12.27115	45.38964	59.5	37.3	3.2	61.3	213.5	37.8	105.4
3	12.27892	45.38964	36.6	56.6	6.8	27.5	213.5	26.7	30.5
4	12.28669	45.38964	19.6	71.1	9.2	15.6	37.8	9.5	16.3
5	12.26166	45.38175	11.7	81.2	7	14.7	18.8		16.6
6	12.2696	45.38187	38	57.2	4.7	30.6	106.7		41.7
7	12.27719	45.38175	40.5	53.6	6	31.2	163	26.7	36.4
8	12.28496	45.38175	17.9	73.3	8.8	15.5	26.7		15.9
9	12.2601	45.37398	23.1	71.2	5.7	20.9	53.4		25.4
10	12.26787	45.37398	54.6	42.6	2.7	50.4	137		72.8
11	12.27582	45.3741	38.3	56.1	5.6	28.6	106.7		37.2
12	12.28341	45.37398	21	70	8.9	16.9	53.4		19.2
13	12.25872	45.36633	13	81.4	5.5	17.7	26.7		20.2
14	12.26649	45.36633	43.7	52.8	3.5	36.8	106.7		51.9
15	12.27426	45.36633	29.2	64.2	6.6	22.4	75.5		29.3
16	12.28203	45.36633	22.6	69.7	8.7	18.1	53.4		21.6
17	12.25699	45.35844	42.3	54	3.8	51.3	37.8	427	46.8
18	12.26476	45.35844	27.7	65.9	6.5	22.0	75.5		25.7
19	12.27253	45.35844	39.2	55.9	4.9	34.8	53.4	302	41.0
20	12.2803	45.35844	14.7	76	9.3	14.7	37.8		17.7
21	12.25632	45.35117	45.9	49.1	5	44.6	302	18.9	48.6
22	12.26321	45.35067	58.9	37.4	3.7	63.3	302		95.9
23	12.27098	45.35067	23.1	69.2	7.8	19.2	53.4		25.3
24	12.27875	45.35067	39.6	55.8	4.6	32.6	75.5		44.6

I campioni analizzati sono prevalentemente unimodali, la media varia da un valore minimo di 14,7  $\mu\text{m}$  per i campioni 5 e 20 ad un massimo di 63,3  $\mu\text{m}$  nel campione 22. Il D<sub>50</sub> invece, ha il valore minimo (15.9  $\mu\text{m}$ ) nel campione 8 e massimo (105.4  $\mu\text{m}$ ) nel campione 2.

Una rappresentazione spaziale dei campioni e le relative percentuali di sabbia, silt e argilla è presentata in figura 57. Si rileva come la percentuale di argilla nei sedimenti prossimi al canale Malamocco-Marghera sia più limitata rispetto a quelli più distanti. I campioni con una percentuale d'argilla maggiore si trovano nelle stazioni 4, 8, 12 e 16, queste sono localizzate a nord est e sono le più distanti dal canale (1800 m), e nel campione 20, raccolto nel bassofondo in prossimità di un ghebo. Le stazioni con la maggiore percentuale di sabbia sono la 1 (56%) e la 2 (60%) che sono localizzate a nord ovest dell'area di studio, e le stazioni 10 (54%) e 22 (59%) rispettivamente localizzate nella parte centrale dell'area indagata e a sud in prossimità della curva del canale Malamocco-Marghera.

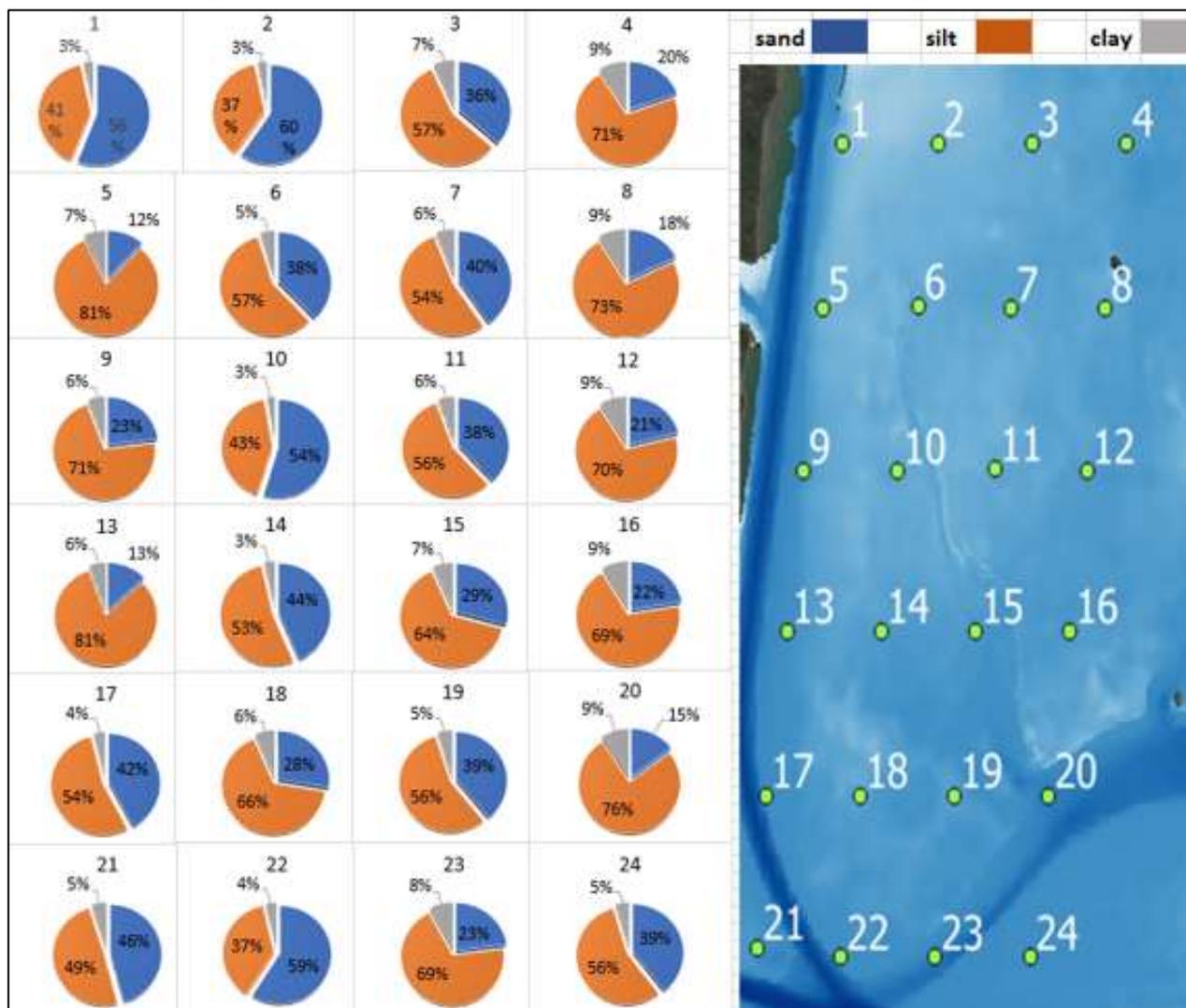


Figura 57. Percentuale di sabbia, silt e argilla per ognuno dei 24 campioni di sedimento analizzati (riquadro di sinistra). A destra rappresentazione spaziale dei campioni raccolti. Nelle stazioni contraddistinte da punto verde si sono eseguiti campionamenti di sedimento superficiali, in quelle in rosso in aggiunta al campione superficiale sono state prelevate anche carote fino ad una profondità di 40 cm.

Le tabelle delle analisi granulometriche complete per ogni campione sono consultabili in allegato 2.

La caratterizzazione tessiturale dell'area di studio è stata inoltre integrata con l'analisi sedimentologica e tomografica delle carote.

L'analisi tomografica condotta in tutte le carote ha evidenziato una stratigrafia rimaneggiata non più riconoscibile, probabilmente indice di un ambiente sedimentario altamente dinamico e antropizzato. In generale le carote analizzate si presentano con una struttura piuttosto eterogenea, con evidente rimescolamento dei materiali e con presenza di elevate quantità di materiale biogenico che rendono il segnale tomografico estremamente variabile e di difficile lettura. La tecnica di analisi tomografica permette di rappresentare la distribuzione spaziale dell'assorbimento dei raggi X lungo la carota di sedimento, e tale assorbimento dipende prevalentemente dalla granulometria e dalla densità del materiale analizzato. Va sottolineato come a densità più alte e a numeri atomici più elevati siano associati assorbimenti maggiori (Tanaka et al 2010). L'analisi tomografica produce immagini a scala di grigi la cui tonalità è dipendente dal valore di assorbimento. L'originale stratificazione sedimentaria è parzialmente visibile solo nella carota campionata nella stazione 2 (figura 58).

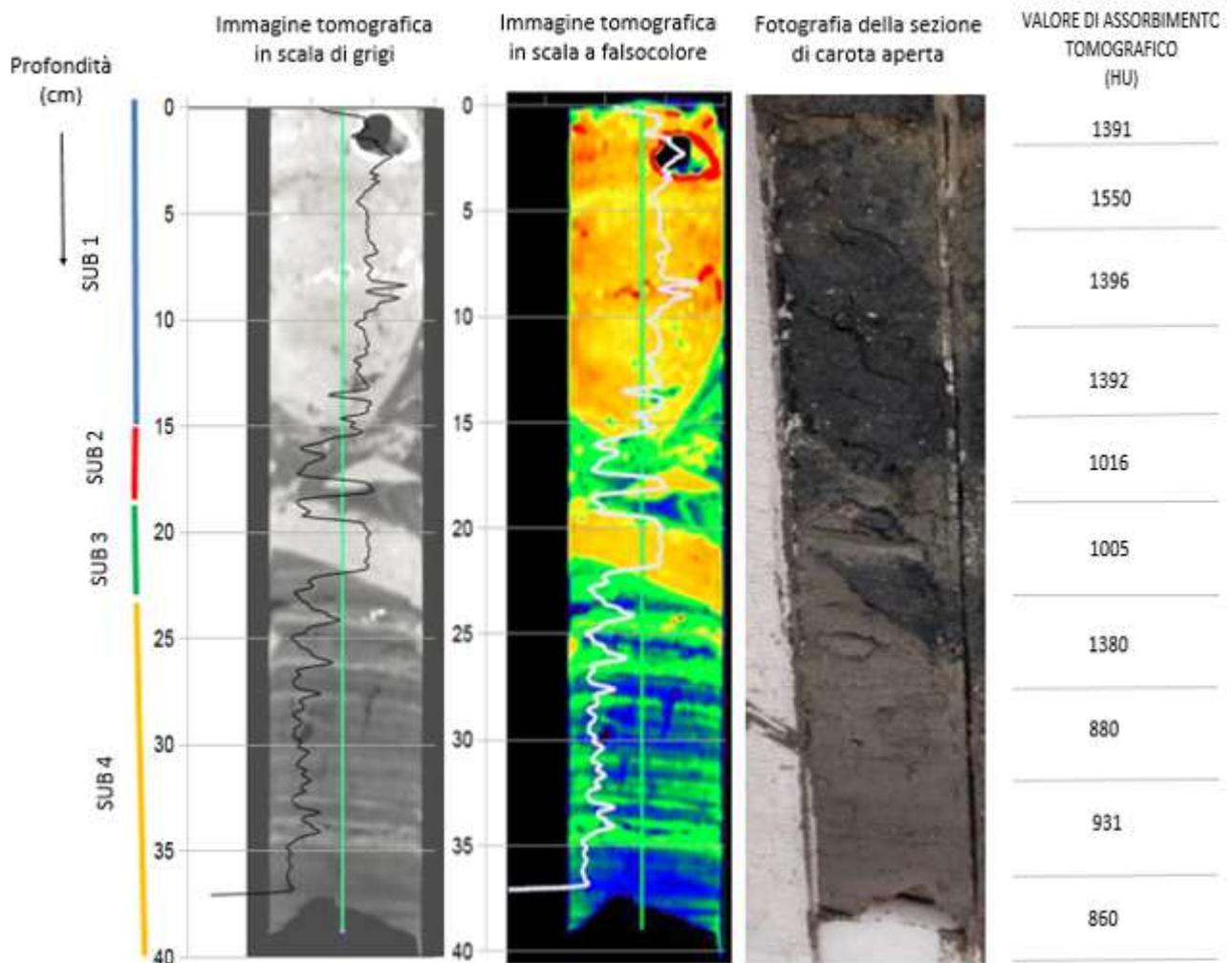


Figura 58. Immagine tomografica espressa sia con scala di grigio che con scala cromatica con sovrapposizione della curva CT/cm. Fotografia della sezione della carota aperta. Carota stazione 2.

Le immagini tomografiche ottenute dall'analisi effettuata sulla carota 2 hanno permesso di identificare quattro sub unità principali, a partire dalla 1 la più superficiale fino alla 4 la più profonda. La subunità 1 costituisce i primi 15 cm della carota, è caratterizzata da materiali con alti valori di assorbimento tomografico (>1300 HU<sup>7</sup>) corrispondenti a tonalità di grigio più chiaro nell'immagine ricostruita.

La subunità 2 è compresa tra i 15 e i 19 cm e si presenta decisamente più eterogenea rispetto alla subunità soprastante. Il materiale di questa sub unità è variabile e prevalentemente con assorbimento tomografico inferiore. L'assorbimento di questa subunità non è superiore a 1050 HU. In corrispondenza della subunità 2 è possibile inoltre individuare lenti sottili di materiale a maggior assorbimento con valori riconducibili alla subunità 1. La subunità 3 si presenta come una lente inclinata a 45° ben definita di materiale omogeneo dallo spessore di 3 cm. Questa si estende dai 20 ai 23 cm di profondità ed è caratterizzata da assorbimenti tomografici elevati i cui valori eguagliano quelli misurati nella parte superiore della carota. Una prima analisi su questo orizzonte mostra un assorbimento tomografico elevato (1380 HU) La parte della carota più profonda, classificata come subunità 4, che si estende da 23 a 40 cm presenta una stratigrafia regolare molto ben conservata caratterizzata da valori di assorbimento tomografico bassi <1000 HU.

La carota 2 è stata inoltre analizzata per ottenere una datazione, utilizzando i metodi della spettrometria alfa e gamma per fare eventuali valutazioni sul tasso di sedimentazione. Nel campione trattato sono stati determinati i radioisotopi del <sup>210</sup>Pb e <sup>137</sup>Cs. La carota si presenta priva di segnali chiaramente identificabili (figura 59), infatti i valori di <sup>210</sup>Pb sono pressoché costanti lungo tutta la carota e presentano una media di 19,15 Bq/kg. Un valore medio molto simile (17.6 Bq/kg è stato individuato anche da Zonta et al., 2018 su carote raccolte in posizioni limitrofe e in studi precedenti di Battiston et al.,1988 Cochran et al., 1998; Frignani et al., 1997. Nella parte più superficiale (0,5 cm) è presente un picco di attività di <sup>210</sup>Pb (28 Bq/kg) il cui valore è di 9 Bq/kg superiore alla media dei valori ottenuti nei livelli sottostanti. Per quanto riguarda il <sup>137</sup>CS i profili verticali di attività misurata non mostrano picchi caratteristici riconducibili ai test nucleari (1963-1964) o all'incidente di Chernobyl (1986).

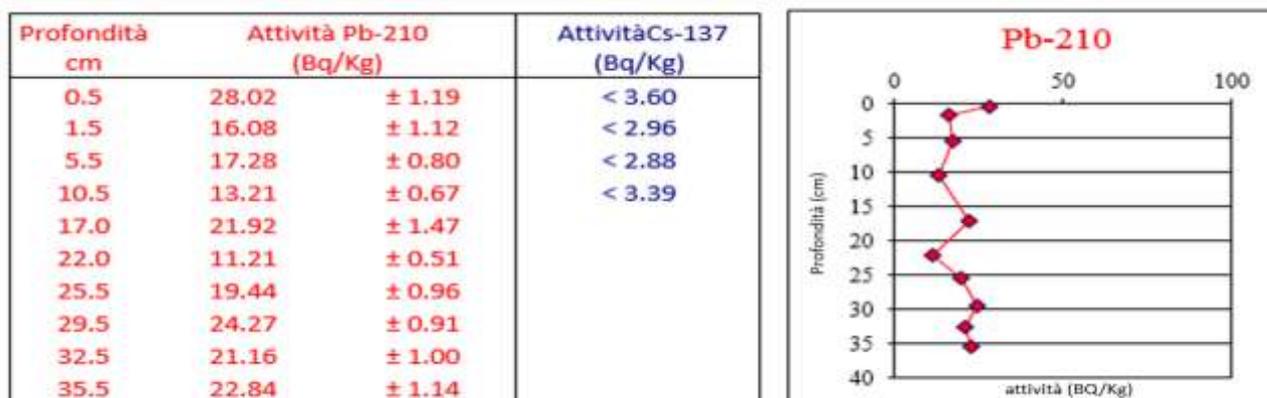


Figura 59. Misura dell'attività in Bequerel/kg, a profondità progressive, dei radionuclidi Pb-210 e Cs-137 utilizzati per la datazione della carota. A destra rappresentazione grafica dell'andamento dell'attività di Pb-210 in relazione alla profondità di campionamento.

<sup>7</sup> La scala Hounsfield anche chiamata numero CT, è una scala di unità di misura usata per descrivere quantitativamente la radiodensità.

## 7.6 Variazioni morfologiche delle aree sommerse

Nelle 24 stazioni in cui sono stati prelevati i campioni di sedimento sono stati effettuati i rilievi batimetrici negli anni 2015 e 2017. In figura 60 vengono illustrate le variazioni batimetriche osservate nelle stazioni durante questo intervallo temporale.



Figura 60. Gli istogrammi rappresentano le profondità per i due anni (2015 e 2017) in cui sono stati effettuati i rilievi. A destra la distribuzione delle 24 stazioni campionate nell'area a bassofondo a ovest del canale Malamocco-Marghera.

Il confronto delle batimetrie delle 24 stazioni, effettuato nei due anni, uno nel 2015, e uno nel 2017, permette di osservare variazioni di profondità consistenti in particolare per alcune stazioni. La media delle differenze di profondità dell'intera area di studio è di  $-0,05$  m. Va specificato che tale valore si avvicina a quello che può essere considerato l'errore da cui è affetta la metodologia. Si vuole sottolineare però che si tratta del valor medio. Laddove ci siano modificazioni rilevanti queste sono infatti maggiori dell'eventuale incertezza della metodologia. Questo evidenzia un progressivo approfondimento generale di tutta l'area a bassofondo. In particolare, nelle stazioni limitrofe al canale di navigazione (1, 5, 9, 13, 17, 22) è stato determinato un approfondimento medio significativo di  $-0,12$  m. Le stazioni poste a 600 metri dal canale (2, 6, 10, 14, 18) hanno perso mediamente  $-0,07$  m dal 2015 al 2017. Buona parte delle stazioni misurate ha subito un aumento della profondità con un valore di approfondimento tanto maggiore quanto più prossime al canale Malamocco-Marghera, mentre le stazioni localizzate nella zona più ad est nell'area di studio (4, 8,

12, 16, 20, 24), distanti 1800 m dal canale di navigazione risultano in accrescimento con una riduzione media di profondità di +0,02m.

Ulteriori variazioni morfologiche dell'area sommersa sono state osservate anche dalle misure batimetriche condotte con profilatore acustico (figura 61) lungo due transetti acquisiti perpendicolarmente al canale Malamocco-Marghera. In figura 62 e 63 si presentano le variazioni batimetriche avvenute tra il 2015 e il 2017 lungo i due transetti acquisiti in prossimità delle stazioni sperimentali di Fusina e Malamocco.

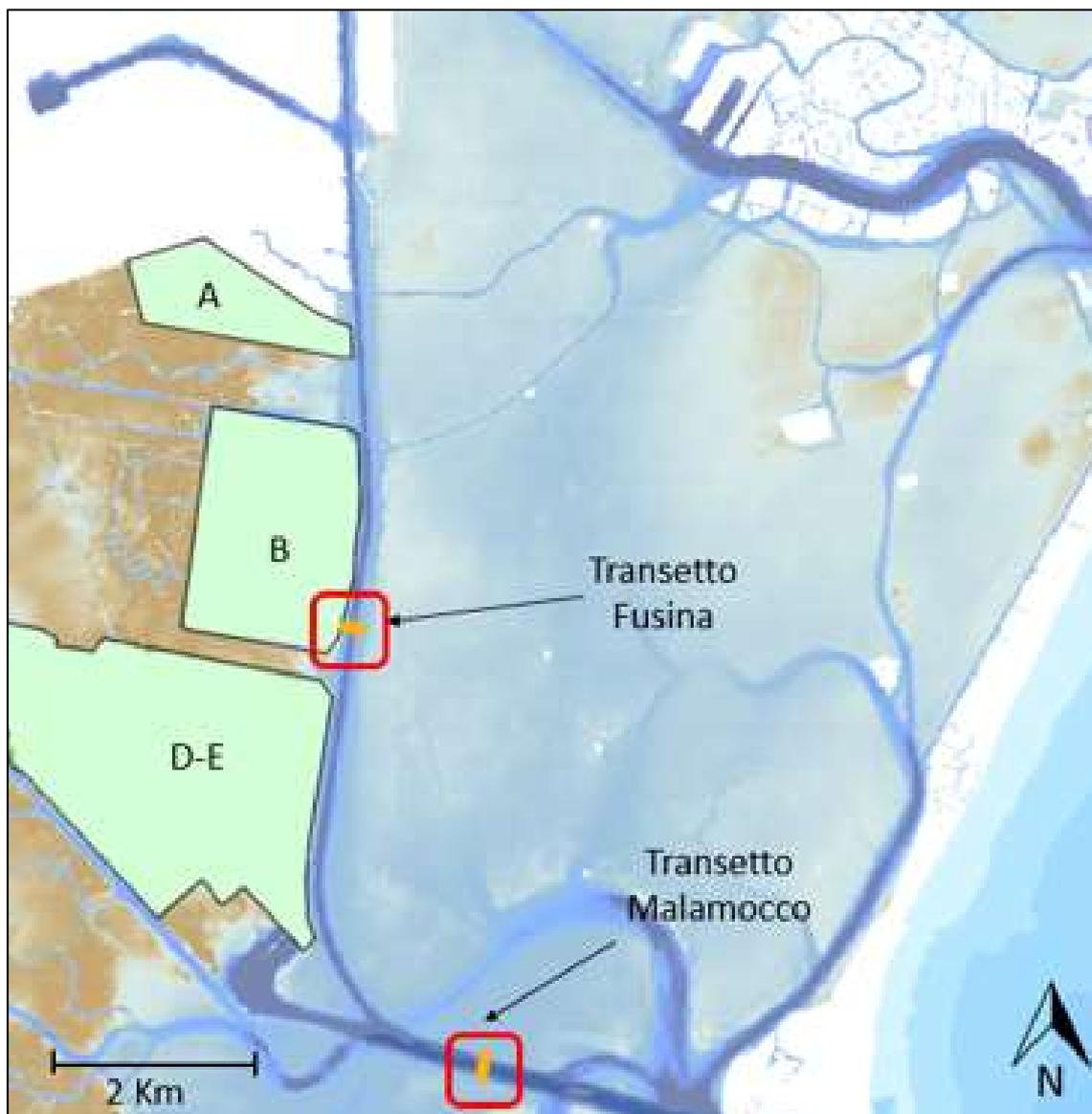


Figura 61. Mappa con le posizioni dei due transetti di misura effettuati con ADCP per l'acquisizione del profilo batimetrico della sezione del canale Malamocco-Marghera.

Nell'area di misura di Malamocco (figura 62) le variazioni morfologiche lungo il transetto perpendicolare al canale risultano limitate, la sezione si presenta perlopiù invariata. Il margine est mantiene una pendenza di 14,5% mentre quello ovest di 22,6%. Al fondo è osservabile un accumulo di sedimenti nella parte più profonda dove si rileva una variazione batimetrica media di circa + 0,20 m nel periodo considerato.

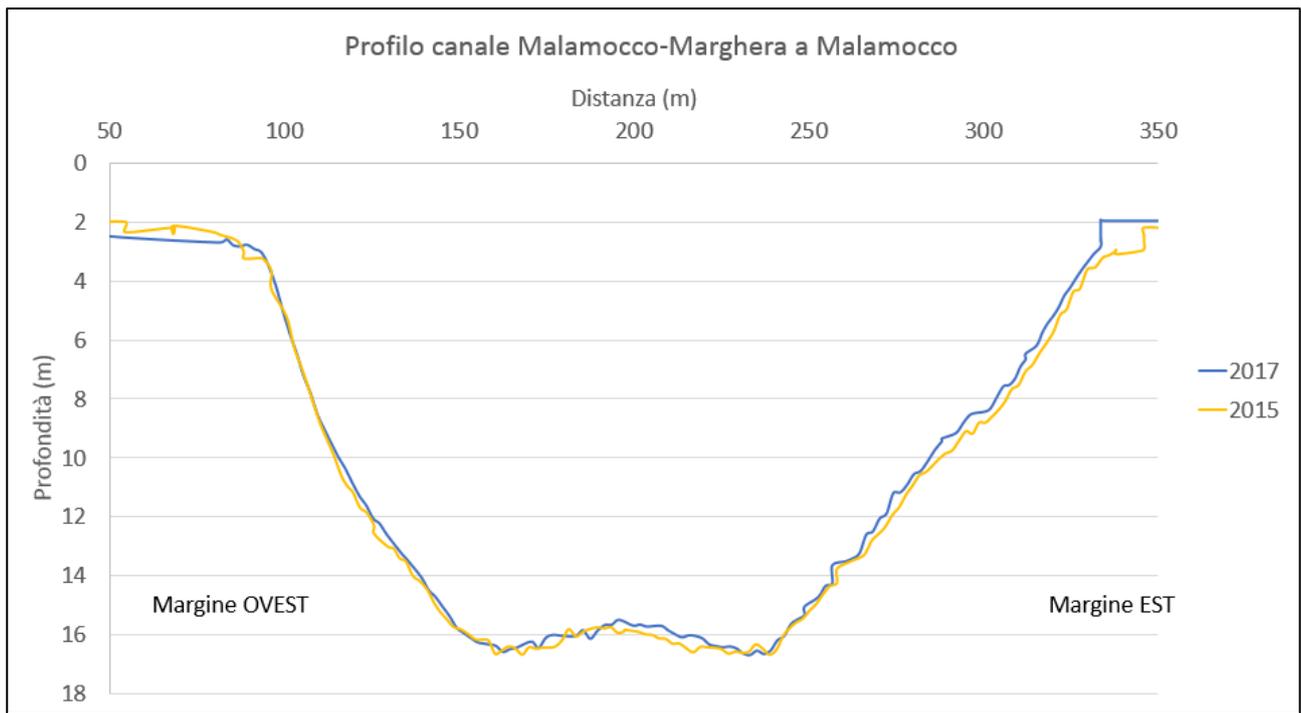


Figura 62. Confronto di due profili batimetrici trasversali al canale di navigazione in prossimità di Malamocco. In giallo batimetria acquisita nel 2015 e in azzurro nell'anno 2017.

Nel transetto di Fusina, in prossimità della cassa di colmata B, le misure evidenziano importanti variazioni all'interno del canale (figura 63).

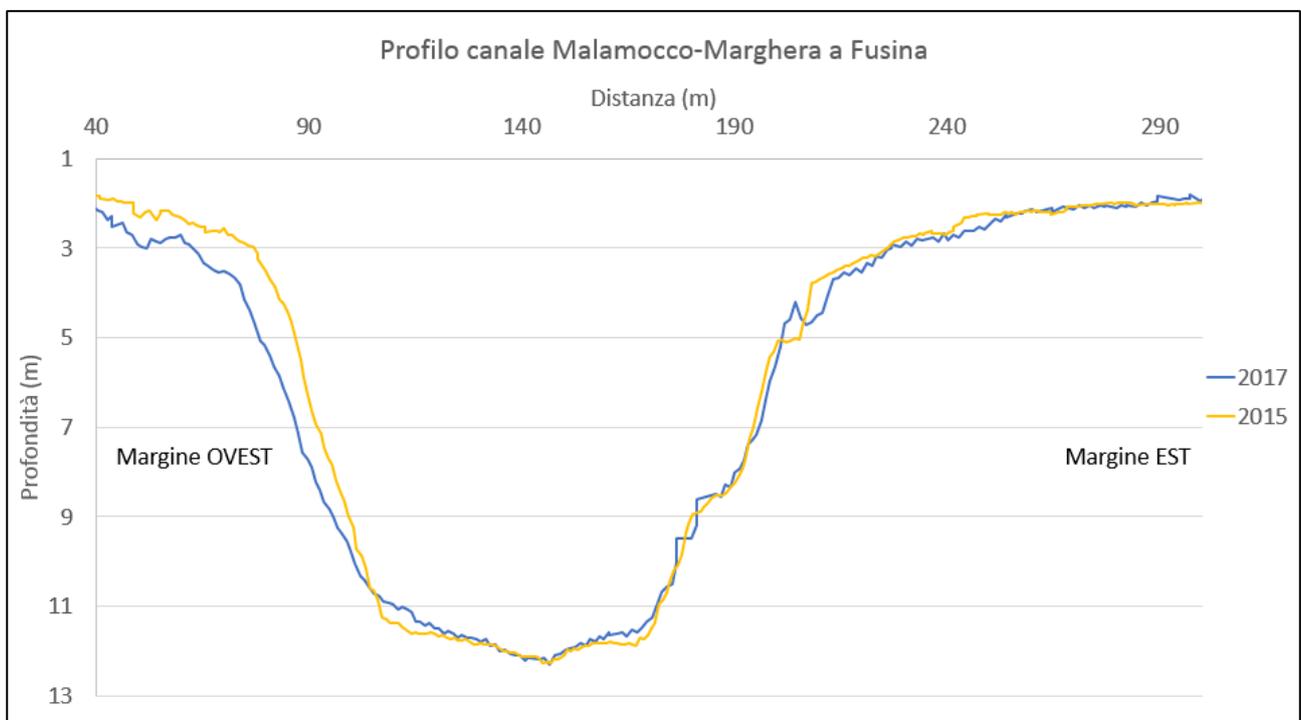


Figura 63. Confronto di due profili batimetrici trasversali al canale di navigazione in prossimità di Fusina. In giallo batimetria acquisita nel 2015 e in azzurro nell'anno 2017.

Il margine ovest del canale risulta fortemente eroso, come si evince da un'importante variazione della pendenza. Nel 2015 la pendenza misurata era del 30% mentre nel 2017 è stata del 23%. Al

contrario è osservabile una deposizione di sedimento sul fondo del canale stesso con consistente riduzione della profondità massima. Sul margine ovest della sezione tra il 2015 e il 2017 si sono depositati +0,43 m di sedimento, mentre sul margine est nello stesso periodo +0,21 m (Figura 64).

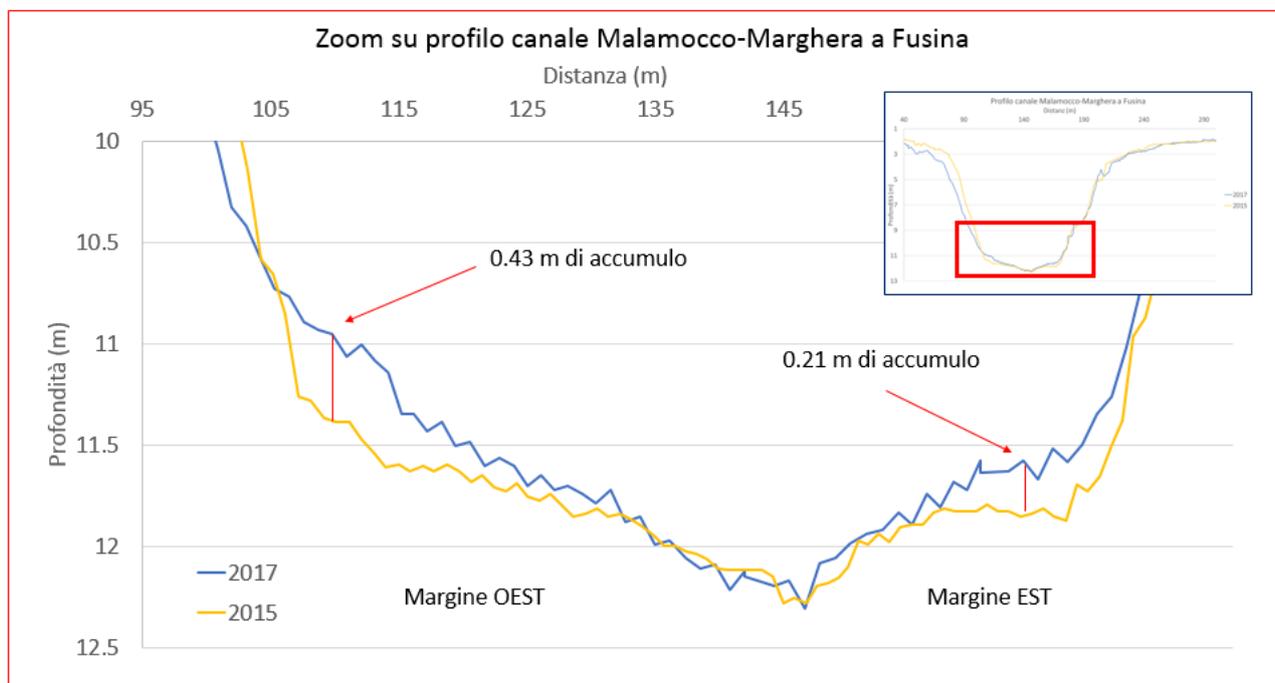


Figura 64. Particolare della variazione batimetrica nella sezione del canale di navigazione in prossimità di Fusina. Si evidenzia l'accumulo di sedimento al fondo avvenuto nel periodo compreso tra i due rilievi batimetrici. Le linee rosse indicano la variazione dello spessore di sedimento.

Il transetto acquisito a Fusina si trova in corrispondenza dell'area di canale dove si è calcolato il valore dell'indice  $V_i$  (descritto al paragrafo 6.8) più elevato, ad ulteriore conferma che queste misure batimetriche siano state eseguite in un'area estremamente critica dove gli effetti della navigazione sono particolarmente intensi.

## 7.7 Variazioni morfologiche delle aree emerse confinanti con il canale

Le forme emerse limitrofe al canale di navigazione o confinanti con il porto canale stesso subiscono consistenti alterazioni dovute alle perturbazioni idrodinamiche indotte dal transito delle navi lungo la via d'accesso al porto commerciale. Fenomeni erosivi marcati sono osservabili lungo le sponde delle casse di colmata B ed A, poste lungo il margine ovest del canale. Le due aree sono caratterizzate da una netta scarpata erosiva di altezza variabile tra 1,5m e 2 m con depositi di materiale crollato al piede. L'erosione delle due casse si presenta estremamente veloce e segue un andamento piuttosto irregolare.

### 7.7.1 La cassa di colmata B

Attraverso l'elaborazione di foto aeree in ambiente GIS è stato possibile tracciare e valutare il processo di regressione della linea di costa della cassa di colmata B. L'indagine effettuata sull'evoluzione della linea di costa copre l'arco temporale che va dal 1974 al 2018. I risultati sono rappresentati in maniera riassuntiva in figura 65. Linee di diverso colore marcano il limite della linea di costa e la sua evoluzione nel tempo evidenziando la progressione del processo erosivo in atto.

Per un maggior dettaglio sulla velocità di arretramento si rimanda alla figura 66 dove si sono misurati gli arretramenti in tre transetti di controllo (S1-S2-S3).



Figura 65. Evoluzione della linea di costa della cassa di colmata B nel tempo (1974-2018). A destra particolare di una parte della cassa di colmata.

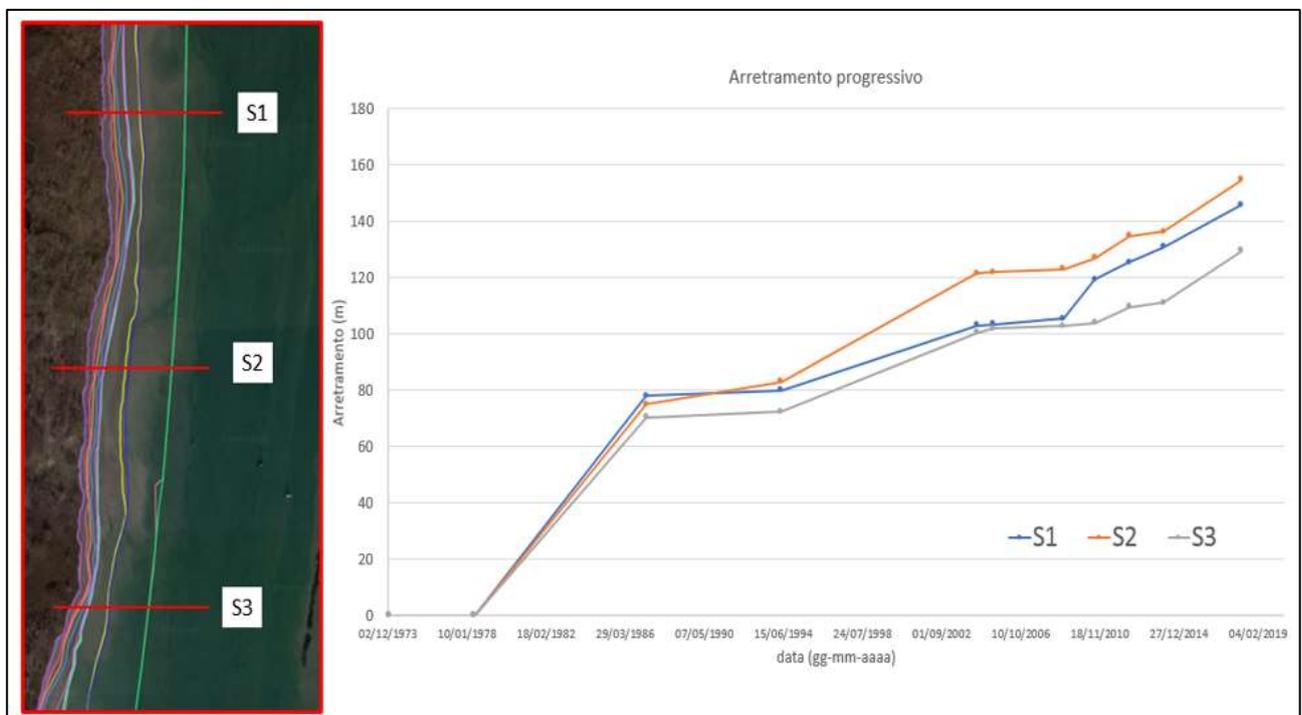


Figura 66. Calcolo di arretramento progressivo per tre sezioni di misura di esempio (S1-S2-S3).

Per un'interpretazione più dettagliata, il calcolo dell'arretramento è stato effettuato in 15 transetti di controllo (numerati da I a XV in figura 67) dove viene mostrata una velocità di regressione media

della linea di costa dell'ordine di 3-4 m all'anno. L'andamento irregolare dell'erosione fa sì che in alcuni punti della cassa di colmata B siano osservabili tassi di erosione decisamente più marcati. Nel periodo di misura più recente (2014-2018) l'arretramento medio annuo della linea di costa è stato di 3,4 m ma ha raggiunto valori anche più elevati nei transetti posti a sud (XIV e XV) dove è stato misurato un arretramento annuo di 6,6 metri per il transetto XIV e 6,7 metri per il transetto XV. Questa trasformazione ha prodotto un arretramento della linea di costa di 146 metri tra il 1974 e il 2018 (figura 67).



Figura 67. Foto satellitare su cui sono state tracciate le linee di riva e le rispettive date di acquisizione. A destra mappa con i 15 transetti di controllo utilizzati per le misure di arretramento (tratta da Google Maps).

In tabella 16 si riportano le misure effettuate sui 15 transetti di controllo per la stima della velocità di regressione della linea di costa sul lungo periodo e sul breve periodo.

Tabella 16. Risultati delle misure di arretramento della linea di costa della cassa B determinati lungo i 15 transetti di controllo. L'arretramento è stato calcolato sul lungo periodo dal 1974 al 2018 e sul breve periodo dal 2014 al 2018.

misure arretramento cassa B				
sezione di controllo	Arretramento (m) 1974-2018	Arretramento (m) 2014-2018	arretramento medio per anno (m) (1974-2018)	Arretramento medio per anno (m) (2014-2018)
1	122	9.6	2.8	2.4
2	136	7.9	3.1	2.0
3	146	10.8	3.3	2.7
4	150	17	3.4	4.3
5	148	15.6	3.4	3.9
6	144	11.8	3.3	3.0
7	147	16	3.3	4.0
8	140	14.8	3.2	3.7
9	124	12	2.8	3.0
10	139	9.4	3.2	2.4
11	149	11	3.4	2.8
12	169	8	3.8	2.0
13	172	7.4	3.9	1.9
14	167	26.5	3.8	6.6
15	131	26.6	3.0	6.7
media	145.6	13.6	3.3	3.4

Dalla costruzione della cassa di colmata B (1963-1968) al 2015 si è determinata una perdita di superficie totale pari a 31,4 ettari corrispondente ad una perdita di volume di  $1,19 \times 10^6 \text{m}^3$  stimato secondo la metodologia descritta nel capitolo 6.9 "elaborazione GIS e processo fotogrammetrico". questo valore, mediato dall'anno 1974 al 2015 corrisponde a una perdita di  $3,0 \times 10^4 \text{m}^3$  di sedimento sbancato all'anno.

### 7.7.2 La cassa di colmata A

L'elaborazione delle immagini in ambiente GIS relative alla cassa di colmata A ha permesso di mettere in evidenza la variazione morfologica avvenuta in quest'area. In figura 68 sono rappresentate le rispettive linee di costa per l'arco temporale che va dal 1974 al 2018.



Figura 68. Immagine satellitare in cui è evidenziata la cassa di colmata A. Nell'ingrandimento (Insero rosso). Sono sovrapposte con diversi colori, le posizioni delle linee di costa nel tempo (tratta da Google Maps).

Dopo la costruzione della cassa di colmata A, avvenuta nel 1974 è possibile evidenziare un processo erosivo fino al 2018 e si è calcolata una perdita di superficie emersa pari a 45033 m<sup>2</sup>. Durante l'ultimo anno, dal 2017 al 2018, è stato possibile calcolare una velocità di arretramento che in alcuni punti raggiunge i 18 metri annui. L'analisi delle immagini satellitari relative agli anni 2017 e 2018 ha permesso di stimare una perdita di superficie pari a 4544 m<sup>2</sup> in un arco temporale ridotto di 10 mesi, (29 maggio 2017 - 26 marzo 2018) (Figura 69).



Figura 69. Immagine satellitare elaborata in ambiente GIS in cui è evidenziata la superficie erosa nel periodo 2017-2018 (tratta da Google Maps).

Tali risultati sono confermati anche dalle elaborazioni GIS effettuate sulle ortofoto acquisite con l'impiego di un aeromobile a pilotaggio remoto (Figura 70). Si confermano dunque i valori relativi alle velocità di arretramento della linea di costa determinando un'erosione media da ottobre 2016 a giugno 2017, di circa 6 metri con picchi di arretramento che in alcuni punti lungo la scarpata regrediscono anche di 12 metri in 8 mesi.

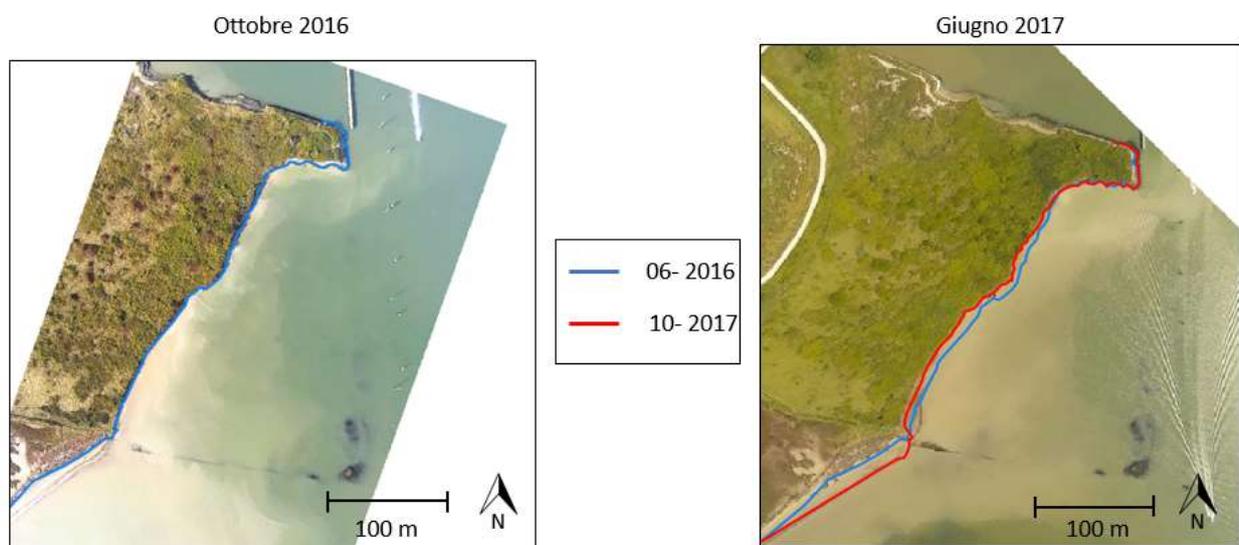


Figura 70. Immagini aeree acquisite tramite l'utilizzo di sistema SAPR. A sinistra immagine acquisita a giugno 2016. A destra immagine acquisita a ottobre 2017. In entrambe le immagini sono sovrapposte le rispettive linee per marcarne la costa.

L'elaborazione fotogrammetrica delle immagini aeree acquisite a ottobre 2017 ha permesso di produrre un modello digitale di elevazione relativo all'area occupata dalla cassa di colmata A. Una elaborazione GIS di tale modello viene presentata in figura 71.

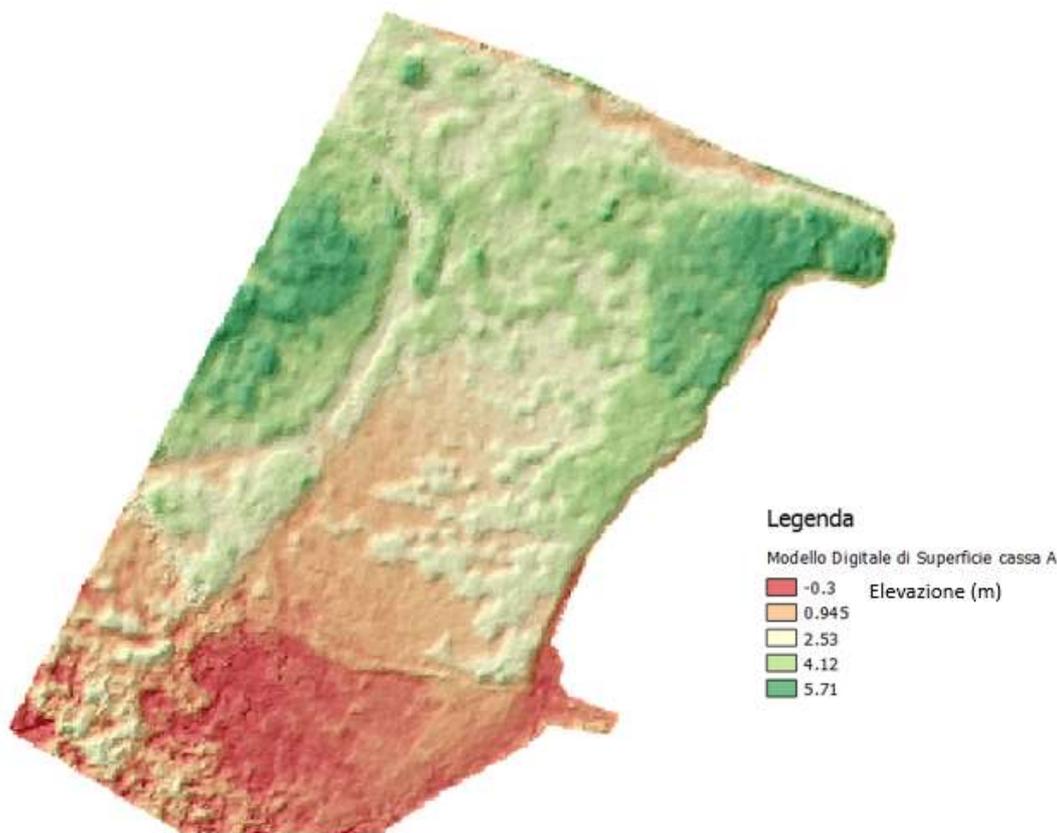


Figura 71. Modello digitale di Superficie, ottenuto dall'elaborazione delle foto aeree acquisite durante il rilievo effettuato a ottobre 2017

Nota l'elevazione in dettaglio dell'area e la relativa quota altimetrica alla quale è stata costruita la cassa di colmata A si è calcolata la quantità di materiale eroso. Il volume di materiale stimato è di circa 10000 m<sup>3</sup> calcolato su un periodo di 10 mesi da ottobre 2017 a marzo 2018.

## 8 Discussione

La ricerca condotta per rilevare gli effetti provocati dal traffico di grandi navi all'interno di ambienti confinati, ha evidenziato come le onde di depressione generate dalla navigazione lungo il canale Malamocco-Marghera, possano rappresentare una delle cause principali delle variazioni morfologiche osservabili nel bacino centrale della Laguna di Venezia (Zaggia et al 2017). La presenza di fenomeni erosivi così consistenti non è giustificata dalle forzanti naturali dell'area di studio che si presenta, infatti, come ambiente protetto e confinato a bassa energia. Le correnti di marea nell'area studiata non hanno intensità elevate (<0,05 m/s) e possono raggiungere valori massimi di 0,15 m/s in caso di fenomeni di vento particolarmente intenso (Coraci et al., 2007). Si è visto come le alterazioni provocate nella laguna centrale possano essere direttamente correlate al numero di transiti lungo la principale via d'accesso al porto mercantile, e come la magnitudo delle perturbazioni indotte sull'idrodinamica dell'area dipenda prevalentemente dalle dimensioni delle navi in transito, dalla forma della loro chiglia e dalla velocità di avanzamento.

A causa del continuo aumento del numero di imbarcazioni in transito e l'aumento delle loro dimensioni, si evidenzia come il profilo batimetrico-altimetrico dell'area di studio considerata non abbia ancora raggiunto una configurazione di equilibrio rispetto alle forzanti e risulti estremamente dinamica anche dopo quasi 50 anni dall'apertura del canale.

Secondo le statistiche fornite dal porto di Venezia, più di 3000 navi commerciali entrano nel porto attraverso il canale Malamocco-Marghera in un anno. In questo studio, in occasione della campagna di monitoraggio in continuo durata 45 giorni, (18 marzo 2016-2 maggio 2016) in prossimità della stazione "bricola 61", sono stati investigati 589 eventi significativi. Tali eventi sono poi stati riportati a scala annuale in modo da renderli confrontabili alle statistiche annuali presentate dall'autorità portuale. Di questi eventi, 381 hanno prodotto la formazione di un'onda di depressione la cui ampiezza è stata superiore a 0,4 m. Sedici eventi hanno provocato la formazione di onde la cui ampiezza è risultata >1 m, e in tre casi l'ampiezza dell'onda di depressione ha superato addirittura 1,6 m e ha raggiunto un'altezza massima di 2,45 m nel caso di un evento provocato da una nave di grosse dimensioni (180 m x 40 m x 9,5m) che transitava a velocità sostenuta (9,1 nodi).

In figura 72 è mostrata la distribuzione delle ampiezze d'onda in funzione della lunghezza dei natanti che le hanno generate.

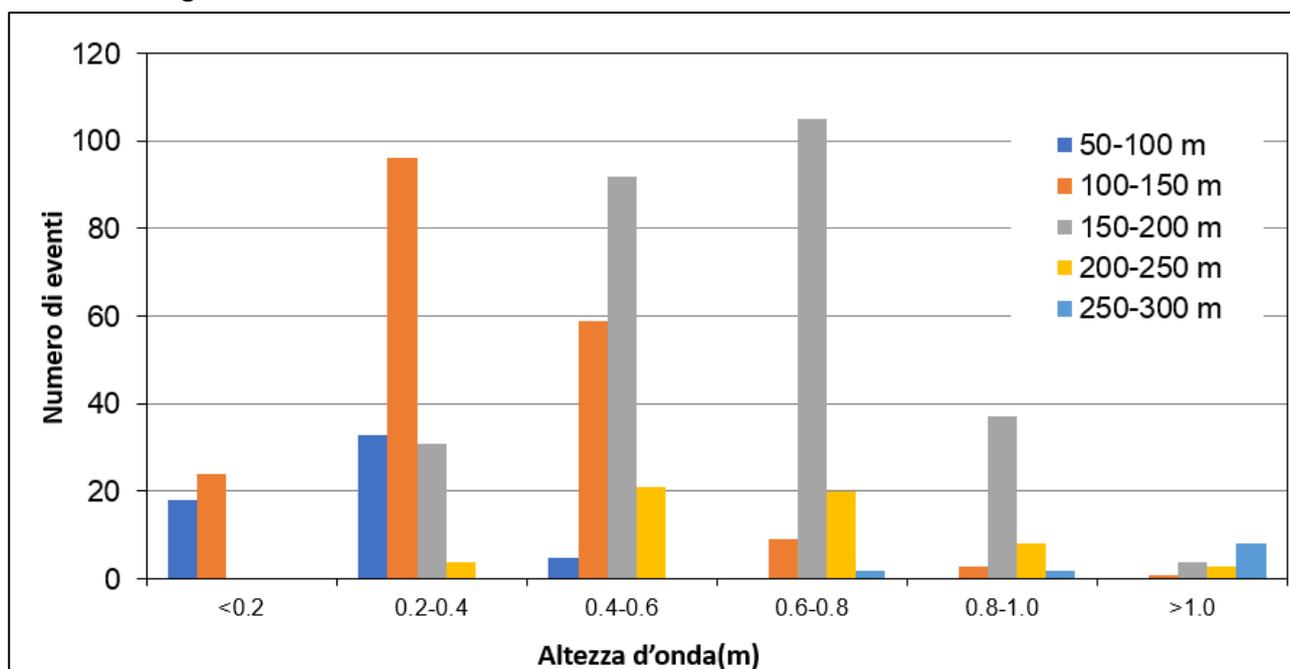


Figura 72. Distribuzione dell'ampiezza dell'onda di depressione in funzione della lunghezza dello scafo per le navi in transito nella sezione di misura "bricola 61" a margine canale nel periodo 18 marzo - 2 maggio 2016.

Dall'istogramma è evidente come le navi che producono un maggior impatto sull'ambiente siano quelle di dimensioni comprese fra i 150 m e i 200 m di lunghezza. Tale categoria risulta infatti la più frequente responsabile della formazione di ampiezze d'onda in tre intervalli considerati (0,4 m - 0,6 m, 0,6 m - 0,8 m e 0,8 m - 1,0 m.). In termini di frequenza e impatto questa è la categoria più importante; dal grafico si osserva che le navi di dimensioni maggiori, seppur decisamente meno frequenti in laguna, producano comunque un impatto significativo in quanto causa principale della formazione di eventi estremi con ampiezze d'onda che superano il metro. Insieme all'ampiezza dell'onda di depressione è stato possibile anche valutare, sulla base dei dati AIS, i valori della velocità per le navi transitate. In 357 casi si è rilevato il superamento della velocità di 9 nodi. Tale velocità

risulta essere ampiamente superiore a quella indicata dall'ordinanza della Capitaneria di Porto che prevede un progressivo rallentamento subito dopo l'ingresso in laguna attraverso la bocca di porto, che in media avviene ad una velocità di 12 nodi, fino a raggiungere il massimo di 7 nodi in prossimità dell'area in cui è stato svolto lo studio (Ordinanza n.175/09 Ministero delle infrastrutture e dei trasporti Capitaneria di Porto-Guardia Costiera Venezia).

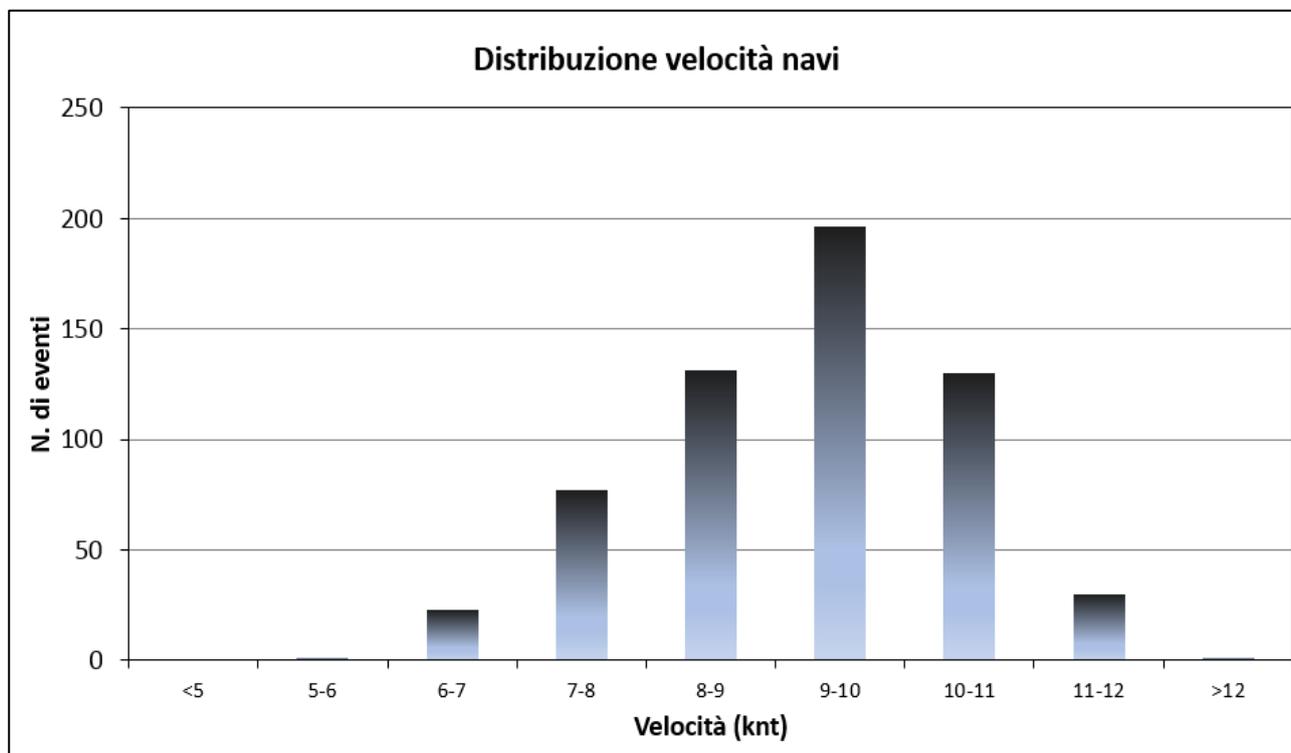


Figura 73. Distribuzione delle velocità delle navi in transito nella sezione di misura nel periodo 18 marzo - 2 maggio 2016.

Dall'istogramma in figura 73 si osserva infatti, che la velocità più frequente è quella nell'intervallo tra i 9 e 10 nodi, un valore superiore a quello dell'ordinanza. Se il limite richiesto venisse rispettato si dovrebbero registrare un numero più frequente di transiti con velocità comprese tra 7 e 8 nodi. Come già descritto, è stato possibile rilevare che le categorie di navi che provocano il maggiore impatto, considerata l'ampiezza dell'onda di depressione generata e la frequenza dei passaggi, siano anche quelle che più spesso transitano con velocità elevate. Queste risultano essere le navi di dimensioni comprese fra 150 e 200 m, ovvero il 46% del campione considerato. Il 65% delle navi appartenenti a questa categoria sono transitate ad una velocità compresa tra 8 e 10 nodi (figura 74). Si ritiene dunque che questa tipologia di natanti abbia un impatto maggiore sull'ecosistema e sia da considerarsi maggiormente responsabile delle alterazioni morfodinamiche osservate nell'area studiata poiché rappresenta la categoria di imbarcazioni che più spesso entrano nel porto di Venezia generando depressioni di ampiezza rilevante. Va considerato inoltre, che navi appartenenti alla stessa classe di lunghezza possono generare impatti decisamente differenti, questo poiché la variabilità legata alla forma dello scafo influisce pesantemente sugli effetti prodotti. Occorre comunque sottolineare che le navi di dimensioni maggiori siano le responsabili di fenomeni particolarmente rilevanti.

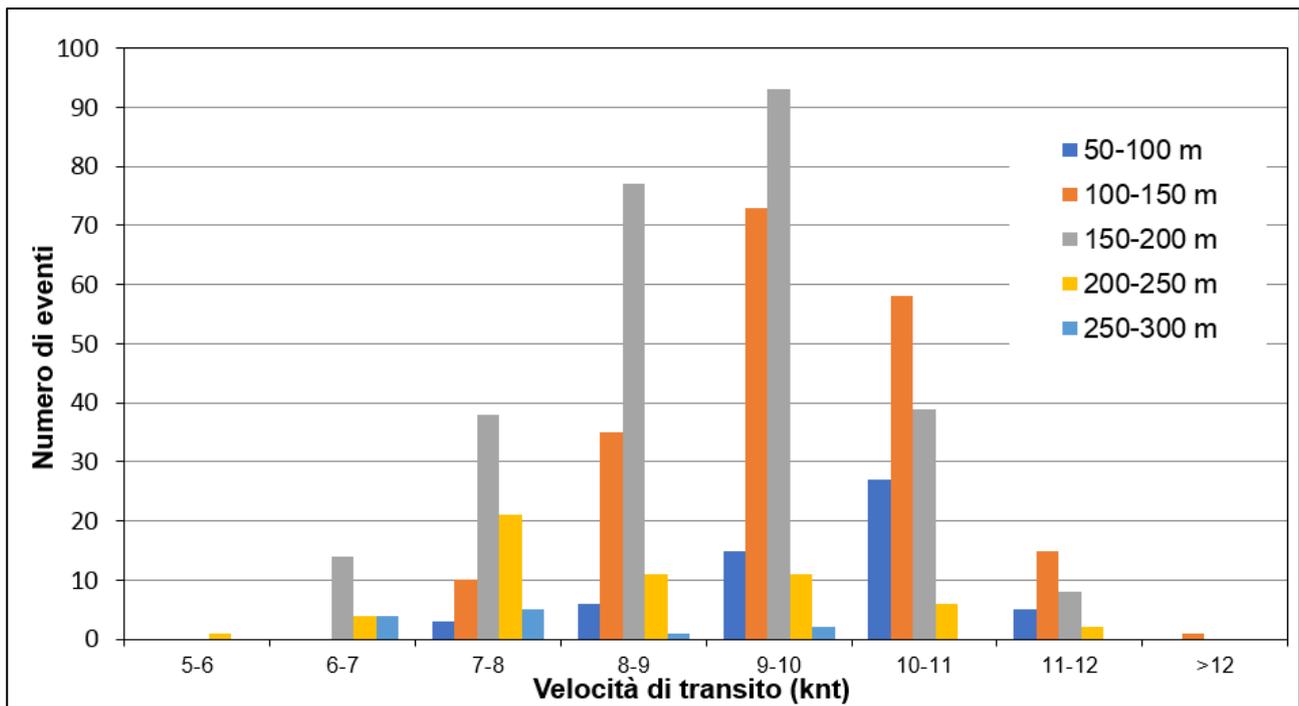


Figura 74. Distribuzione della velocità di navigazione in funzione della lunghezza dello scafo per i natanti in transito nella sezione di misura nel periodo 18 marzo - 2 maggio 2016.

Durante lo studio si è cercato di individuare un parametro che potesse dare una previsione dell'altezza d'onda generata da una nave in transito lungo il Malamocco-Marghera. Per fare ciò si è utilizzata una relazione empirica che tenesse conto dell'ampiezza della depressione generata in relazione ad alcuni parametri fisici.

Una relazione lineare fra l'ampiezza della depressione e la relazione  $Fr^{2.4}CB^{1.6}$  è stata individuata da Schoellhamer (1996). In questa relazione, Fr è il parametro noto come numero di Froude basato sulla profondità. ( $Fr=v(gh)^{-0.5}$  con v velocità della nave e h profondità della sezione, e CB è il coefficiente di blocco espresso come  $L \times W/A$  dove L e W sono larghezza e pescaggio della nave mentre A è l'area della sezione del canale navigabile. Una dettagliata descrizione di questi parametri è riportata al paragrafo 6.8 "Determinazione del Coefficiente di Blocco, numero di Froude e stima del parametro Vi".

Per questo studio si è deciso di modificare la relazione di Schoellhamer (1996). Tale scelta deriva dal fatto che Schoellhamer (1996) sottolinea l'importanza del rapporto fra le geometrie della sezione del canale navigabile e dello scafo (il coefficiente di blocco) in condizioni ideali. Dove per condizioni ideali si intende una sezione del canale sufficientemente ampia con  $CB < 0,22$  e valori di  $FR < 1$ . Tuttavia, in condizioni di parziale confinamento, con particolari geometrie del canale (Parnell et al., 2016), l'esperienza in campo e i risultati sperimentali hanno mostrato come tale relazione nel sistema confinato presenti un maggior livello di indeterminazione nella stima di eventi di grande magnitudo generati da navi di grande tonnellaggio. Si è valutato che le interazioni idrodinamiche dovute al confinamento, alle limitate dimensioni del canale e alla presenza dei bassi fondali limitrofi, siano influenzate in modo significativo dalla forma e dimensione degli scafi, pertanto si è ritenuto corretto considerare, in aggiunta al rapporto delle sezioni, la lunghezza delle navi. Così facendo viene considerato il volume della parte immersa dello scafo che si ritiene possa influenzare significativamente l'altezza dell'onda. Si è quindi messo in relazione il parametro Fr con il volume

dislocato (volume d'acqua spostato) secondo una relazione empirica nella quale gli esponenti sono stati modificati al fine di ottenere una regressione lineare con l'ampiezza dell'onda di depressione misurata dal sensore di pressione installato al margine del canale navigabile ad una profondità di circa 3 metri (figura 75).

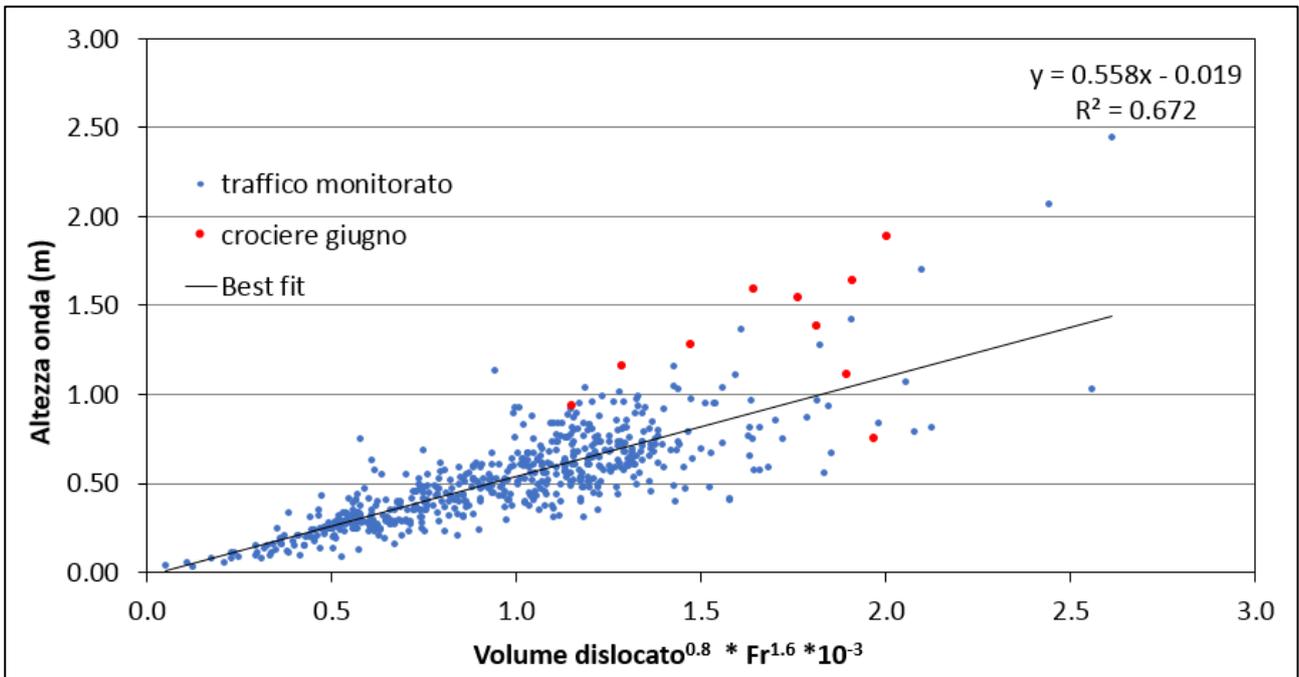


Figura 75. Relazione empirica fra l'ampiezza dell'onda di depressione misurata a margine del canale navigabile "bricola 61", il volume spostato dallo scafo e Fr. Con i punti di colore rosso sono evidenziati gli eventi di perturbazione generati dal transito di navi da crociera.

Una modifica della relazione proposta da Schoellhamer (1996) ha permesso di ridurre la dispersione dei dati relativi alle navi di più grandi dimensioni quali quelle delle navi da crociera incrementando il coefficiente di determinazione  $R^2$ . Per questo lavoro è stato approssimato il volume dislocato al prodotto lunghezza x larghezza x pescaggio della nave ed è possibile che la dispersione residua sia in relazione, oltre che ad altri fattori (morfologia, distanza della rotta dal centro del canale etc.), alla diversa forma degli scafi. Data l'esistenza di forme diverse della carena, non necessariamente il prodotto delle tre grandezze restituisce il volume reale dislocato. L'applicazione di tale relazione per la stima delle ampiezze d'onda al margine del canale permette di ottenere delle previsioni di impatto in vista di futuri scenari di sviluppo della tipologia di navi in transito.

Si è valutato che l'area interessata dalle perturbazioni idrodinamiche analizzate si estenda per oltre 1 km sul bassofondo e che, alcune di queste perturbazioni siano addirittura distinguibili fino a 1700 m di distanza dal canale Malamocco-Marghera.

L'aumento delle velocità di flusso, assieme alla riduzione del livello idrico osservato durante la propagazione delle onde, comporta la risospensione di materiale al fondo quando viene superato un determinato stress critico. Amos et al. 2004 definiscono un valore di shear-stress critico in prossimità dell'area di studio pari a 0,7-0,8 Pa. Su un campione totale di 40 navi esaminate da Rapaglia et al. 2011, in ingresso nel porto di Venezia, è stato calcolato come 32 di queste abbiano generato correnti tali da provocare il superamento di tale valore di soglia con conseguente rimaneggiamento del materiale al fondo e marcate alterazioni nella torbidità della colonna d'acqua.

La granulometria del sedimento nel bassofondo rispecchia i processi idrodinamici presenti nell'area. I campioni superficiali possono essere classificati in relazione alla loro posizione rispetto al canale di navigazione. I campioni più lontani dal canale, a 1800 m, dove non sono osservabili le perturbazioni generate dal continuo transito delle navi, risultano indisturbati e sono classificati come fango molto siltoso poco sabbioso, tessitura tipica di ambienti con gradiente di energia medio-bassa di mud flat<sup>8</sup> (Flemming, 2000). I campioni posizionati a 1200 m dal canale, dove gli effetti delle onde di depressione sull'idrodinamica risultano deboli ed associabili esclusivamente ad eventi di perturbazione estremi, sono classificati come fango sabbioso estremamente siltoso e fango sabbioso molto siltoso. In entrambi i casi è osservabile un aumento della percentuale in sabbia. I campioni situati a 600 metri dal canale e sul margine di questo sono estremamente eterogenei e classificabili come sabbia molto siltosa, fango sabbioso estremamente siltoso e fango estremamente siltoso poco sabbioso, ad indicare un continuo rimaneggiamento del materiale dal fondo.

L'analisi storica dell'evoluzione morfologica dell'area giustifica in parte la maggior percentuale di sabbia misurata nelle stazioni 1 e 2 a nord ovest.

Come è osservabile in figura 76, il campione raccolto nella stazione 1 si trova in prossimità di un'area che prima della costruzione del canale Malamocco Marghera risultava coperta da superfici barenose note come motte di Volpego.

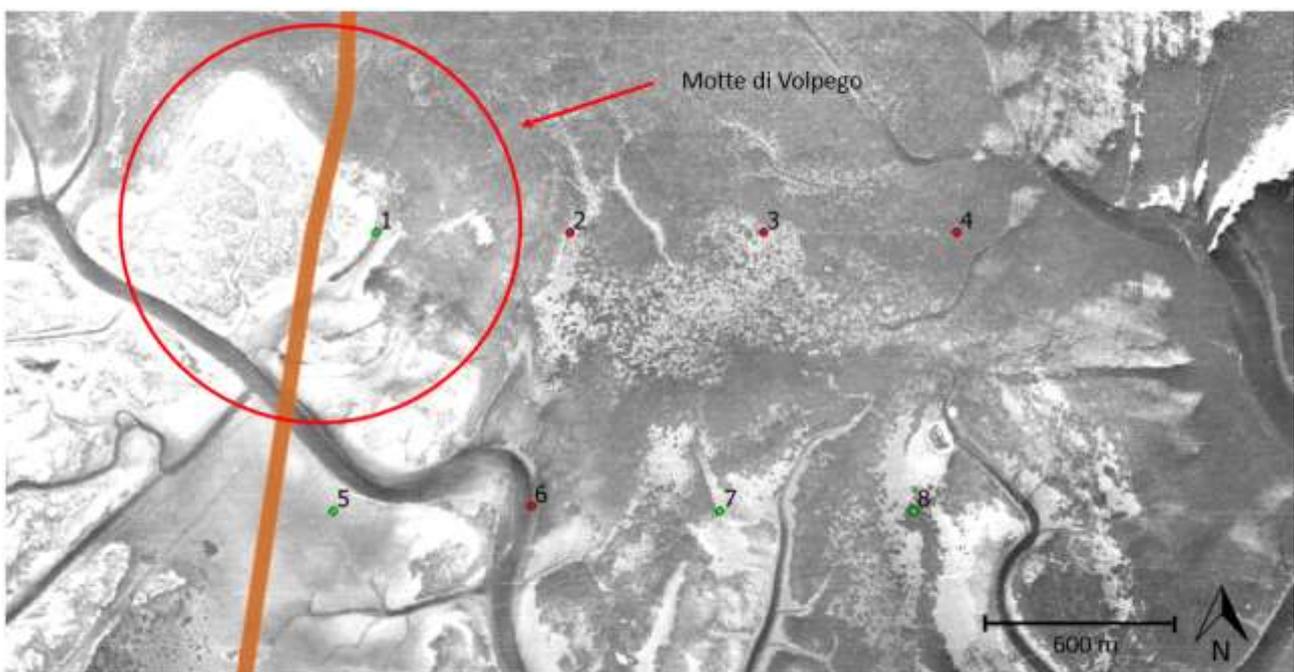
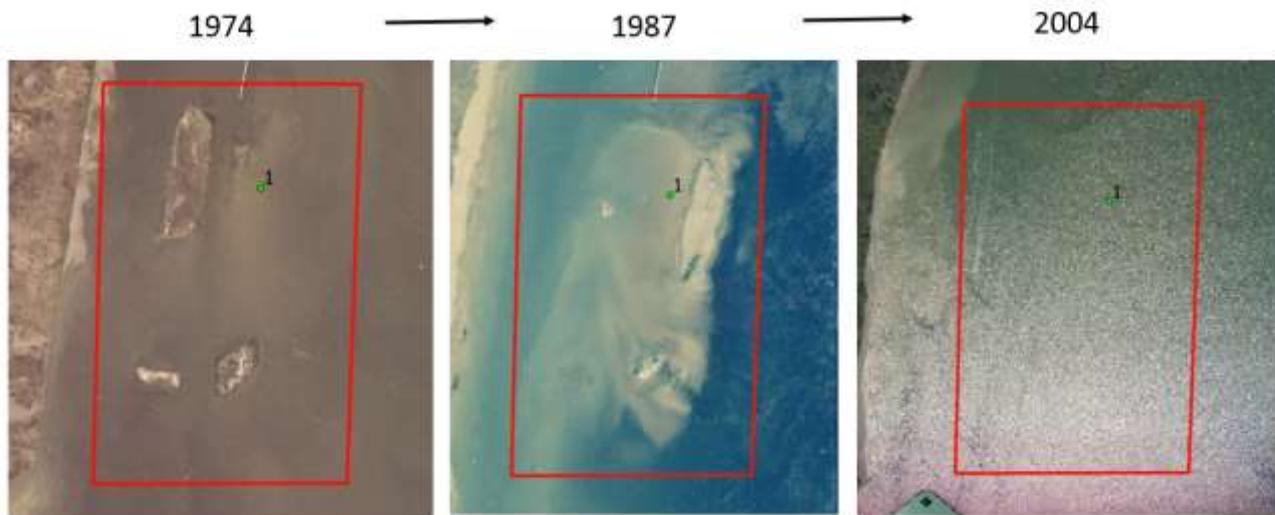


Figura 76. Immagine aerea del 1954 che riprende l'area centrale della Laguna di Venezia, attualmente solcata dal canale Malamocco-Marghera (linea arancione sovrapposta). I punti verdi e rossi numerati rappresentano la posizione dei campioni prelevati per questa ricerca mentre il cerchio rosso evidenzia le Motte di Volpego, strutture di barena erose nel corso del tempo.

Tali forme sono poi state attraversate dalla costruzione del canale Malamocco Marghera e sono ancora parzialmente visibili nelle immagini delle riprese aeree successive. La loro evoluzione nel tempo ha visto una progressiva erosione delle zone emerse fino alla loro totale scomparsa (figura 77). Si ritiene che il successivo rimaneggiamento del materiale proveniente da queste forme ormai

<sup>8</sup> *Mud flat*: piana formata da silt fine in una zona costiera, inondata dalla marea.

erose possa aver ulteriormente modificato la composizione granulometrica della stazione 2 limitrofa, che presenta percentuali di sabbia superiori se confrontata con le stazioni poste a simili distanze dal canale.



*Figura 77. Evoluzione morfologica nel tempo delle Motte di Volpego. Le immagini aeree riportate testimoniano la progressiva erosione di queste strutture inizialmente emerse.*

Un'analisi più approfondita della storia recente di questi sedimenti è stata possibile attraverso l'analisi delle carote. Il rimaneggiamento evidenziato per i campioni superficiali è stato anche confermato dai risultati dell'analisi tomografica carote (immagini in allegato 3). Infatti, queste mancano quasi totalmente di strutture sedimentarie conservate.

Questa tecnica di analisi non era mai stata utilizzata su carote di sedimento campionate in Laguna di Venezia. Si è pensato che potesse essere utile per osservare, se presenti, le strutture sedimentarie relazionandole ad altri parametri analizzati.

In figura 78 sono presentate le immagini tomografiche e i parametri fisici e chimici analizzati.

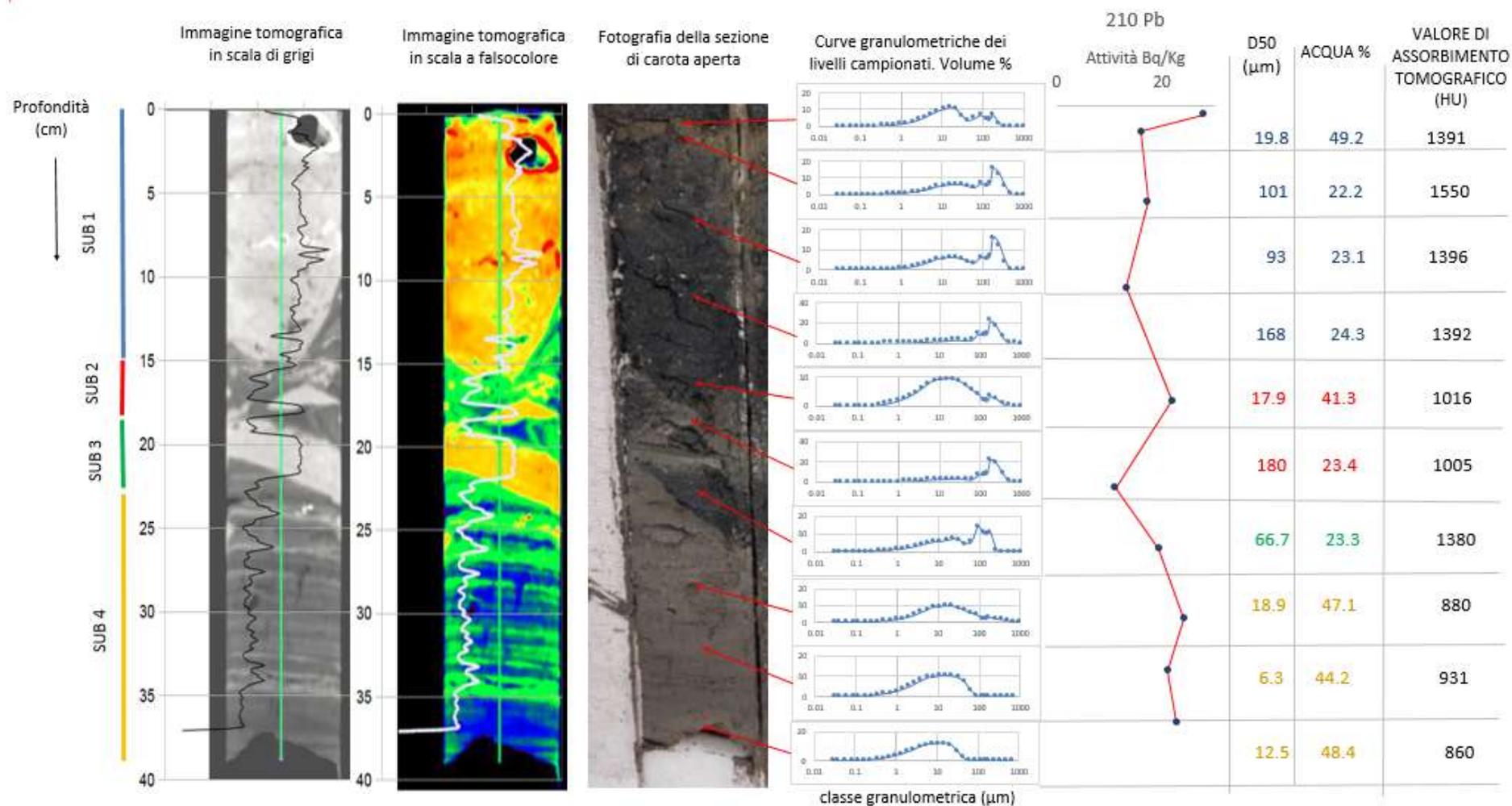


Figura 78. Risultato della sovrapposizione del grafico CT/cm con le immagini tomografiche. Immagine tomografica espressa sia con scala di grigio che con scala cromatica. A destra fotografia della carota aperta, curve granulometriche dei subcampioni prelevati a varie profondità identificate con linea rossa, grafico con attività del  $^{210}\text{Pb}$  lungo la carota, diametro medio ( $D_{50}$ ), contenuto d'acqua e valore di assorbimento tomografico per ogni strato subcampionato. Campione prelevato nella stazione 2.

L'analisi granulometrica condotta sui subcampioni raccolti nella parte superficiale della carota, corrispondente alla sub-unità 1, conferma la presenza di materiale grossolano con valori del  $D_{50}$  compresi tra i 19,8  $\mu\text{m}$  e i 168  $\mu\text{m}$ . A tali profondità, sono associati valori di assorbimento tomografico elevati (>1300 HU) e percentuali d'acqua, relativamente basse (tra 22,2% e 49,2%). La sub-unità 1 si distingue dagli strati sottostanti per l'assenza di materiale fine, che si ritiene sia stato dilavato nel tempo dalle attività antropiche persistenti nell'area (Zonta et al. 2018). Sulla sub-unità 2, il sedimento è prevalentemente più fine con un  $D_{50}$  di ~18  $\mu\text{m}$ , assorbimenti tomografici non superiori a 1050 HU e contenuti d'acqua pari al 40% del peso totale del campione. A questa profondità la carota si presenta eterogenea ed è possibile inoltre individuare lenti sottili di materiale più grossolano riconducibile alla tipologia descritta per la sub-unità 1, con assorbimenti tomografici più elevati, contenuti d'acqua inferiori (~23%) e granulometria più grossolana, che confermano il rimaneggiamento del materiale superficiale della sub-unità 1 portato in profondità da possibili eventi di disturbo di origine antropica (ad esempio aratura dovuta alla pesca alle vongole o altro tipo di interventi di rimobilizzazione del fondale). Tale materiale è ulteriormente presente con uno spessore di 3 cm nella sub-unità 3, dove associate ad un assorbimento tomografico elevato (CT=1380 HU) sono state determinate caratteristiche del sedimento riconducibili alla sub-unità superficiale. Si trovano infatti contenuti d'acqua del 23% e un  $D_{50}$  di 67  $\mu\text{m}$ . La parte profonda della carota, classificata come sub-unità 4, si distingue nettamente nella ricostruzione dell'immagine tomografica, dal resto del campione. In essa è evidente una stratigrafia definita e molto ben conservata caratterizzata da materiali fini con contenuti d'acqua elevati. Le immagini tomografiche ricostruite utilizzando diverse scale cromatiche evidenziano la presenza di strati orizzontali di spessore variabile da 0,5 a 1,5 cm evidenza di deposito sedimentario indisturbato.

Per quanto riguarda le indagini geocronologiche effettuate sulla carota 2, le determinazioni sperimentali confermano come il sedimento analizzato non presenti un accumulo evidente di materiale. La datazione effettuata attraverso la determinazione del  $^{210}\text{Pb}$ , nella carota 2 non presenta il tipico profilo di attività con andamento esponenziale decrescente per il piombo in eccesso, osservabile generalmente negli strati superficiali di sedimento di ambienti marini e dovuto alla naturale deposizione atmosferica (Cochran et al., 1998). In assenza di un chiaro segnale dato dal  $^{210}\text{Pb}$ , il  $^{137}\text{Cs}$  è stato utilizzato per verificare la correttezza del metodo di datazione, essendo un tracciante indipendente che dà una misura cronostatigrafica abbastanza precisa (Begy et al. 2009). Il  $^{137}\text{Cs}$  è un radionuclide antropogenico, immesso nell'ambiente marino dall'uomo attraverso la sua diffusione in atmosfera. Dall'analisi ci si aspetta di individuare, lungo la carota tre orizzonti ad elevata attività, da utilizzare come indicatori. L'immissione degli input in atmosfera corrisponde a tre momenti storici ben definiti: 1) primo input nell'ambiente dovuta ai primi test nucleari del 1954, 2) secondo input corrispondente alle serie di test statunitensi ed ex Unione Sovietica che precedettero il Trattato sul divieto nucleare (1963 / 1964) e 3) un terzo input in seguito all'incidente di Chernobyl nel 1986 (Bellucci et al 2007).

Nella carota 2, l'assenza di questi orizzonti avvalorava l'ipotesi che il sedimento sia stato profondamente rimaneggiato. L'area di studio è stata quindi sottoposta a processi di erosione che avrebbero alterato la normale sedimentazione della zona. L'ipotesi che sarebbe confermata

dall'evidenza attuale di rimobilizzazione di sedimento da parte del traffico ai margini del canale navigabile.

Lo scarso apporto di sedimenti e il continuo rimaneggiamento del fondale avrebbe portato ad una progressiva erosione (Saretta et al., 2010).

A partire dallo scavo del canale Malamocco Marghera l'area è stata interessata dalle perturbazioni generate dal traffico di navi commerciali, ma ulteriori alterazioni agli strati meno superficiali del sedimento sono state provocate dall'intensa attività di pesca della vongola filippina (*Tapes philippinarum*), specie introdotta nel 1983 (Cesari e Pellizzato, 1985) che si è rapidamente diffusa in tutta la laguna, anche in seguito all'attività di allevamento. Per la raccolta di questo mollusco viene infatti impiegata una tecnica di pesca con "rusca" che prevede la rimobilizzazione dei primi 10 cm di sedimento (Pranovi et al., 2003). Attualmente, circa il 50% (40000 t) della produzione italiana di vongole veraci filippine proviene dalla Laguna di Venezia.

Numerosi sono i processi, nell'area, che rendono l'indagine dell'evoluzione del substrato sedimentario un argomento di particolare complessità. Alla mobilitazione meccanica del sedimento si somma la continua azione di risospensione del materiale dovuta all'azione di forti perturbazioni idrodinamiche associate al transito di navi. Le concentrazioni di sedimento risospeso registrate a seguito del transito di una nave variano notevolmente in relazione all'ampiezza delle onde generate, ma anche in relazione alla storia precedente all'evento. In situazioni in cui l'ingresso o l'uscita dal porto di più navi avvenga in un intervallo di tempo limitato, inferiore a 30 minuti da un passaggio al successivo, è possibile osservare come a parità di magnitudo delle onde, la perturbazione si amplifichi (feed back positivo), provocando un aumento di torbidità decisamente superiore rispetto alla prima perturbazione, in quanto la sua propagazione avviene su un fondale che è stato precedentemente movimentato e conseguentemente si trova in uno stato di scarsa coesione, non essendo trascorso il tempo necessario al suo consolidamento. Per questa ragione analizzando una sequenza di due onde di depressione in successione a distanza di pochi minuti, è possibile osservare come, la seconda perturbazione, seppur caratterizzata da una minore ampiezza, possa indurre una risospensione decisamente più elevata rispetto a quella provocata dall'onda che la ha preceduta. Si è inoltre osservato che l'erosione del materiale del fondo non è un fenomeno uniforme e dà luogo alla formazione di "nubi" di sedimento risospeso più che ad una distribuzione uniforme del materiale. Il fenomeno si potrebbe mettere in relazione all'interazione fra le correnti associate alla perturbazione e fenomeni di frangenza in corrispondenza dei margini del canale e delle aree a basso fondale.

La persistenza di simili condizioni idrodinamiche nei bassifondi e nelle aree limitrofe al canale provoca un continuo movimento di materiale, che una volta risospeso per azione delle forti correnti associate alla propagazione delle onde viene in parte trasportato in zone vicine o all'interno del canale navigabile dalla corrente di marea e dalle correnti generate dai successivi transiti di natanti (materiale grossolano e aggregati) mentre la frazione più fine può venire dispersa in laguna o definitivamente persa dal sistema per trasporto fuori dalle bocche di porto (Defendi et al., 2010). I dati raccolti alla base della scarpata destra nel canale di navigazione, evidenziano come, in corrispondenza del transito di una nave, una componente della direzione della corrente sia sempre

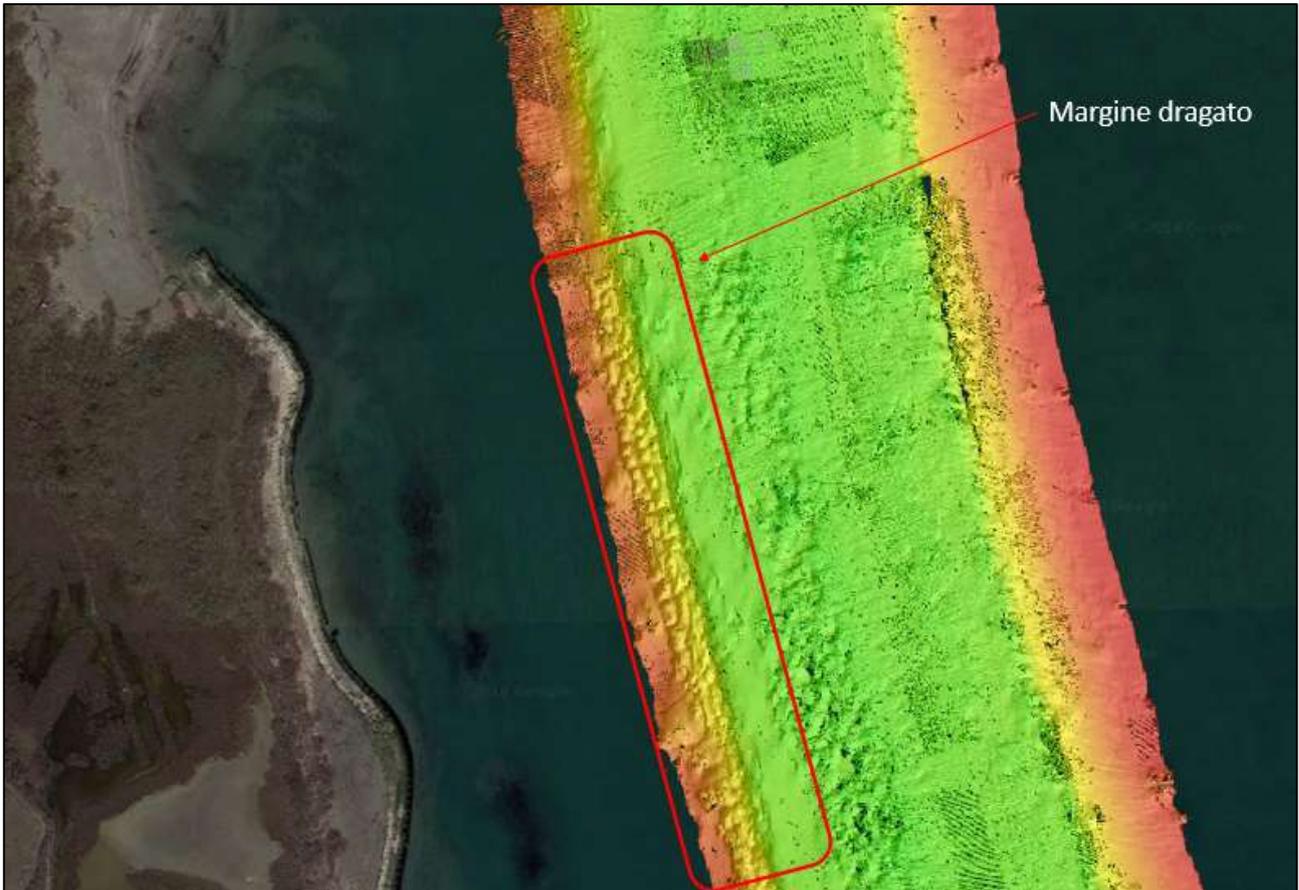
rivolta verso l'interno del canale facendo supporre quindi che tale sia la direzione di trasporto del materiale sedimentario durante l'evento di perturbazione. Quanto appena descritto è osservabile dalla figura (figura 51 D) presentata nella sezione dedicata ai risultati. Questo è dovuto al richiamo d'acqua che si viene a formare in prossimità dello scafo in avanzamento. Un tale fenomeno comporta il trasporto progressivo di sedimento dal bassofondo verso il canale. Il processo ripetuto nel lungo periodo ha come conseguenza l'erosione dei margini del canale, il progressivo approfondimento delle aree a bassofondo confinanti e la deposizione del sedimento all'interno del canale navigabile. Il processo descritto potrebbe rappresentare una delle principali cause della perdita di sedimento avvenuta in laguna centrale dopo lo scavo del canale Malamocco-Marghera (Molinaroli et al. 2007, 2009; Sarretta et al. 2010) e, la deposizione di materiale all'interno dello stesso, può in parte spiegare quanto pubblicato da Defendi et al., 2010 relativamente al flusso di sedimento netto annuo attraverso la bocca di porto di Malamocco (~ 32000 m<sup>3</sup>/anno) che risulta considerevolmente inferiore rispetto al flusso delle altre due bocche di porto della Laguna di Venezia (~256000 m<sup>3</sup>/anno alla bocca di porto di Lido e ~ 3000 m<sup>3</sup>/anno a quella di Chioggia). Partendo da queste considerazioni è quindi ragionevole pensare che gran parte del sedimento mobilizzato dal bassofondo possa essere ri-depositato anche in altri canali tidali della laguna centrale. Questa ipotesi è avvalorata anche dall'analisi dei risultati dei rilievi batimetrici effettuati alle 24 stazioni nel bassofondo e lungo i due transetti del canale (Transetto Fusina e Malamocco). Il confronto delle quote batimetriche delle stazioni sul bassofondo evidenzia un progressivo approfondimento dell'area dal 2002 al 2017 (figura 79). Le variazioni più consistenti sono state osservate nelle stazioni più prossime al canale dove l'idrodinamica dell'area risulta maggiormente alterata dalle perturbazioni generate dal transito delle navi.



Figura 79. Gli istogrammi rappresentano le profondità per tre anni (2002, 2015 e 2017) di cui sono noti i valori batimetrici. A destra la distribuzione delle 24 stazioni campionate nell'area a bassofondo a ovest del canale Malamocco-Marghera

Le uniche due stazioni che presentano accrescimento, sono la stazione 20 e la stazione 23 che si trovano in corrispondenza di un canale tidale naturale che si sviluppa nel bassofondo verso est a partire dalla curva del canale Malamocco-Marghera. Questa evidenza avvalorava l'ipotesi precedentemente descritta e cioè che una parte dei materiali rimossi dal bassofondo si deposita all'interno dei canali circostanti l'area in erosione all'interno dei quali si ha quindi una parziale aggradazione pur in contesto di erosione generalizzata. La deposizione di materiale al fondo del canale Malamocco Marghera e l'erosione dei margini sono ben visibili dall'esame del profilo batimetrico dei transetti posti perpendicolarmente al canale dei quali sono disponibili rilievi del 2015 e del 2017. I risultati evidenziano una progressiva riduzione della pendenza delle scarpate (30% nel 2015 e 23% nel 2017) e un accumulo di materiale al fondo del canale. La diretta conseguenza di questo tipo di dinamica risulta essere la necessità di interventi di dragaggio per mantenere la profondità del canale entro i limiti di sicurezza per la navigazione. Gli interventi di scavo per la manutenzione della via d'accesso al porto vengono effettuati occasionalmente e solo quando l'accumulo di materiale al fondo è tale da comportare un reale pericolo per la navigazione. Le tracce

di questi interventi di dragaggio sono ben visibili nelle batimetrie ad alta risoluzione del canale acquisite dal CNR-ISMAR (Madricardo et al., 2017) (figura 80).



*Figura 80: Batimetria ad alta risoluzione di una sezione del canale Malamocco-Marghera. Con rettangolo rosso vengono evidenziati i segni lasciati dal dragaggio effettuato con benna.*

La continua necessità di interventi per il dragaggio e la movimentazione del materiale non sono gli unici costi da considerare per la gestione della navigabilità del canale industriale. Vanno infatti considerati anche i costi associati alle trasformazioni morfologiche causate dalle perturbazioni generate dal traffico navale e la conseguente perdita di habitat.

Tracce della presenza di un processo erosivo in atto sono visibili, come già descritto, anche nelle aree emerse corrispondenti alle casse di colmata B ed A. La continua perdita di superficie supratidale comporta la progressiva scomparsa di importanti biotopi protetti dalla direttiva europea 79/409/EEC del 2 aprile 1979 per la salvaguardia dell'avifauna.

La propagazione delle onde di depressione a ovest del canale Malamocco-Marghera è ostacolata dalla presenza delle casse di colmata, contro le quali le onde frangono erodendone i margini per scalzamento al piede e crollo che danno luogo alla formazione di una scarpata erosiva (figura 81), la cui evoluzione è descritta dettagliatamente da Zaggia et al. (2017).



*Figura 81. Scarpata di erosione con crollo di materiale. Fotografia scattata lungo il margine della cassa di colmata B.*

Il collasso progressivo di queste scarpate provoca il rapido arretramento della linea di costa. Il processo di erosione che sta avvenendo sulle casse di colmata B ed A, è estremamente avanzato con tassi di arretramento della linea di costa molto veloci e in letteratura non sono presenti valori simili osservati all'interno di lagune costiere. L'arretramento medio annuo osservato nella cassa di colmata B nel periodo dal 1974 al 2018 risulta di circa 3,3 m/anno con valore minimo di 2,8 m/anno di arretramento e massimo di 3.9 m/anno, mentre per quanto riguarda la cassa di colmata A, dove l'andamento del processo erosivo è più irregolare, sono stati stimati tassi estremi di arretramento tra un minimo di 2,5 m/anno ad un massimo di 18 m/anno. Dall'analisi dell'evoluzione di queste aree è possibile osservare come, l'iniziale barriera artificiale, costruita per la salvaguardia delle sponde, sia stata smantellata dall'erosione circa dieci anni dopo la costruzione (1963-1968) lasciando i margini privi di protezione e continuamente sottoposti all'energia delle onde. L'elevata velocità di arretramento della linea di costa è evidenziata dalla presenza di alberi di grandi dimensioni abbattuti a seguito del crollo della scarpata e dalla presenza di accumuli di materiale sulla spiaggia di fronte alle casse di colmata (figura 82).



Figura 82. Margine della cassa di colmata B dove son visibili alberi abbattuti

L'accumulo di materiale in prossimità di questi ostacoli protegge in modo temporaneo l'area, fino alla loro completa rimozione ad opera delle forti correnti dovute alle onde di depressione. A seguire, il processo erosivo si estende alla scarpata della cassa di colmata. L'erosione delle casse di colmata viene attribuita esclusivamente all'azione delle onde prodotte dalle navi in quanto le forzanti naturali (flusso di marea e onde generate da venti di Bora N-NE e Scirocco S-E) che interessano il sito risultano ininfluenti sia per magnitudo sia per frequenza rispetto all'azione continua del traffico navale. La frequenza di venti di elevata intensità è ad esempio relativamente bassa: meno di 10 eventi all'anno presentano un'intensità sufficiente a causare erosione delle sponde della cassa e il *fetch* di tali venti risulta estremamente ridotto. Anche le onde associate a questo tipo di eventi potrebbero essere scarsamente efficaci nella demolizione del margine delle strutture emerse poiché la loro energia potrebbe scaricarsi per frangenza sulla spiaggia antistante la scarpata. Al contrario l'onda di depressione generata dalle navi comporta un forte trasporto in direzione parallela alla linea di riva e l'energia della corrente associata agli eventi forma una sospensione di acqua e fango ad alta densità aumentando considerevolmente il potenziale erosivo della corrente. Le correnti di marea nell'area sono tipicamente deboli, con velocità attorno agli 0,1-0,2 m/s e non sarebbero in grado di dar luogo ad apprezzabili effetti erosivi. Zaggia et al 2017 hanno dimostrato come i tassi di erosione più forti si siano verificati in corrispondenza di periodi con maree elevate ed acque alte più frequenti. Questo si ritiene sia dovuto al fatto che l'azione combinata di maree elevate e di onde di depressione faccia in modo che quest'ultime raggiungano direttamente il piede della scarpata, localizzata ad un'altezza di circa +70 cm sopra lo zero mareografico di Punta Salute. In queste condizioni la scarpata risulta particolarmente vulnerabile, anche per la presenza alla sua base di

livelli sabbiosi preesistenti, facilmente erodibili dalla corrente associata al passaggio dell'onda di depressione.

Oltre ai fenomeni erosivi di aree emerse e di bassofondo, vi sono delle implicazioni sulla stabilità di opere di contenimento del moto ondoso localizzate in alcuni punti al margine del canale attuale.

L'aumento continuo del numero di transiti nel canale Malamocco-Marghera e l'incremento delle dimensioni delle navi fanno sì che nell'area tuttora non sia stato raggiunto un equilibrio morfologico nonostante siano stati effettuati degli interventi per la protezione delle sponde.

Infatti, le opere di protezione realizzate nel 2002 sono state parzialmente distrutte nel breve periodo. Con lett. prot. 12446 del 5 dicembre 2000, L'Autorità Portuale di Venezia ribadisce al Magistrato alle Acque di Venezia la necessità di eseguire un intervento di conterminazione della sponda della Cassa di Colmata DE per bloccare l'erosione della stessa ed il conseguente interrimento del contiguo tratto di canale. La richiesta viene accolta e l'intervento è stato approvato conseguentemente con il D.P. n° 1401 nel quale si dà parere favorevole alla realizzazione del progetto esecutivo OP/251 casse di colmata D/E. Il progetto dell'intervento prevede di posizionare degli elementi di protezione delle sponde utili ad arrestare l'erosione nella cassa D-E provocata dalle onde generate dal traffico navale. Per la protezione della costa vengono utilizzate burghe (gabbioni cilindrici riempiti di sassi con il rivestimento costituito da materiali con diverso grado di degradabilità) con diverse caratteristiche in funzione della profondità e della sollecitazione ondosa e filtro in materiale geotessile drenante lungo la scarpata fino alla quota di sommità delle burghe. Ad oggi l'iniziale protezione garantita dalle strutture, risulta vanificata in seguito alla parziale distruzione delle stesse, la cui struttura non ha resistito alle intense perturbazioni a cui sono state sottoposte. Lungo le sponde della cassa D-E sono infatti osservabili i resti di tale intervento ed è possibile osservare una marcata scarpata erosiva e un arretramento della sponda stessa. (figura 83).



*Figura 83. Margine della cassa di colmata D-E dove sono visibili i resti dell'intervento di protezione effettuato nel 2002 con l'impiego di burghe e teli geotessili.*

Secondo i dati pubblicati dall'autorità portuale (Porto di Venezia, Direzione Tecnica), le spese sostenute per il dragaggio e lo stoccaggio di circa 800.000 m<sup>3</sup> di sedimenti provenienti da canali portuali, ammonta a 40 milioni di Euro.

Si può ragionevolmente ipotizzare che sia depositato all'interno del Malamocco-Marghera l'85,5% del volume totale di sedimento eroso dalle casse di colmata. È dunque possibile stimare un costo di dragaggio di circa 12 milioni di Euro per anno per la sola cassa B. Considerando che il volume di

materiale eroso dalla cassa di colmata A è di circa 10000 m<sup>3</sup> in sei mesi, ai costi per il dragaggio dei materiali provenienti dalla cassa B andrebbero aggiunti ulteriori 1,3 milioni di Euro/anno per il dragaggio del materiale disperso dalla cassa A.

Risulta evidente come per mitigare gli impatti descritti sia necessario intervenire riducendo l'ampiezza delle depressioni che vengono generate. Conoscendo le dimensioni delle navi, sarebbe plausibile pensare ad un intervento di gestione del traffico con cui si possa ottimizzare le velocità di navigazione in relazione alla sezione del canale di navigazione e alla forma dello scafo di ogni singola nave e al livello di marea. Questo richiederebbe sicuramente uno sforzo per ottenere dati batimetrici di dettaglio per l'intero percorso navigato, e accurati sistemi di tracciabilità e posizionamento delle imbarcazioni, nonché il dettaglio della forma della chiglia delle navi in ingresso al porto. Un modello di gestione che tenga conto di tali caratteristiche non necessariamente implica delle restrizioni per l'attività portuale ma al contrario, comporterebbe immediati effetti positivi quali: 1) la salvaguardia dell'habitat lagunare; 2) la riduzione dei costi di dragaggio; 3) la possibilità di adottare limiti di velocità nave-specifici che per alcune tipologie di navi permetterebbero velocità più elevate incentivando ulteriormente la progettazione di scafi a basso impatto e 4) aumentare per alcune tipologie di navi la capacità di carico evitando quindi di penalizzare l'economia del porto.

Un simile modello di gestione del traffico portuale risulterebbe sostenibile, più sicuro ed efficiente ed inoltre porterebbe alla riduzione dei costi ed un eventuale incremento dell'utile. Attualmente, considerate le politiche di sviluppo ed espansione del porto di Venezia risulta necessaria una gestione portuale come quella proposta al fine di evitare un incremento importante degli impatti ambientali in un'area che tutt'ora sopporta un gravissimo processo erosivo. L'incremento delle dimensioni delle navi e del numero di passaggi lungo la via d'accesso del canale Malamocco-Marghera aumenterà l'impatto sulla morfologia del canale e del bassofondo.

## 9 Conclusioni

Lo studio affrontato ha dimostrato, attraverso un'analisi multidisciplinare condotta all'interno della Laguna di Venezia, come il traffico navale lungo il canale Malamocco-Marghera sia una delle principali cause delle alterazioni idro-morfodinamiche in atto in laguna centrale.

- 1) Gli eventi di perturbazione generati al transito di una nave, caratterizzati da depressioni chiaramente distinguibili dal traffico minore poiché di periodo superiore a 25 secondi, generano significativi impatti sull'ambiente quando la loro ampiezza risulta superiore a 0,4 metri. Si è stimato che ogni anno più di 3000 eventi superino tale soglia provocando alterazioni considerevoli in un'area che si estende fino ad oltre 1000 m dal canale di navigazione.
- 2) Con la relazione empirica proposta ( $H_{max} = \text{volume dislocato}^{0.8} \cdot FR^{1.6} \cdot 10^{-3}$ ), si è in grado di avere una previsione sulla magnitudo dell'onda generata al passaggio di una nave. La relazione individua i parametri su cui intervenire per una riduzione degli impatti.
- 3) I parametri principali che determinano la magnitudo dell'onda dipendono dalla sezione del canale di navigazione, dalla dimensione e forma degli scafi, al dal loro volume immerso in relazione al carico e alla velocità di navigazione.
- 4) Le perturbazioni osservate sono responsabili dell'alterazione nella distribuzione granulometrica del sedimento superficiale e in parte del rimaneggiamento del sedimento sottostante. L'area influenzata dagli effetti della navigazione non presenta in alcun modo accumulo di materiale e anzi sono osservabili dei processi di tipo erosivo messi inoltre in evidenza dall'analisi delle variazioni batimetriche nel tempo, la quale ha evidenziato un progressivo approfondimento delle aree a bassofondo.
- 5) Il sedimento di fondo rimobilizzato provoca l'aumento della torbidità nella colonna d'acqua e viene trasportato verso il canale di navigazione soprattutto durante i transiti multipli ripetuti nel breve periodo. Questo processo provoca il progressivo interrimento del canale Malamocco-Marghera.
- 6) Le casse di colmata, localizzate a ovest del canale di navigazione, sono soggette a forte erosione con tassi di arretramento della linea di costa decisamente elevati. Per la cassa di colmata B si è determinato un arretramento medio di 3,6 m/anno, con valori massimi che in alcuni punti raggiungono i 6,5 m/anno. L'arretramento nella cassa A è stato ancora più rapido e ha raggiunto in alcuni siti il valore di 18 m/anno. Dalla loro costruzione le casse B ed A hanno perso rispettivamente 31,4 e 4,5 ettari.

Una scarsa conoscenza dei processi erosivi in atto nell'area hanno fatto sì che gli interventi di protezione delle sponde, effettuati lungo i margini delle casse, siano stati quasi totalmente distrutti lasciando estese aree di costa prive di protezione e quindi soggette all'azione erosiva delle onde di depressione. Il costo sostenuto per il solo dragaggio del sedimento proveniente dalle casse di colmata A e B è stato stimato essere di circa 13 milioni di euro all'anno e rappresenta solo una parte delle spese per il mantenimento del canale portuale. A tali costi vanno poi aggiunti quelli necessari

per la costruzione di strutture a protezione delle sponde e alla loro manutenzione, alla perdita di Habitat protetti, alla dispersione di contaminanti e alla perdita di flora e fauna.

La conoscenza dei parametri alla base della formazione delle perturbazioni idrodinamiche responsabili delle alterazioni in questo ambiente permette di poter intervenire con politiche di gestione che attraverso un approccio integrato, l'individuino linee guida per la condotta delle imbarcazioni. Inoltre, una valutazione sito specifica che consideri le variabili fisiche della singola imbarcazione in tempo reale, permetterebbe una regolazione del traffico e quindi una riduzione degli impatti e dei costi conseguenti.

La particolare situazione dello scalo portuale veneziano, collocato in un ambiente lagunare estremamente alterato dagli effetti dei transiti di grandi navi, ha la necessità di rivedere le norme di navigazione che ad oggi regolano le entrate e le uscite al porto. Questo non implica necessariamente l'imposizione di politiche restrittive che ne limitino la fruibilità ma è doveroso adottare delle regole del traffico, supportate scientificamente, che considerino gli effetti della navigazione sulla morfodinamica. Il lavoro svolto e presentato in questa tesi fornisce gli elementi base per la conoscenza dei fenomeni la cui corretta gestione consapevole comporterebbe non solo un miglioramento nella condizione ambientale ma ulteriori benefici da parte dei portatori di interessi.

## 10 Bibliografia

- Amos CL, Bergamasco A, Umgiesser G, Cappucci S, Cloutier D, Denat L, et al. The stability of tidal flats in Venice Lagoon - the results of in-situ measurements using two benthic, annular flumes. *J Mar Syst.* 2004; 51: 211-241.
- Austin I. High-speed vessels and their impacts on wetlands and habitat: A case study from San Francisco. Paper presented at High-Speed Conference, Victoria, BC, Canada. 1999; 17–19 May.
- Bertram V, Hughes MJ. Practical predictions of wash using full non-linear wave resistance codes. In *Proceedings of the International Conference on High-Performance Marine Vehicles*. Zevenwacht, South Africa. 1999; 12–18.
- Bertram V. *Practical ship hydrodynamics*. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK. 2000.
- Battiston GA, Degetto S, Gerbasi R, Sbrignadello G, Tositti L. The use of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the study of sediment pollution in the Lagoon of Venice. *Sci Total Environ.* 1988; 77: 15-23.
- Begy R, Cosma C, Timar A. Recent changes in Red Lake (Romania) sedimentation rate determined from depth profiles of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radioisotopes. *J Environ Radioact.* 2009; 100: 644-648.
- Bellucci LG, Frignani M, Paolucci D, Ravanelli M. Distribution of heavy metals in sediments of the Venice Lagoon: the role of the industrial area. *Sci Total Environ.* 2002; 295(1–3): 35-49.
- Bellucci LG, Frignani M, Cochran JK, Albertazzi S, Zaggia L, Cecconi G, et al. Pb-210 and Cs-137 as chronometers for salt marsh accretion in the Venice Lagoon - links to flooding frequency and climate change. *J Environ Radioact.* 2007; 97: 85-102.
- Brambati A, Carbognin L, Quaia T, Teatini P, Tosi L. The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence. *Episodes.* 2003; 26(3): 264-265.
- Bosello F, De Cian E. Climate change, sea level rise, and coastal disasters. A review of modeling practices. *Energy Econ.* 2014; 46: 593-605.
- British Columbia Ferry Corporation, 2000. Fast ferry program—Wake and wash report. Unpublished report
- Cavazzoni S. La laguna: origine ed evoluzione. In G. Caniato, E. Turri e M. Zanetti (eds.) *La laguna di Venezia*, Verona: UNESCO, Cierre Ed. 1995; 41-67.
- Cazenave A, Cozannet G Le. Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future.* 2014; 2(2):15-34. <http://doi.wiley.com/10.1002/2013EF000188>

- Cesari P, Pellizzato M. Molluschi pervenuti in laguna di Venezia per apporti antropici volontari o casuali. Acclimatazione di *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughely, 1933) e di *Tapes philippinarum* (Adams & Reeves, 1850). Bolletino Malacologico. 1985; 21(10-12): 237-274.
- Chan IC, Liu PLF. Responses of Bingham-plastic muddy seabed to a solitary surface wave. J Fluid Mech. 2009; 618: 155-180.
- Cochran JK, Frignani M, Salamanca M, Bellucci LG, Guerzoni S. Lead-210 as a tracer of atmospheric input of heavy metals in the northern Venice Lagoon. Mar Chem. 1998; 62(1-2): 15-29
- Coraci E, Umgiesser G, Zonta R. Hydrodynamic and sediment transport modeling in the channels of Venice (Italy). Estuar Coast Shelf Sci. 2007; 75: 250-260.
- Costantini M. Porto navi e traffici a Venezia 1700-2000. Marsilio editori, Venezia. 2004; 158.
- Cucco A, Umgiesser G. Modeling the Venice Lagoon residence time Ecological Modelling, Elsevier Science. 2006; 193: 34-5.
- D'Alpaos L. L'evoluzione morfologica della Laguna di Venezia attraverso la lettura di alcune mappe storiche e delle sue carte idrografiche. Ist Veneto di Sci Lett e Arti. 2010; 1-58.
- Defendi V, Kovačević V, Arena F, Zaggia L. Estimating sediment transport from acoustic measurements in the Venice Lagoon inlets. Cont Shelf Res. 2010; 30(8): 883-93.
- Didenkulova I, Parnell KE, Soomere T, Pelinovsky E, Kurennoy D. Shoaling and Runup of Long Waves Induced By High-Speed Ferries in Tallinn Bay. J Coast Res. 2009; 2009(56): 491-5.
- Duliu G., Computer axial tomography in geosciences: an overview. Earth-Science Reviews. 1999; 48: 265-281.
- Erm A, Soomere T. Influence of fast ship waves on the optical properties of sea water in Tallinn Bay. Proc Estonian Acad Sci Biol Ecol. 2004; 53: 161-178.
- Flemming BW. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. Cont Shelf Res. 2000; 20: 1125-1137.
- Forsman B. From bow to beach. SSPA Highlights. 2001; 3: 4-5.
- Frignani M, Bellucci LG, Langone L, Muntau H. Metal fluxes to the sediments of the northern Venice Lagoon. Mar Chem. 1997; 58: 275-292.
- Gionta M., Effetti morfologici del traffico navale nelle aree lagunari prossime al canale Malamocco-Marghera. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Ambientali, Università Ca' Foscari di Venezia. 2014.

- Gelinas M, Bokuniewicz H, Rapaglia J, Kamazima MML. Sediment resuspension by ship wakes in the Venice Lagoon, *J. Coast. Res.* 2013; 29 (1):8–17.
- Gourlay T. Slender-body methods for predicting ship squat. *Ocean Eng.* 2008; 35: 191-200.
- Handmer J, Honda Y, Kundzewicz ZW, Arnell N, Benito G, Hatfield J, et al. Changes in Impacts of Climate Extremes: Human Systems and Ecosystems. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, et al. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).* Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012; 231-290.
- Hanson S, Nicholls R, Ranger N, Hallegatte S, Corfee-Morlot J, Herweijer C, et al. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Clim Change.* 2011; 104(1): 89-111.
- Havelock, T.H. The propagation of groups of waves in dispersive media, with application to waves on water produced by a travelling disturbance. *Proceedings Royal Society of London, Series A.* 1908; 398-430.
- Hofmann H, Lorke A, Peeters F. The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. *Limnol Oceanogr.* 2008; 53: 368-380.
- Houser C. Relative Importance of Vessel-Generated and Wind Waves to Salt Marsh Erosion in a Restricted Fetch Environment. *Relative Importance of Vessel-Generated and Wind Waves to Salt Marsh Erosion in a Restricted Fetch Environment.* 2010; 262: 230-40
- Hunt P, Engler P, Bajasarowicz C. Computed tomography as a core analysis tool: applications, instrument evaluation and image improvement techniques. *J Petrol Technol.* 1988; 40: 1203 – 1210.
- Kelpšaitė L, Parnell KE, Soomere T. Energy pollution: the relative influence of wind wave and vessel-wake energy in Tallinn Bay, the Baltic Sea. *J Coast.* 2009; SI 56: 812-6.
- Kent VD, Rio D, Massari F, Kukla G, Lanci L. Emergence of Venice during the Pleistocene. *Quat Sci Rev.* 2002; 21: 1719-1727.
- Kirkegaard J, Hojtvad N, Kristensen HOH. Fast ferry operation in Danish waters. 29th International Navigation Congress. The Hague. The Netherlands. 1998; 5–12.
- Krumbein WC. Size frequency distributions of sediments. *J Sediment Petrol.* 1934; 4: 65-77.
- Larson M, Almström B, Göransson G, Hanson H, Danielsson P. Sediment movement induced by ship-generated waves in restricted waterways. *Coastal Dynamics.* 2017; 120: 300-311.
- Lighthill J. *Waves in Fluids.* Cambridge University Press. 1978.

- Madricardo F, Foglini F, Kruss A, Ferrarin C, Pizzeghello NM, Murri C, et al. High resolution multibeam and hydrodynamic datasets of tidal channels and inlets of the Venice Lagoon. *Sci.* 2017; 4 (170121).
- Masselink G, Russell P. Impacts of climate change on coastal erosion. *MCCIP Sci Rev.* 2013; 1(November):71-86.
- Mccullough E C. Photon attenuation in computed tomography. *Med phis.* 1975; 2: 307-320.
- Mie G. Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Ann Phys.* 1908; 330: 377.
- Molinaroli E, Guerzoni S, Sarretta A, Cusso A, Umgiesser G. Links between hydrology and sedimentology in the Lagoon of Venice, Italy. *J Mar Syst.* 2007; 68: 303-317.
- Molinaroli E, Guerzoni S, Sarretta A, Masiol M, Pistolato M. Thirty-year changes (1970 to 2000) in bathymetry and sediment texture recorded in the Lagoon of Venice sub-basins, Italy. *Mar Geol.* 2009; 258(1-4): 115-25.
- Molinaroli E, Sarretta A; De Souza Gguimaraes J A, Botter M, Cassin D, Guerzoni S. Relationship of morpho-sedimentological variations to the fate of Hg- and Zn-polluted sediments in the contaminated site of Porto Marghera, Lagoon of Venice, Italy. *J Environ Prot.* 2013; 4: 37-49.
- Naghdi P, Rubin M. On the squat of a ship. *J Ship Res.* 1984; 28: 107-117.
- Nanson GC, Von Krusentierna A, Bryant EA, Renilson MR. Experimental measurements of river-bank erosion caused by boat generated waves on the Gordon River, Tasmania. *Reg Rivers Res Manage.* 1994; 9: 1-14.
- National Institute for Coastal and Marine Management of the Nethe rlands (RIKZ) et al. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. Report to Directorate General Environment, European Commission. 2004.
- Newman JN. *Marine hydrodynamics.* Cambridge, Massachusetts: MIT Press. 1977.
- Official Journal of the European Communities. No L 103/1, 25.4.79. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31979L0409&from=EN>
- Ordinanza della Capitaneria di Porto (n.175/09 Ministero delle infrastrutture e dei trasporti Capitaneria di Porto-Guardia Costiera Venezia).
- Orlando E. *Venezia e il mare nel medioevo.* Il Mulino, Bologna. 2014; 213.
- Parnell KE, Kofoed-Hansen H. Wakes from Large High-Speed Ferries in Confined Coastal Waters: Management Approaches with Examples from New Zealand and Denmark. *Coast Manage.* 2001; 29(3):217-37.

- Parnell KE, McDonald SC, Burke A E. Shoreline effects of vessel wakes, Marlborough Sounds, New Zealand. *J Coast Res.* 2007; 50(50): 502-6.
- Parnell KE, Delpeche N, Didenkulova I, Dolphin T. Far-field vessel wakes in Tallinn Bay. 2008; 14(4): 273-302.
- Parnell KE, Soomere T, Zaggia L, Rodin A, Lorenzetti G, Rapaglia J, Scarpa GM. Ship-induced solitary Riemann waves of depression in Venice Lagoon. *Phys. Lett.A.* 2015; 379: 555-9.
- Parnell KE, Zaggia L, Soomere T, Lorenzetti G, Scarpa GM. Depression Waves Generated by Large Ships in the Venice Lagoon. *J Coast Res.* 2016; 75 (sp1): 907-11.
- Pethiyagoda R, McCue SW, Moroney TJ. What is the apparent angle of a Kelvin ship wave pattern?. *J Fluid Mech.* 2014; 758: 468 - 85.
- Port of Venice—Autorità portuale di Venezia, Direzione Tecnica—Area Ambiente. Venezia Porto Verde. Iniziative ambientali per il porto di Venezia; 2010
- Pranovi F, Da Ponte F, Raicevich S, Giovanardi O. A multidisciplinary study of the immediate effects of mechanical clam harvesting in the Venice Lagoon. *ICES J Mar Sci.* 2003; 61(1): 43-52.
- Rabaud M, Moisy F. Ship wakes: Kelvin or Mach angle? *Phys Rev.* 2013; 110 (21): No. 214503.
- Rapaglia J, Zaggia L, Ricklefs K, Gelinis M, Bokuniewicz H. Characteristics of ships' depression waves and associated sediment resuspension in Venice Lagoon, Italy. *J Mar Syst.* 2011; 85(1–2): 45-56.
- Rapaglia J, Zaggia L, Parnell K, Lorenzetti G, Vafeidis AT. Ship-wake induced sediment remobilization: Effects and proposed management strategies for the Venice Lagoon. *Ocean Coast Manag.* 2015; 110:1–11.
- Ravens TM, Thomas RC. Ship wave-induced sedimentation of a tidal creek in Galveston Bay. *J Waterw Port Coast Ocean Eng ASCE.* 2008; 134(1): 1-41.
- Ravera O. The lagoon of Venice: The result of both natural factors and human influence. *J Limnol.* 2000; 59: 19-30.
- Regione Veneto. Infrastruttura dei Dati Territoriali del Veneto—Catalogo dei Dati. Available from: <http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/>
- Rodin A, Soomere T, Parnell KE, Zaggia L. Numerical simulation of the propagation of ship-induced Riemann waves of depression into the Venice Lagoon. *Proc Estonian Acad Sci.* 2015; 64(1):22-35.
- Sarretta A, Pillon S, Molinaroli E, Guerzoni S, Fontolan G. Sediment budget in the Lagoon of Venice, Italy. *Cont Shelf Res.* 2010; 30(8): 934-49.
- Schoellhamer DH. Anthropogenic sediment resuspension mechanisms in a shallow microtidal estuary. *Estuar Coast Shelf Sci.* 1996; 43: 533-548.

- Secco T, Pellizzato F, Sfriso A, Pavoni B. The changing state of contamination in the Lagoon of Venice. Part 1: Organic pollutants. *Chemosphere*. 2005; 58(3):279–90.
- Selc. Rapport di progetto. Interventi di sistemazione ambientale nelle casse di colmata. 1999.
- Sfriso A, Facca C, Marcomini A. Sedimentation rates and erosion processes in the lagoon of Venice. *Environ Int*. 2005; 31 (7): 983-992.
- Sommerfeld A. *Optics*. Academic press, New York, 1954; 179.
- Soomere T. Nonlinear ship wake waves as a model of rogue waves and a source of danger to the coastal environment: a review. *Oceanol*. 2006; 48 (S): 185–202.
- Soomere T. Nonlinear components of ship wake waves. *App Mech Rev*. 2007; 60: 120-138.
- Soomere T, Parnell KE, Didenkulova I. Implications of fast-ferry wakes for semi-sheltered beaches: a case study at Aegna Island, Baltic Sea. *J Coast Res I*. 2009; 56(S): 128-132.
- Soomere T, Parnell KE, Didenkulova I. Water transport in wake waves from high-speed vessels. *J Mar Syst*. 2011; 88 (1): 74-81.
- Sorensen R.M. Investigation of ship-generated waves. *J Waterways and Harbors Division*. 1967; 93: 85-99.
- Sorensen R.M. Prediction of vessel-generated waves with reference to vessels common to the Upper Mississippi River System. ENV Report 4, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 1997.
- Streets BM, Holden PA. A mechanistic model of runoff-associated fecal coliform fate and transport through a coastal lagoon. *Water Res*. 2003; 37: 589-608.
- Strom K, Ziegler F. Miljöeffekter av svallvågor från höghastighetsfartyg i Göteborgs skärgård [Environmental impacts from high-speed vessel generated waves in Göteborg's archipelago]. Unpublished report to Göteborg Department of the Environment, Sweden. 1998
- Stumbo S, Fox K, Dvorak F, Elliot L. The prediction, measurements, and analysis of wake wash from Marine vessels. *Mar Tech*. 1999; 36: 248-260.
- Tanaka A, Nakano T, Ikehara K. X-ray computerized tomography analysis and density estimation using a sediment core from the Challenger Mound area in the Porcupine Seabight, off Western Ireland. 2011; 63(2): 103-10.
- Trincardi F, Barbanti A, Bastianini M, Benetazzo A, Cavaleri L, Chiggiato J, et al. The 1966 flooding of Venice: What time taught us for the future. *Oceanography*. 2016; 29(4):178–186.

- Umgiesser G, Sclavo M, Carniel S, Bergamasco A. Exploring the bottom stress variability in the Venice Lagoon. *J Mar Sys.* 2004; 51: 161-178.
- Vascellari F. Caratterizzazione idrologica dell'area compresa tra il canale industriale sud ed il naviglio del Brenta in zona Malcontenta Venezia. Università Ca' Foscari di Venezia. 2002; 4-16.
- Walling DE. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology.* 2006; 79(3-4):192-216.
- Watson AT, Mudra J. Characterization of devonian shales with X-ray computed tomography. *SCA Conf Pap.* 1991; 23(15): 596-602.
- Wellington SL, Vinegar H J. X-ray computerized tomography. *J Petrol Technol.* 1987; 39: 885-898.
- Withjak EM. Computed tomography for Rock-property Determination and fluidflow Visualization. *SPE Formation Evaluation.* 1987; 3(4): 696-704.
- Zaggia L, Lorenzetti G, Manfè G, Scarpa GM, Molinaroli E, Parnell KE, et al. *et al.* Fast shoreline erosion induced by ship wakes in a coastal lagoon: Field evidence and remote sensing analysis. *PLoS One.* 2017; 12: 1-23.
- Zhang KQ, Douglas BC, Leatherman SP. Global warming and coastal erosion. *Clim Change.* 2004; 64(1-2): 41-58.
- Zonta R, Botter M, Cassin D, Pini R, Scattolin M, Zaggia L. Sediment chemical contamination of a shallow water area close to the industrial zone of Porto Marghera (Venice Lagoon, Italy). *Mar Pollut Bull.* 2007; 55(10-12): 529-42.
- Zonta R, Botter M, Cassin D, Giorgio L, Pini R, Dominik J. Estuarine, Coastal and Shelf Science Sediment texture and metal contamination in the Venice Lagoon (Italy): A snapshot before the installation of the MOSE system. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2018; 205: 131-51.
- Zuliani A, Zaggia L, Collavini F, Zonta R. Freshwater discharge from the drainage basin to the Venice Lagoon ( Italy ). 2005; 31: 929-38.

# 11 Allegati

## 11.1 Allegato 1

	<b>data</b>	<b>ora UTC</b>	<b>cresta (m)</b>	<b>cavo (m)</b>	<b>altezza onda (m)</b>	<b>SHIP</b>	<b>Vel (kn)</b>	<b>Dir</b>	<b>Lenght (m)</b>	<b>Width (m)</b>	<b>Drought (m)</b>
1	18/03/2016	11:08:00	3.85	3.46	<b>0.39</b>	Marja	<b>10.6</b>	to Marghera	100	18	6.1
2	18/03/2016	16:42:00	3.85	3.24	<b>0.61</b>	Histria Hagata	<b>8.9</b>	to Malamocco	180	32	7
3	18/03/2016	16:58:00	3.96	2.26	<b>1.70</b>	XIN CHANG SHU	<b>7.5</b>	to Malamocco	280	40	10.3
4	19/03/2016	01:44:00	3.73	3.01	<b>0.72</b>	Asterion	<b>10.9</b>	to Marghera	187	26	6
5	19/03/2016	10:09:00	3.95	3.21	<b>0.74</b>	Eurocargo Patrasso	<b>10.4</b>	to Marghera	185	25	7
6	19/03/2016	10:18:00	3.83	3.54	<b>0.29</b>	DIAMANTGRACHT	<b>7.9</b>	to Marghera	157	23	7.2
7	19/03/2016	10:37:00	3.83	3.26	<b>0.57</b>	MERITIUS	<b>7.5</b>	to Marghera	169	27	9.7
8	19/03/2016	11:25:00	3.67	3.01	<b>0.66</b>	Asterion	<b>10.2</b>	to Malamocco	187	26	6
9	19/03/2016	11:44:00	3.59	3.29	<b>0.30</b>	ENRICO IEVOLI	<b>9.5</b>	to Malamocco	138	20	6.3
10	19/03/2016	12:02:00	3.55	3.35	<b>0.20</b>	SIDER PONZA	<b>9.1</b>	to Malamocco	100	17	6.4
11	19/03/2016	12:08:00	3.52	3.29	<b>0.23</b>	SAADET C	<b>9</b>	to Malamocco	166	23	5.8
12	19/03/2016	12:27:00	3.49	2.84	<b>0.65</b>	YASAR KEMAL	<b>9.4</b>	to Malamocco	190	32	6
13	19/03/2016	13:02:00	3.41	2.93	<b>0.48</b>	CORONA AUSTRALE	<b>8.9</b>	to Malamocco	165	24	7
14	19/03/2016	14:26:00	3.45	2.65	<b>0.80</b>						
15	19/03/2016	14:44:00	3.46	3	<b>0.46</b>	AZIZ TORLAK	<b>10.2</b>	to Marghera	124	17	7.5
16	19/03/2016	14:47:00	3.44	3.1	<b>0.34</b>	TRANSHAV HAZEL	<b>9.9</b>	to Marghera	100	18	6.5
17	19/03/2016	14:53:00	3.46	3.02	<b>0.44</b>						
18	19/03/2016	16:48:00	3.74	3.33	<b>0.41</b>	Marja	<b>10.5</b>	to Malamocco	100	18	6.3
19	19/03/2016	19:32:00	4.15	3.25	<b>0.90</b>	EUROCARGO PATRASO	<b>9.9</b>	to Malamocco	185	25	7
20	20/03/2016	08:18:00	4.22	3.53	<b>0.69</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>10.5</b>	to Marghera	191	26	6.4
21	20/03/2016	10:31:00	3.9	3.44	<b>0.46</b>	IKARIA ANGEL	<b>9.2</b>	to Malamocco	190	31	5.7
22	20/03/2016	13:41:00	3.46	2.6	<b>0.86</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>10.4</b>	to Malamocco	191	26	6.4
23	20/03/2016	15:53:00	3.51	3.35	<b>0.16</b>	AZIZ TORLAK	<b>9.8</b>	to Malamocco	124	17	7.5
24	21/03/2016	01:48:00	3.74	3.3	<b>0.44</b>	LUCY BORCHARD	<b>11.1</b>	to Marghera	132	19	6.1
25	21/03/2016	05:50:00	3.93	3.55	<b>0.38</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>9.6</b>	to Marghera	185	25	6.8

26	21/03/2016	05:59:00	3.94	3.62	<b>0.32</b>	HANSA CLOPPENBURG	<b>8.7</b>	to Marghera	175	27	8.3
27	21/03/2016	09:07:00	4.17	3.88	<b>0.29</b>	K RIVER	<b>10.8</b>	to Marghera	122	18	6.6
28	21/03/2016	09:23:00	4.19	3.61	<b>0.58</b>	CRYSTAL PALACE	<b>9.1</b>	to Marghera	190	32	7.2
29	21/03/2016	11:37:00	3.84	3.44	<b>0.40</b>	NORGAS CATHINKA	<b>9.4</b>	to Malamocco	110	21	7
30	21/03/2016	11:50:00	3.84	3.25	<b>0.59</b>	MSC MEDITERRANEAN	<b>7.6</b>	to Malamocco	203	30	8.5
31	21/03/2016	12:05:00	3.75	3.37	<b>0.38</b>	ARDENZA	<b>9</b>	to Malamocco	134	24	6.6
32	21/03/2016	13:30:00	3.55	3.27	<b>0.28</b>	MARJA	<b>10.8</b>	to Marghera	100	18	5.2
33	21/03/2016	13:45:00	3.58	2.75	<b>0.83</b>	BIANCA AMORETTI	<b>8.2</b>	to Marghera	176	25	8.7
34	21/03/2016	15:31:00	3.44	3.1	<b>0.34</b>	TRANSNAV HAZEL	<b>9.1</b>	to Malamocco	100	18	5
35	21/03/2016	17:31:00	3.75	3.3	<b>0.45</b>	LUCY BORCHARD	<b>9.9</b>	to Malamocco	132	19	7.2
36	21/03/2016	18:23:00	3.96	3.13	<b>0.83</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10.3</b>	to Malamocco	185	25	6.6
37	21/03/2016	20:44:00	4.35	3.67	<b>0.68</b>	DIAMANTGRACHT	<b>11</b>	to Malamocco	157	23	7.3
38	21/03/2016	21:32:00	4.36	3.87	<b>0.49</b>	K RIVER	<b>11.5</b>	to Malamocco	122	18	6.7
39	22/03/2016	05:47:00	3.73	3.34	<b>0.39</b>	SIRIOS CEMENT IV	<b>8.9</b>	to Marghera	134	20	8.4
40	22/03/2016	05:56:00	3.78	3.27	<b>0.51</b>	THOR WIND	<b>9</b>	to Marghera	187	29	7.5
41	22/03/2016	06:02:00	3.8	3.31	<b>0.49</b>	REECON WOLF	<b>9</b>	to Marghera	146	22	8.7
42	22/03/2016	06:07:00	3.8	3.24	<b>0.56</b>	MSC MIA SUMMER	<b>10.2</b>	to Marghera	216	27	9
43	22/03/2016	06:16:00	3.84	3.18	<b>0.66</b>	KING BYRON	<b>9.8</b>	to Marghera	182	25	8.6
44	22/03/2016	06:22:00	3.89	3.26	<b>0.63</b>	ASTERION	<b>11.1</b>	to Marghera	187	26	6
45	22/03/2016	06:40:00	3.89	3.55	<b>0.34</b>	MEERA	<b>10</b>	to Marghera	140	22	6.2
46	22/03/2016	11:33:00	3.94	3.31	<b>0.63</b>	ASTERION	<b>10.5</b>	to Malamocco	187	26	6
47	22/03/2016	13:05:00	3.67	3.37	<b>0.30</b>	SANTA LUCIA	<b>10.5</b>	to Marghera	105	15	6.4
48	22/03/2016	17:34:00	3.73	3.14	<b>0.59</b>	MSC FLORIANA	<b>10.3</b>	to Marghera	188	28	6.9
49	22/03/2016	18:55:00	3.94	3.63	<b>0.31</b>	MARJA	<b>10</b>	to Malamocco	100	18	5.2
50	22/03/2016	19:07:00	4.03	3.16	<b>0.87</b>	MSC MIA SUMMER	<b>9.8</b>	to Malamocco	216	27	9.6
51	22/03/2016	19:23:00	4.09	3.33	<b>0.76</b>	HANSA CLOPPENBURG	<b>8.8</b>	to Malamocco	175	27	9.1
52	22/03/2016	19:37:00	4.11	3.5	<b>0.61</b>	REECON WOLF	<b>9.4</b>	to Malamocco	146	22	8.5
53	22/03/2016	21:51:00	4.25	3.62	<b>0.63</b>	JORK VALIANT	<b>9.3</b>	to Marghera	159	22	9.1
54	22/03/2016	23:34:00	4.04	3.57	<b>0.47</b>	MEERA	<b>10.1</b>	to Malamocco	140	22	6.2
55	23/03/2016	11:05:00	4.21	4.13	<b>0.08</b>	KURKSE	<b>9.8</b>	to Marghera	90	16	4.4

56	23/03/2016	11:11:00	4.23	3.99	<b>0.24</b>	DOMENICO IEVOLI	<b>9.6</b>	to Marghera	118	19	7.2
57	23/03/2016	11:19:00	4.22	3.97	<b>0.25</b>	FT PORTORIA	<b>10</b>	to Marghera	107	15	7
58	23/03/2016	11:32:00	4.24	3.44	<b>0.80</b>	HISTRIA GIADA	<b>8.3</b>	to Marghera	179	32	9.1
59	23/03/2016	12:14:00	4.18	3.59	<b>0.59</b>	MEDI VITORIA	<b>7.1</b>	to Marghera	225	32	9.9
60	23/03/2016	13:37:00	3.94	3.09	<b>0.85</b>	KING BYRON	<b>9.9</b>	to Malamocco	182	25	8.6
61	23/03/2016	13:43:00	3.91	3.44	<b>0.47</b>	KOZA	<b>10.3</b>	to Malamocco	130	18	8.2
62	23/03/2016	13:53:00	3.93	3.67	<b>0.26</b>						
63	23/03/2016	14:08:00	3.86	3.12	<b>0.74</b>	BIANCA AMORETTI	<b>9.9</b>	to Malamocco	176	25	6.7
64	23/03/2016	18:18:00	3.62	3.46	<b>0.16</b>						
65	23/03/2016	19:05:00	3.79	3.18	<b>0.61</b>	JORK VALIANT	<b>8.7</b>	to Malamocco	159	22	9.1
66	23/03/2016	21:06:00	4.24	3.21	<b>1.03</b>	XIN LIAN YUN GANG	<b>9.1</b>	to Marghera	280	40	9.2
67	24/03/2016	05:55:00	3.69	3.17	<b>0.52</b>	TARANTELLA	<b>7.9</b>	to Marghera	183	32	8.3
68	24/03/2016	07:59:00	4.07	3.83	<b>0.24</b>	FT PORTORIA	<b>10.5</b>	to Malamocco	107	15	5.5
69	24/03/2016	09:35:00	4.27	3.87	<b>0.40</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9.9</b>	to Marghera	185	25	7.2
70	24/03/2016	10:45:00	4.39	4.06	<b>0.33</b>	ASIATIC LIBERTY	<b>9.8</b>	to Marghera	148	22	6.9
71	24/03/2016	13:13:00	3.94	3.37	<b>0.57</b>	MSC FLORIANA	<b>10</b>	to Malamocco	188	28	6.5
72	24/03/2016	13:18:00	3.92	3.61	<b>0.31</b>	DOMENICO IEVOLI	<b>10</b>	to Malamocco	118	19	6.7
73	24/03/2016	17:46:00	3.5	2.8	<b>0.7</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9</b>	to Malamocco	185	25	7.2
74	24/03/2016	18:40:00	3.72	3.25	<b>0.47</b>	AZIZ TORLAK	<b>9.4</b>	to Malamocco	124	17	7
75	25/03/2016	01:02:00	4.15	3.62	<b>0.53</b>	ASIATIC LIBERTY	<b>10.2</b>	to Malamocco	148	22	6.9
76	25/03/2016	06:06:00	3.8	3.14	<b>0.66</b>	DST OSLO	<b>7.9</b>	to Marghera	225	32	10.4
77	25/03/2016	08:15:00	4.13	3.39	<b>0.74</b>	HISTRIA GIADA	<b>8.5</b>	to Malamocco	179	32	7.2
78	25/03/2016	08:30:00	4.13	3.88	<b>0.25</b>	SIRIOS CEMENT IV	<b>9</b>	to Malamocco	134	20	5.8
79	25/03/2016	08:59:00	4.19	3.71	<b>0.48</b>	CRYSTAL PALACE	<b>9</b>	to Malamocco	190	32	7.2
80	25/03/2016	11:30:00	4.23	3.85	<b>0.38</b>	MARJA	<b>11.3</b>	to Marghera	100	18	6.3
81	25/03/2016	13:32:00	3.91	3.17	<b>0.74</b>	TARANTELLA	<b>8.6</b>	to Malamocco	183	32	8.1
82	25/03/2016	15:13:00	3.68	3.04	<b>0.64</b>	VALLE DI SIVIGLIA	<b>7.2</b>	to Marghera	176	31	9.1
83	25/03/2016	15:19:00	3.6	2.89	<b>0.71</b>	MAIRA	<b>7.6</b>	to Marghera	207	30	10.1
84	25/03/2016	15:27:00	3.58	3.37	<b>0.21</b>	CLIPPER HEBE	<b>8.1</b>	to Marghera	155	23	6.7
85	25/03/2016	17:57:00	3.65	2.68	<b>0.97</b>	XIN LIAN YUN GANG	<b>6.6</b>	to Malamocco	280	40	9.5

86	26/03/2016	02:28:00	4.05	3.31	<b>0.74</b>	ASTERION	<b>11.3</b>	to Marghera	187	26	6
87	26/03/2016	04:41:00	3.79	2.99	<b>0.8</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10.9</b>	to Marghera	185	25	6.9
88	26/03/2016	05:53:00	3.71	3.36	<b>0.35</b>	BBC GERMANY	<b>9.9</b>	to Marghera	120	20	6.5
89	26/03/2016	07:41:00	3.94	3.32	<b>0.62</b>	MEDI VITORIA	<b>8.5</b>	to Malamocco	225	32	7.4
90	26/03/2016	08:30:00	4.04	3.56	<b>0.48</b>	VALLE DI ARAGONA	<b>7.6</b>	to Malamocco	175	31	7.5
91	26/03/2016	09:53:00	4.18	3.75	<b>0.43</b>	YM JUPITER	<b>10.4</b>	to Marghera	148	21	6.4
92	26/03/2016	11:26:00	4.19	3.58	<b>0.61</b>	ASTERION	<b>10.4</b>	to Malamocco	187	26	6
93	26/03/2016	12:07:00	4.11	3.81	<b>0.3</b>	BBC CANADA	<b>11.3</b>	to Malamocco	101	16	5.8
94	26/03/2016	13:39:00	3.89	3.63	<b>0.26</b>	TRAMPER	<b>9.8</b>	to Malamocco	100	20	5.9
95	26/03/2016	14:09:00	3.9	3.06	<b>0.84</b>	E.R. WELLINGTON	<b>10.1</b>	to Marghera	140	23	9
96	26/03/2016	15:22:00	3.73	2.96	<b>0.77</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10</b>	to Malamocco	185	25	7
97	26/03/2016	15:53:00	3.64	3.58	<b>0.06</b>	ANGELINA C.	<b>9.2</b>	to Marghera	32	11	5.2
98	26/03/2016	15:57:00	3.58	2.99	<b>0.59</b>	THOR WIND	<b>9.4</b>	to Malamocco	187	29	6.8
99	26/03/2016	16:02:00	3.57	3.37	<b>0.2</b>	MARJA	<b>9.4</b>	to Malamocco	100	18	6.7
100	26/03/2016	17:12:00	3.63	3.27	<b>0.36</b>	CHEM HYDRA	<b>8.4</b>	to Malamocco	144	24	6.9
101	26/03/2016	19:46:00	3.99	3.71	<b>0.28</b>	FALESIA	<b>11.1</b>	to Marghera	100	20	5.5
102	27/03/2016	04:56:00	3.58	3.48	<b>0.1</b>	GALATEA	<b>7.1</b>	to Marghera	140	17	4.5
103	27/03/2016	08:57:00	3.93	3.23	<b>0.7</b>	OLYMPIC CHAMPION	<b>11.1</b>	to Marghera	204	26	6.5
104	27/03/2016	10:35:00	3.98	3.61	<b>0.37</b>	CLIPPER HEBE	<b>9.1</b>	to Malamocco	155	23	6.7
105	27/03/2016	10:47:00	4.02	3.42	<b>0.6</b>	VALLE DI SIVIGLIA	<b>7.9</b>	to Malamocco	176	31	7.8
106	27/03/2016	11:11:00	4.02	3.88	<b>0.14</b>	BBC GERMANY	<b>8.1</b>	to Malamocco	120	20	6.4
107	27/03/2016	12:30:00	4.09	3.3	<b>0.79</b>	MSC ELEONORA	<b>8.4</b>	to Marghera	202	30	9.8
108	27/03/2016	12:45:00	4.08	3.54	<b>0.54</b>	AQUATA	<b>7.5</b>	to Marghera	188	32	9
109	27/03/2016	12:51:00	4.03	3.76	<b>0.27</b>	ARDENZA	<b>7.5</b>	to Marghera	134	24	7
110	27/03/2016	13:34:00	4	3.28	<b>0.72</b>	OLYMPIC CHAMPION	<b>10.5</b>	to Malamocco	204	26	6.5
111	27/03/2016	14:54:00	3.82	3.42	<b>0.4</b>	YM JUPITER	<b>10.6</b>	to Malamocco	148	21	5.5
112	28/03/2016	04:36:00	3.72	3.2	<b>0.52</b>	DINAH BORCHARD	<b>10.7</b>	to Marghera	132	20	6.5
113	28/03/2016	05:03:00	3.61	3.26	<b>0.35</b>	CORONA AUSTRALE	<b>7.6</b>	to Marghera	165	24	7.1
114	28/03/2016	05:48:00	3.58	3.05	<b>0.53</b>	ENRICO IEVOLI	<b>8.9</b>	to Marghera	138	20	8.5
115	28/03/2016	06:50:00	3.54	3.45	<b>0.09</b>	GALATEA	<b>7.8</b>		140	17	3

116	28/03/2016	09:08:00	3.82	3.29	<b>0.53</b>	CALAJUNCO M	<b>9.1</b>	to Marghera	160	23	8
117	28/03/2016	10:38:00	3.98	3.56	<b>0.42</b>	G.B.CORRADO	<b>6.6</b>	to Marghera	226	32	10
118	28/03/2016	11:09:00	4.06	3.38	<b>0.68</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10.8</b>	to Marghera	185	25	6.6
119	28/03/2016	15:10:00	3.96	3.51	<b>0.45</b>	DINAH BORCHARD	<b>9.9</b>	to Malamocco	132	20	7.1
120	28/03/2016	16:24:00	3.89	3.17	<b>0.72</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10</b>	to Malamocco	185	25	6.6
121	29/03/2016	04:43:00	3.69	3.26	<b>0.43</b>	ELBDEICH	<b>7.3</b>	to Marghera	127	20	7.3
122	29/03/2016	04:46:00	3.66	3.45	<b>0.21</b>	MARJA	<b>9.9</b>		100	18	4.6
123	29/03/2016	04:53:00	3.66	3.22	<b>0.44</b>	ASTERION	<b>9.9</b>	to Marghera	187	26	6
124	29/03/2016	05:06:00	3.68	3.14	<b>0.54</b>	FIONA	<b>7.6</b>	to Marghera	184	25	7.7
125	29/03/2016	05:31:00	3.64	3.06	<b>0.58</b>	SYN ALTAIR	<b>11.1</b>	to Marghera	115	16	6
126	29/03/2016	11:15:00	3.95	3.34	<b>0.61</b>	E.R. WELLINGTON	<b>9.3</b>	to Malamocco	140	23	8.2
127	29/03/2016	11:25:00	4	3.34	<b>0.66</b>	ASTERION	<b>10.3</b>	to Malamocco	187	26	6
128	29/03/2016	11:54:00	4.02	3.56	<b>0.46</b>	ENRICO IEVOLI	<b>10</b>	to Malamocco	138	20	6.3
129	29/03/2016	13:09:00	4.06	3.81	<b>0.25</b>	TOTO BR	<b>9.3</b>	to Marghera	116	18	7.1
130	29/03/2016	13:26:00	4.1	3.54	<b>0.56</b>	MOONRAY	<b>6.8</b>	to Marghera	190	32	11.4
131	29/03/2016	13:41:00	4.12	3.55	<b>0.57</b>	SEA DOLPHIN C	<b>7.6</b>	to Marghera	181	30	9.7
132	29/03/2016	14:29:00	4.12	3.5	<b>0.62</b>	ZEALAND MAXIMA	<b>8.7</b>	to Marghera	173	27	8
133	29/03/2016	15:53:00	4.03	3.75	<b>0.28</b>	MARJA	<b>10.6</b>	to Marghera	100	18	6.1
134	29/03/2016	16:02:00	4.02	3.72	<b>0.3</b>	TRAMPER	<b>9.8</b>	to Malamocco	100	20	6
135	29/03/2016	16:07:00	4	3.53	<b>0.47</b>	ELBDEICH	<b>9.8</b>	to Malamocco	127	20	7.3
136	29/03/2016	16:24:00	4.01	3.56	<b>0.45</b>	CALAJUNCO M	<b>9.6</b>	to Malamocco	160	23	7
137	29/03/2016	16:37:00	3.98	3.86	<b>0.12</b>	SIDER PONZA	<b>10.4</b>	to Malamocco	100	17	4.2
138	29/03/2016	20:17:00	4.07	3.67	<b>0.4</b>	CORONA AUSTRALE	<b>9.1</b>	to Malamocco	165	24	7
139	29/03/2016	21:48:00	4.21	3.76	<b>0.45</b>	ASIATIC KING	<b>9.9</b>	to Marghera	148	22	7.6
140	30/03/2016	00:56:00	4.13	3.2	<b>0.93</b>	FIONA	<b>9.7</b>	to Malamocco	184	25	8.8
141	30/03/2016	04:42:00	3.81	3.04	<b>0.77</b>	MSC CAITLIN	<b>9.4</b>	to Marghera	216	26	9.4
142	30/03/2016	04:53:00	3.74	3.42	<b>0.32</b>	IEVOLI FAST	<b>10.1</b>	to Marghera	119	18	6.6
143	30/03/2016	05:52:00	3.74	3	<b>0.74</b>	MARINE PRINCESS	<b>7.7</b>	to Marghera	179	30	9
144	30/03/2016	05:59:00	3.67	3.19	<b>0.48</b>	VALLE DI SIVIGLIA	<b>7.1</b>	to Marghera	176	31	7.8
145	30/03/2016	07:07:00	3.67	3.02	<b>0.65</b>	MSC ELEONORA	<b>7.5</b>	to Malamocco	202	30	9.3

146	30/03/2016	08:47:00	3.75	3.27	<b>0.48</b>	E.R.HAMBURG	<b>9</b>	to Marghera	196	30	9
147	30/03/2016	08:59:00	3.8	3.01	<b>0.79</b>	XIN PU DONG	<b>7.8</b>	to Marghera	280	40	9.3
148	30/03/2016	10:53:00	3.91	3.36	<b>0.55</b>	ARDENZA	<b>9.2</b>	to Malamocco	134	24	6.7
149	30/03/2016	11:26:00	3.94	3.75	<b>0.19</b>	OCEAN VICTORY	<b>8.7</b>	to Malamocco	99	16	6
150	30/03/2016	12:58:00	4.07	3.6	<b>0.47</b>	HANDYTANKERS SPIRIT	<b>9.1</b>	to Marghera	171	28	7.1
151	30/03/2016	13:10:00	4.09	3.54	<b>0.55</b>	ATLANTIC ELM	<b>6.5</b>	to Marghera	190	32	11.5
152	30/03/2016	15:59:00	4.15	3.77	<b>0.38</b>	SYN ALTAIR	<b>11.1</b>	to Malamocco	115	16	5.8
153	30/03/2016	17:52:00	4.1	3.63	<b>0.47</b>	MSC CAITLIN	<b>8.5</b>	to Malamocco	216	26	10.3
154	30/03/2016	20:39:00	4.1	3.42	<b>0.68</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10.6</b>	to Marghera	185	25	6.6
155	30/03/2016	23:39:00	4.04	3.51	<b>0.53</b>	ASIATIC KING	<b>9.8</b>	to Malamocco	148	22	7.1
156	31/03/2016	03:40:00	3.91	2.99	<b>0.92</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10</b>	to Malamocco	185	25	6.6
157	31/03/2016	05:09:00	3.82	3.57	<b>0.25</b>	FULDA	<b>10.5</b>	to Marghera	100	13	4.8
158	31/03/2016	05:20:00	3.83	3.32	<b>0.51</b>	UNI PHOENIX	<b>9.9</b>	to Marghera	181	28	6.4
159	31/03/2016	05:35:00	3.86	3.15	<b>0.71</b>	ASIAN CHAMPION	<b>7</b>	to Marghera	190	32	10.8
160	31/03/2016	06:48:00	3.79	3.12	<b>0.67</b>	RHONESTERN	<b>8.8</b>	to Marghera	162	28	7.5
161	31/03/2016	08:40:00	3.77	3.47	<b>0.3</b>	IEVOLI FAST	<b>10.9</b>	to Malamocco	119	18	5.8
162	31/03/2016	09:28:00	3.78	3.43	<b>0.35</b>	DST OSLO	<b>6.6</b>	to Malamocco	225	32	10.4
163	31/03/2016	09:36:00	3.78	2.97	<b>0.81</b>	VALLE DI SIVIGLIA	<b>8.7</b>	to Malamocco	176	31	7.5
164	31/03/2016	10:23:00	3.83	3.18	<b>0.65</b>	G.B.CORRADO	<b>7.4</b>	to Malamocco	226	32	8.1
165	31/03/2016	12:03:00	3.95	3.43	<b>0.52</b>	BAVARIA	<b>9.1</b>	to Marghera	159	24	9
166	31/03/2016	13:58:00	4.13	3.54	<b>0.59</b>	MOONRAY	<b>6.6</b>	to Malamocco	190	32	10.3
167	31/03/2016	15:17:00	4.17	4.06	<b>0.11</b>	NEVA-LEADER 6	<b>9.9</b>	to Marghera	140	17	3.4
168	31/03/2016	15:39:00	4.19	4.04	<b>0.15</b>	PALMALI VOYAGER	<b>9.2</b>	to Marghera	140	17	4.5
169	31/03/2016	15:43:00	4.18	4.05	<b>0.13</b>	SELAHATTIN ASLAN 2	<b>9.7</b>	to Marghera	89	14	6
170	31/03/2016	16:55:00	4.2	3.99	<b>0.21</b>	FULDA	<b>10.3</b>	to Malamocco	100	13	5.5
171	31/03/2016	17:12:00	4.17	4.11	<b>0.06</b>	CASPIAN WIND	<b>8.5</b>	to Malamocco	96	14	3.8
172	31/03/2016	17:37:00	4.16	3.73	<b>0.43</b>	ZEALAND MAXIMA	<b>9.6</b>	to Malamocco	173	27	6.5
173	01/04/2016	03:27:00	4.03	3.38	<b>0.65</b>	UNI PHOENIX	<b>9.4</b>	to Malamocco	181	28	7.2
174	01/04/2016	04:47:00	4.05	3.67	<b>0.38</b>	KRETA	<b>9.7</b>	to Marghera	149	23	6.8
175	01/04/2016	04:57:00	4.05	3.57	<b>0.48</b>	GRANDE ITALIA	<b>8.8</b>	to Marghera	177	30	8.1

176	01/04/2016	05:11:00	4.03	3.82	<b>0.21</b>	ASIATIC NEPTUNE	<b>8.6</b>	to Marghera	100	20	6.3
177	01/04/2016	06:45:00	3.94	3.58	<b>0.36</b>	E.R.HAMBURG	<b>7</b>	to Malamocco	196	30	10.1
178	01/04/2016	08:30:00	3.87	3.53	<b>0.34</b>	SANTA LUCIA	<b>10.8</b>	to Malamocco	105	15	6.3
179	01/04/2016	09:32:00	3.82	3.79	<b>0.03</b>	LOURDES C	<b>9.4</b>	to Malamocco	32	12	5.6
180	01/04/2016	10:33:00	3.86	3.52	<b>0.34</b>	SYN ALTAIR	<b>11.4</b>	to Malamocco	115	16	5.2
181	01/04/2016	15:13:00	4.03	3.4	<b>0.63</b>	ASIAN CHAMPION	<b>6.8</b>	to Malamocco	190	32	9.9
182	01/04/2016	15:49:00	4.06	3.12	<b>0.94</b>	XIN PU DONG	<b>7</b>	to Malamocco	280	40	10.2
183	01/04/2016	17:35:00	4.06	3.42	<b>0.64</b>	GRANDE ITALIA	<b>9</b>	to Malamocco	177	30	8.5
184	01/04/2016	17:50:00	4.05	3.79	<b>0.26</b>	TOTO BR	<b>10</b>	to Malamocco	116	18	5
185	01/04/2016	17:58:00	4.03	3.92	<b>0.11</b>	FT ODIN	<b>8</b>	to Malamocco	92	13	5.6
186	01/04/2016	18:19:00	4.06	3.4	<b>0.66</b>	ATLANTIC ELM	<b>9</b>	to Malamocco	190	32	6.6
187	01/04/2016	18:25:00	4.03	3.63	<b>0.4</b>	KRETA	<b>8.7</b>	to Malamocco	149	23	8.1
188	01/04/2016	21:53:00	3.84	3.22	<b>0.62</b>	BAVARIA	<b>9.2</b>	to Malamocco	159	24	8.8
189	01/04/2016	22:06:00	3.89	3.34	<b>0.55</b>	ASIATIC NEPTUNE	<b>10.8</b>	to Malamocco	100	20	6.2
190	02/04/2016	00:37:00	3.83	3.1	<b>0.73</b>	ASTERION	<b>10.7</b>	to Marghera	187	26	6
191	02/04/2016	03:48:00	3.95	3.41	<b>0.54</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10</b>	to Marghera	185	25	6.8
192	02/04/2016	04:27:00	3.95	3.79	<b>0.16</b>	KURKSE	<b>10.5</b>	to Marghera	90	16	4.2
193	02/04/2016	04:32:00	3.95	3.74	<b>0.21</b>	MARJA	<b>10.1</b>	to Marghera	100	18	6
194	02/04/2016	04:38:00	3.96	3.88	<b>0.08</b>	ACCUM	<b>9.9</b>	to Marghera	86	12	4
195	02/04/2016	04:44:00	3.97	3.77	<b>0.2</b>	HAJEH HESEN	<b>8.7</b>	to Marghera	97	17	7.2
196	02/04/2016	06:49:00	3.98	3.83	<b>0.15</b>	SANTA LUCIA	<b>9.9</b>	to Malamocco	105	15	5.3
197	02/04/2016	08:56:00	3.87	3.43	<b>0.44</b>	MALLIA	<b>9.3</b>	to Malamocco	183	23	6.9
198	02/04/2016	09:04:00	3.86	3.46	<b>0.4</b>	MV HH 18	<b>8.8</b>	to Marghera	146	22	8
199	02/04/2016	09:15:00	3.85	3.52	<b>0.33</b>	ETRUSCO	<b>10</b>	to Marghera	113	16	7.1
200	02/04/2016	10:30:00	3.84	2.96	<b>0.88</b>	ASTERION	<b>10.6</b>	to Malamocco	187	26	6
201	02/04/2016	11:08:00	3.78	3.18	<b>0.6</b>	HANDYTANKERS SPIRIT	<b>8</b>	to Malamocco	171	28	7.1
202	02/04/2016	11:22:00	3.75	3.14	<b>0.61</b>	RHONESTERN	<b>8.2</b>	to Malamocco	162	28	8.8
203	02/04/2016	11:29:00	3.7	3.46	<b>0.24</b>	SYN ALTAIR	<b>10.1</b>	to Malamocco	115	16	6
204	02/04/2016	12:43:00	3.67	3.35	<b>0.32</b>	TRAVIATA	<b>9.8</b>	to Marghera	104	17	7.1
205	02/04/2016	12:50:00	3.7	2.9	<b>0.8</b>	VALCADORE	<b>8.4</b>	to Marghera	184	27	8.6

206	02/04/2016	14:35:00	3.64	2.9	<b>0.74</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>9.5</b>	to Malamocco	185	25	7.2
207	02/04/2016	15:01:00	3.64	3	<b>0.64</b>	MARINE PRINCESS	<b>9.2</b>	to Malamocco	179	30	9
208	02/04/2016	16:21:00	3.82	3.26	<b>0.56</b>	BIANCA AMORETTI	<b>9.5</b>	to Marghera	176	25	6.7
209	02/04/2016	18:15:00	3.98	3.83	<b>0.15</b>	KURKSE	<b>9.4</b>	to Malamocco	90	16	4.4
210	03/04/2016	04:46:00	4.03	3.94	<b>0.09</b>	NORDANA SEA	<b>8.3</b>	to Marghera	120	17	8.3
211	03/04/2016	04:55:00	4.08	3.78	<b>0.3</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>8.9</b>	to Marghera	191	26	6.4
212	03/04/2016	07:24:00	4.19	3.52	<b>0.67</b>	KONINGS DAM	<b>8</b>	to Malamocco	296	38	7.9
213	03/04/2016	09:05:00	4.08	3.33	<b>0.75</b>	DONA BIBI	<b>8.4</b>	to Marghera	229	32	9.3
214	03/04/2016	10:35:00	3.77	3.09	<b>0.68</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>10.1</b>	to Malamocco	191	26	6.4
215	03/04/2016	11:18:00	3.67	3.33	<b>0.34</b>	ETRUSCO	<b>11.2</b>	to Marghera	113	16	5.5
216	03/04/2016	11:55:00	3.58	2.97	<b>0.61</b>	SEA DOLPHIN C	<b>8.5</b>	to Malamocco	181	30	8
217	03/04/2016	22:41	3.96	3.67	<b>0.29</b>	TRAVIATA	<b>11.3</b>	to Malamocco	104	17	5.7
218	04/04/2016	04:39	3.95	3.68	<b>0.27</b>	LUCY BORCHARD	<b>10.1</b>	to Marghera	132	19	6.6
219	04/04/2016	04:46	4	3.38	<b>0.62</b>	MANDARIN NOBLE	<b>9.3</b>	to Marghera	190	32	6.9
220	04/04/2016	04:55	4.04	3.38	<b>0.66</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10.5</b>	to Marghera	185	25	7.1
221	04/04/2016	05:56	4.17	3.58	<b>0.59</b>	JAWOR	<b>7.4</b>	to Marghera	229	32	10.4
222	04/04/2016	07:26	4.24	3.64	<b>0.6</b>	VALCADORE	<b>8.6</b>	to Malamocco	184	27	7.7
223	04/04/2016	08:46	4.19	3.66	<b>0.53</b>	STINA	<b>10.9</b>	to Marghera	135	23	7.3
224	04/04/2016	10:55	3.77	3.01	<b>0.76</b>	BIANCA AMORETTI	<b>9.2</b>	to Malamocco	176	25	6.8
225	04/04/2016	12:31	3.53	3.04	<b>0.49</b>	MAERSK ELLEN	<b>7.1</b>	to Marghera	184	30	7.9
226	04/04/2016	16:00	3.57	2.95	<b>0.62</b>	RINELLA M	<b>7.6</b>	to Marghera	179	32	9
227	04/04/2016	16:06	3.53	3.3	<b>0.23</b>	YM JUPITER	<b>7.1</b>	to Marghera	148	21	8.4
228	04/04/2016	17:27	3.79	2.95	<b>0.84</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9.3</b>	to Malamocco	185	25	7.1
229	04/04/2016	17:41	3.88	3.39	<b>0.49</b>	LUCY BORCHARD	<b>10</b>	to Malamocco	132	19	7.2
230	04/04/2016	17:45:00	3.85	3.74	<b>0.11</b>	ACCUM	<b>9.8</b>	to Malamocco	86	12	4.1
231	05/04/2016	04:45	3.77	3.2	<b>0.57</b>	REECON WOLF	<b>9.9</b>	to Marghera	146	22	8.8
232	05/04/2016	04:49	3.83	2.99	<b>0.84</b>	MSC MIA SUMMER	<b>10.6</b>	to Marghera	216	27	9.1
233	05/04/2016	04:57	3.85	3.25	<b>0.6</b>	ASTERION	<b>11</b>	to Marghera	187	26	6
234	05/04/2016	05:45	3.93	3.58	<b>0.35</b>	NORMANNA	<b>10.2</b>	to Marghera	127	19	6.8
235	05/04/2016	06:05	3.97	3.49	<b>0.48</b>	CLEAR SKY	<b>6.6</b>	to Marghera	200	32	11.4

236	05/04/2016	08:25	4.17	3.38	<b>0.79</b>	JAWOR	<b>7.5</b>	to Malamocco	229	32	9.2
237	05/04/2016	09:48	4.01	3.41	<b>0.6</b>	E.R.SANTIAGO	<b>8.6</b>	to Marghera	196	30	8.3
238	05/04/2016	10:03	3.99	3.59	<b>0.4</b>	SAADET C	<b>8.3</b>	to Marghera	166	23	8.1
239	05/04/2016	10:41	3.87	3.29	<b>0.58</b>	ASTERION	<b>10.8</b>	to Malamocco	187	26	6
240	05/04/2016	11:52	3.65	3.05	<b>0.6</b>	STINA	<b>10.8</b>	to Malamocco	135	23	7.2
241	05/04/2016	12:19	3.51	3.37	<b>0.14</b>	SELAHATTIN ASLAN 2	<b>10.8</b>	to Malamocco	89	14	4.1
242	05/04/2016	13:01	3.38	3.34	<b>0.04</b>	REX II	<b>7.2</b>	to Marghera	60	9	2
243	05/04/2016	13:56	3.31	3.04	<b>0.27</b>	AS CASTOR	<b>7</b>	to Marghera	158	24	7.8
244	05/04/2016	16:26	3.53	3.21	<b>0.32</b>	NORDANA SEA	<b>9.5</b>	to Malamocco	120	17	5.2
245	05/04/2016	16:42	3.62	3.18	<b>0.44</b>	MARJA	<b>10.2</b>	to Malamocco	100	18	6.6
246	05/04/2016	17:46	3.83	3.32	<b>0.51</b>	REECON WOLF	<b>9.3</b>	to Malamocco	146	22	7.6
247	05/04/2016	18:24	3.97	3.54	<b>0.43</b>	AQUATA	<b>8.5</b>	to Malamocco	188	32	6.2
248	05/04/2016	20:07	4.27	3.81	<b>0.46</b>	ASIATIC LIBERTY	<b>10.4</b>	to Marghera	148	22	7.2
249	06/04/2016	04:40	3.47	3.31	<b>0.16</b>						
250	06/04/2016	04:48	3.51	3.26	<b>0.25</b>						
251	06/04/2016	05:00	3.54	3.23	<b>0.31</b>						
252	06/04/2016	05:50	3.68	3.52	<b>0.16</b>						
253	06/04/2016	06:52	3.91	3.45	<b>0.46</b>	MSC MIA SUMMER	<b>8.3</b>	to Malamocco	216	27	9.4
254	06/04/2016	07:13	3.97	3.49	<b>0.48</b>	DONA BIBI	<b>7.7</b>	to Malamocco	229	32	7.4
255	06/04/2016	07:35	4.01	3.6	<b>0.41</b>	MAERSK ELLEN	<b>7.7</b>	to Malamocco	184	30	7.7
256	06/04/2016	08:08	4.07	3.91	<b>0.16</b>	HAJEH HESEN	<b>10.2</b>	to Malamocco	97	17	4.3
257	06/04/2016	08:16	4.09	3.8	<b>0.29</b>	YM JUPITER	<b>9.4</b>	to Malamocco	148	21	5.5
258	06/04/2016	09:42:00	4.19	3.81	<b>0.38</b>	MSC JILHAN	<b>9.9</b>	to Marghera	162	25	6.9
259	06/04/2016	09:45:00	4.2	3.81	<b>0.39</b>	RHONESTERN	<b>9.5</b>	to Marghera	162	28	6.6
260	06/04/2016	10:00:00	4.27	2.2	<b>2.07</b>	XIN QING DAO	<b>8.1</b>	to Marghera	279	40	11
261	06/04/2016	11:53:00	3.83	3.48	<b>0.35</b>	NORMANNA	<b>11</b>	to Malamocco	127	19	6
262	06/04/2016	12:06:00	3.78	3.63	<b>0.15</b>	KURKSE	<b>9.7</b>	to Malamocco	90	16	4.6
263	06/04/2016	13:25:00	3.54	2.7	<b>0.84</b>	A. OBELIX	<b>9.4</b>	to Marghera	182	25	7.6
264	06/04/2016	14:58:00	3.27	2.89	<b>0.38</b>	MALLIA	<b>9.9</b>	to Malamocco	183	23	6.5
265	06/04/2016	15:04:00	3.27	2.75	<b>0.52</b>	ASIATIC LIBERTY	<b>9.5</b>	to Malamocco	148	22	7.1

# NO AIS DATA

266	06/04/2016	15:18:00	3.25	2.71	<b>0.54</b>	MANDARIN NOBLE	<b>8.5</b>	to Malamocco	190	32	6.8
267	06/04/2016	16:51:00	3.47	3.15	<b>0.32</b>	ATA	<b>8.7</b>	to Marghera	150	22	7.7
268	06/04/2016	18:24:00	3.83	3.48	<b>0.35</b>	AS CASTOR	<b>7.8</b>	to Malamocco	158	24	7.8
269	06/04/2016	18:50:00	3.93	3.74	<b>0.19</b>	SANTA LUCIA	<b>11.1</b>	to Malamocco	105	15	4.9
270	06/04/2016	20:15:00	4.21	3.66	<b>0.55</b>	REECON EMIR	<b>10.7</b>	to Marghera	146	22	8.4
271	06/04/2016	21:27:00	4.31	3.81	<b>0.5</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10.7</b>	to Marghera	185	25	6.4
272	07/04/2016	05:01:00	3.26	2.91	<b>0.35</b>	SAADET C	<b>9.2</b>	to Malamocco	166	23	8.1
273	07/04/2016	05:49:00	3.5	3.07	<b>0.43</b>	RINELLA M	<b>6.2</b>	to Malamocco	179	32	9
274	07/04/2016	06:22:00	3.59	2.88	<b>0.71</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>9.4</b>	to Malamocco	185	25	6.6
275	07/04/2016	07:06:00	3.75	3.07	<b>0.68</b>	A. OBELIX	<b>9.3</b>	to Malamocco	182	25	7.8
276	07/04/2016	08:34:00	4	3.64	<b>0.36</b>	ODOARDO AMORETTI	<b>9.3</b>	to Marghera	140	22	7.7
277	07/04/2016	08:40:00	4.03	3.47	<b>0.56</b>	HANSA CLOPPENBURG	<b>9.5</b>	to Marghera	175	27	8.7
278	07/04/2016	08:48:00	4.1	3.37	<b>0.73</b>	POPI S	<b>8.2</b>	to Marghera	229	32	9.2
279	07/04/2016	09:58:00	4.07	3.74	<b>0.33</b>	BSLE GENOVA	<b>10.2</b>	to Marghera	153	23	6.1
280	07/04/2016	11:45:00	3.92	3.2	<b>0.72</b>	E.R.SANTIAGO	<b>8.6</b>	to Malamocco	196	30	8.8
281	07/04/2016	12:03:00	3.83	3.21	<b>0.62</b>	RHONESTERN	<b>9.1</b>	to Malamocco	162	28	8
282	07/04/2016	15:48:00	3.53	3.11	<b>0.42</b>	SYN ATLAS	<b>10.3</b>	to Malamocco	106	16	6.5
283	07/04/2016	16:00:00	3.52	2.88	<b>0.64</b>	REECON EMIR	<b>9.7</b>	to Malamocco	146	22	8.4
284	07/04/2016	16:34:00	3.57	3.27	<b>0.30</b>	MV HH 18	<b>10</b>	to Malamocco	146	22	5
285	07/04/2016	17:39:00	3.71	3.55	<b>0.16</b>	NEVA-LEADER 6	<b>8.9</b>	to Malamocco	140	17	3.8
287	08/04/2016	05:04:00	3.35	2.68	<b>0.67</b>	PACON	<b>8.7</b>	to Marghera	154	24	9.1
288	08/04/2016	05:23:00	3.40	2.79	<b>0.61</b>	LAVIEEN ROSE	<b>7.1</b>	to Marghera	179	28	10.1
	08/04/2016	05:33:00	3.41	2.96	<b>0.45</b>	SHOU CHEN SHAN	<b>8.3</b>	to Marghera	190	32	7.6
289	08/04/2016	07:09:00	3.74	3.12	<b>0.62</b>	CLEAR SKY	<b>8.4</b>	to Malamocco	200	32	7.6
290	08/04/2016	07:55:00	3.94	2.57	<b>1.37</b>	XIN QING DAO	<b>6.1</b>	to Malamocco	279	40	11.2
291	08/04/2016	09:51:00	4.23	4.00	<b>0.23</b>	MEDI CAGLIARI	<b>5.4</b>	to Marghera	225	32	9.6
292	08/04/2016	13:24:00	4.02	3.46	<b>0.56</b>	MSC JILHAN	<b>8.9</b>	to Malamocco	162	25	8.6
293	08/04/2016	13:40:00	3.97	3.56	<b>0.41</b>	BBC KIMBERLEY	<b>10.4</b>	to Malamocco	139	20	6.1
294	08/04/2016	14:55:00	3.72	3.09	<b>0.63</b>	HANSA CLOPPENBURG	<b>9.2</b>	to Malamocco	175	27	8.6
295	08/04/2016	15:05:00	3.7	3.49	<b>0.21</b>	SAKAR	<b>8.9</b>	to Malamocco	169	25	6.1

296	08/04/2016	17:54:00	3.81	3.37	<b>0.44</b>	SHOU CHEN SHAN	<b>7.9</b>	to Malamocco	198	32	7.1
297	08/04/2016	20:23:00	4.32	3.65	<b>0.67</b>	PACON	<b>8.8</b>	to Malamocco	154	24	8.5
298	09/04/2016	00:43:00	4.26	3.36	<b>0.90</b>	ASTERION	<b>11.4</b>	to Marghera	187	26	6
299	09/04/2016	03:42:00	3.62	2.88	<b>0.74</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9.7</b>	to Marghera	185	25	7.4
300	09/04/2016	04:51:00	3.46	3.11	<b>0.35</b>	AMAK SWAN	<b>9.7</b>	to Marghera	113	17	6.6
301	09/04/2016	04:58:00	3.46	2.69	<b>0.77</b>	MSC AUGUSTA	<b>7.9</b>	to Marghera	187	28	9.3
302	09/04/2016	05:08:00	3.45	2.92	<b>0.53</b>	SIDER JOY	<b>7.8</b>	to Marghera	157	27	7.9
303	09/04/2016	05:13:00	3.41	3.16	<b>0.25</b>	MAX LIMIT	<b>7.3</b>	to Marghera	134	20	8.3
304	09/04/2016	07:41:00	3.80	3.55	<b>0.25</b>	K RIVER	<b>10.6</b>	to Marghera	122	18	5.8
305	09/04/2016	10:27:00	4.36	3.40	<b>0.96</b>	ASTERION	<b>10.7</b>	to Malamocco	187	26	6
306	09/04/2016	14:32:00	3.94	3.66	<b>0.28</b>	MARJA	<b>10.2</b>	to Malamocco	100	18	5.9
307	09/04/2016	15:33:00	3.80	3.18	<b>0.62</b>	MAX LIMIT	<b>10.2</b>	to Malamocco	134	20	7.9
308	09/04/2016	16:54:00	3.69	2.82	<b>0.87</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9.4</b>	to Malamocco	185	25	7.4
309	09/04/2016	18:43:00	3.86	3.71	<b>0.15</b>	K RIVER	<b>8.3</b>	to Malamocco	122	18	5.8
310	09/04/2016	21:15:00	4.34	3.71	<b>0.63</b>						
311	10/04/2016	04:58:00	3.60	3.10	<b>0.50</b>	OLYMPIC CHAMPION	<b>9.1</b>	to Marghera	204	26	6.1
312	10/04/2016	07:53:00	3.70	3.49	<b>0.21</b>	AMAK SWAN	<b>9.7</b>	to Malamocco	113	17	5.3
313	10/04/2016	09:14:00	3.97	3.53	<b>0.44</b>	ENRICO IEVOLI	<b>9.2</b>	to Marghera	138	20	9.1
314	10/04/2016	10:18:00	4.16	3.40	<b>0.76</b>	OLYMPIC CHAMPION	<b>9.7</b>	to Malamocco	204	26	6.1
315	11/04/2016	04:58:00	3.65	3.46	<b>0.19</b>	NAKHCHIVAN	<b>8.4</b>	to Marghera	139	16	4.5
316	11/04/2016	05:02:00	3.63	3.55	<b>0.08</b>	ACCUM	<b>8.3</b>	to Marghera	86	12	4
	11/04/2016	05:06:00	3.65	3.38	<b>0.27</b>	INGA A	<b>8.75</b>	to Marghera	149	22	6.6
317	11/04/2016	05:10:00	3.63	3.46	<b>0.17</b>	CENGIZ BEY	<b>8.1</b>	to Marghera	116	20	4.6
318	11/04/2016	05:19:00	3.62	3.37	<b>0.25</b>	ASPANA	<b>9.8</b>	to Marghera	98	19	6.9
319	11/04/2016	05:23:00	3.62	3.43	<b>0.19</b>	DINAH BORCHARD	<b>8.3</b>	to Marghera	132	20	6
320	11/04/2016	05:27:00	3.61	3.18	<b>0.43</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>8.8</b>	to Marghera	185	25	6.6
321	11/04/2016	07:09:00	3.60	2.96	<b>0.64</b>	MSC AUGUSTA	<b>8.8</b>	to Malamocco	187	28	7.2
322	11/04/2016	07:26:00	3.64	3.21	<b>0.43</b>	MEDI CAGLIARI	<b>7.4</b>	to Malamocco	225	32	6.1
323	11/04/2016	09:01:00	3.88	3.43	<b>0.45</b>	MARIA LAURA	<b>8.5</b>	to Marghera	144	23	8.2
324	11/04/2016	09:20:00	3.91	3.56	<b>0.35</b>	SIRIOS CEMENT IV	<b>8.7</b>	to Marghera	134	20	8.4

325	11/04/2016	09:34:00	3.95	3.72	<b>0.23</b>	MARJA	<b>11</b>	to Marghera	100	18	4.7
326	11/04/2016	16:36:00	3.94	3.44	<b>0.50</b>	DINAH BORCHARD	<b>10.7</b>	to Malamocco	132	20	6.9
327	11/04/2016	17:31:00	3.93	3.16	<b>0.77</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10.7</b>	to Malamocco	185	25	6.4
328	11/04/2016	21:34:00	4.24	3.58	<b>0.66</b>	CS DISCOVERY	<b>7.4</b>	to Malamocco	223	32	9.6
329	12/04/2016	03:19:00	4.01	3.54	<b>0.47</b>	INGA A	<b>10.2</b>	to Malamocco	149	22	6.9
330	12/04/2016	04:35:00	3.92	2.97	<b>0.95</b>	MINERVA	<b>9.4</b>	to Marghera	215	30	7.7
331	12/04/2016	04:45:00	3.85	3.21	<b>0.64</b>	E.R. WELLINGTON	<b>9.3</b>	to Marghera	140	23	9
332	12/04/2016	04:57:00	3.87	3.20	<b>0.67</b>	SPES	<b>9</b>	to Marghera	178	27	6.8
333	12/04/2016	05:06:00	3.79	3.56	<b>0.23</b>	FIONA	<b>6.7</b>	to Marghera	184	25	8
334	12/04/2016	10:40:00	4.04	3.05	<b>0.99</b>	ASTERION	<b>10.7</b>	to Malamocco	187	26	6
335	12/04/2016	11:10:00	4.03	3.56	<b>0.47</b>	ODOARDO AMORETTI	<b>9.8</b>	to Malamocco	140	22	7.7
336	12/04/2016	11:21:00	4.01	3.23	<b>0.78</b>	SPES	<b>9.3</b>	to Malamocco	178	27	7.4
337	12/04/2016	11:39:00	4.09	3.51	<b>0.58</b>	MARIA LAURA	<b>9.6</b>	to Malamocco	144	23	6.5
338	12/04/2016	12:46:00	4.12	3.72	<b>0.40</b>	CORAL ACTINIA	<b>10.6</b>	to Marghera	115	17	7.4
339	12/04/2016	12:53:00	4.15	3.56	<b>0.59</b>	MSC CAITLIN	<b>10</b>	to Marghera	216	26	8.9
340	12/04/2016	13:00:00	4.16	3.59	<b>0.57</b>	METEORA	<b>8.7</b>	to Marghera	175	31	7.4
341	12/04/2016	13:28:00	4.18	3.64	<b>0.54</b>	KEY INTEGRITY	<b>7.1</b>	to Marghera	229	32	10
342	12/04/2016	14:03:00	4.16	3.83	<b>0.33</b>	SANTA LUCIA	<b>11</b>	to Marghera	105	15	6.4
343	12/04/2016	14:19:00	4.14	3.83	<b>0.31</b>	BBC SWITZERLAND	<b>10.2</b>	to Marghera	119	20	7.3
344	12/04/2016	14:25:00	4.19	3.59	<b>0.60</b>	CORONA AUSTRALE	<b>9.2</b>	to Marghera	165	24	7.7
345	12/04/2016	15:38:00	4.12	3.78	<b>0.34</b>	MARJA	<b>10.8</b>	to Malamocco	100	18	6.2
346	12/04/2016	15:55:00	4.07	3.67	<b>0.40</b>	SIDER JOY	<b>9.4</b>	to Malamocco	157	27	5.8
347	12/04/2016	16:11:00	4.05	3.68	<b>0.37</b>	BSLE GENOVA	<b>9.2</b>	to Malamocco	153	23	7.3
348	12/04/2016	16:56:00	4.03	3.41	<b>0.62</b>	JORK VALIANT	<b>9.1</b>	to Malamocco	159	22	9.2
349	12/04/2016	18:17:00	4.07	3.76	<b>0.31</b>	ODOARDO AMORETTI	<b>9.5</b>	to Marghera	140	22	7.7
350	12/04/2016	21:42:00	4.21	3.69	<b>0.52</b>	E.R. WELLINGTON	<b>9.7</b>	to Malamocco	140	23	7.9
351	13/04/2016	05:06:00	3.91	3.66	<b>0.25</b>	ADALINE	<b>7.9</b>	to Malamocco	115	19	7.8
352	13/04/2016	05:10:00	3.90	3.69	<b>0.21</b>	MAX SUPPORTER	<b>7.5</b>	to Malamocco	100	20	7.5
353	13/04/2016	05:15:00	3.87	3.77	<b>0.10</b>	SYN ATLAS	<b>7.9</b>	to Malamocco	106	16	6.1
355	13/04/2016	05:28:00	3.91	3.36	<b>0.55</b>	BIANCOVICTORIABULKER	<b>7.1</b>	to Malamocco	180	24	9.8

356	13/04/2016	05:37:00	3.91	2.84	<b>1.07</b>	XIN DA LIAN	<b>7.6</b>	to Malamocco	280	41	9.5
357	13/04/2016	07:12:00	3.78	3.48	<b>0.30</b>	SANTA LUCIA	<b>11.9</b>	to Malamocco	105	15	5.3
358	13/04/2016	07:41:00	3.77	3.27	<b>0.50</b>	ENRICO IEVOLI	<b>9.9</b>	to Malamocco	138	20	6.4
359	13/04/2016	08:59:00	3.78	3.11	<b>0.67</b>	MARIA M	<b>7.2</b>	to Marghera	176	31	9.5
360	13/04/2016	11:27:00	3.92	3.18	<b>0.74</b>	FIONA	<b>9.6</b>	to Malamocco	184	25	8
361	13/04/2016	11:42:00	3.94	3.46	<b>0.48</b>	MSC CAITLIN	<b>7.5</b>	to Malamocco	216	26	10
362	13/04/2016	11:46:00	3.92	3.63	<b>0.29</b>	ASIATIC NEPTUNE	<b>8.8</b>	to Malamocco	148	22	6.2
363	13/04/2016	13:12:00	4.07	3.56	<b>0.51</b>	KING BYRON	<b>9.9</b>	to Marghera	182	25	7.1
365	13/04/2016	15:38:00	4.21	3.92	<b>0.29</b>	CORAL ACTINIA	<b>10.3</b>	to Malamocco	115	17	6.3
366	13/04/2016	17:58:00	4.23	3.68	<b>0.55</b>	MAX SUPPORTER	<b>10.4</b>	to Malamocco	100	20	7.8
367	13/04/2016	21:09:00	4.18	3.48	<b>0.70</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10.5</b>	to Marghera	185	25	7.2
368	13/04/2016	22:41:00	4.14	3.75	<b>0.39</b>	BBC SWITZERLAND	<b>10.6</b>	to Malamocco	119	20	6.1
369	14/04/2016	05:21:00	3.92	3.36	<b>0.56</b>	VIKA	<b>7.3</b>	to Marghera	186	30	9.5
370	14/04/2016	07:15:00	3.81	3.24	<b>0.57</b>	METEORA	<b>8.5</b>	to Malamocco	175	31	7.6
371	14/04/2016	07:30:00	3.79	3.10	<b>0.69</b>	KING BYRON	<b>9.8</b>	to Malamocco	182	25	7.6
372	14/04/2016	07:35:00	3.75	3.47	<b>0.28</b>	SIRIOS CEMENT IV	<b>9.1</b>	to Malamocco	134	20	5.8
373	14/04/2016	07:41:00	3.79	3.03	<b>0.76</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9.4</b>	to Malamocco	185	25	7.3
374	14/04/2016	09:07:00	3.68	3.38	<b>0.30</b>	TANA	<b>9.6</b>	to Marghera	109	21.6	6.9
375	14/04/2016	09:44:00	3.73	3.31	<b>0.42</b>	DOMENICO IEVOLI	<b>10.6</b>	to Marghera	118	19	6.6
376	14/04/2016	12:50:00	4.03	3.08	<b>0.95</b>	MINERVA	<b>8.7</b>	to Malamocco	215	30	8.9
377	14/04/2016	12:54:00	3.95	3.69	<b>0.26</b>	SYN ATLAS	<b>9.4</b>	to Malamocco	106	16	9.4
378	14/04/2016	15:13:00	4.18	3.67	<b>0.51</b>	LAVIEEN ROSE	<b>8.6</b>	to Malamocco	179	28	7.1
379	14/04/2016	16:35:00	4.24	3.89	<b>0.35</b>	ELBDEICH	<b>10.9</b>	to Marghera	127	20	6
380	14/04/2016	18:29:00	4.22	4.11	<b>0.11</b>	NAKHCHIVAN	<b>9.3</b>	to Malamocco	139	16	3.5
381	14/04/2016	18:39:00	4.22	3.82	<b>0.4</b>	CENGIZ BEY	<b>9.3</b>	to Malamocco	116	20	8.1
382	15/04/2016	04:58:00	4.02	3.44	<b>0.58</b>	MAGNUM ENERGY	<b>7.9</b>	to Marghera	190	32	8.3
383	15/04/2016	07:25:00	4.1	3.87	<b>0.23</b>	DOMENICO IEVOLI	<b>9.8</b>	to Malamocco	118	19	6.6
384	15/04/2016	07:49:00	4.1	3.62	<b>0.48</b>	ODOARDO AMORETTI	<b>9.4</b>	to Malamocco	140	22	6.7
385	15/04/2016	08:40:00	4.04	3.31	<b>0.73</b>	MARIA M	<b>9</b>	to Malamocco	176	31	7.5
386	15/04/2016	09:29:00	3.93	3.62	<b>0.31</b>	KEY INTEGRITY	<b>6.3</b>	to Malamocco	229	32	10

387	15/04/2016	09:53:00	3.87	3.34	<b>0.53</b>	CORONA AUSTRALE	<b>9.3</b>	to Malamocco	165	24	7
388	15/04/2016	10:46:00	3.82	3.61	<b>0.21</b>	TANA	<b>10.9</b>	to Malamocco	109	16	6.9
389	15/04/2016	11:08:00	3.85	2.57	<b>1.28</b>	XIN DA LIAN	<b>6.9</b>	to Malamocco	280	41	9.9
390	15/04/2016	12:32:00	3.85	3.53	<b>0.32</b>	MARJA	<b>10.4</b>	to Marghera	100	18	6.6
391	15/04/2016	12:39:00	3.83	3.63	<b>0.2</b>	SYN ALTAIR	<b>10.7</b>	to Marghera	115	16	5.2
392	15/04/2016	15:48:00	4.24	3.71	<b>0.53</b>	ELBDEICH	<b>10.6</b>	to Malamocco	127	20	6.3
393	15/04/2016	16:30:00	4.28	4.09	<b>0.19</b>	ATA	<b>9.6</b>	to Malamocco	150	22	5
394	16/04/2016	00:46:00	3.96	3.15	<b>0.81</b>	ASTERION	<b>11</b>	to Marghera	187	26	6.4
395	16/04/2016	03:46:00	4.02	3.56	<b>0.46</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>9.7</b>	to Marghera	185	25	6.3
396	16/04/2016	08:42:00	4.1	3.76	<b>0.34</b>	FT QUINTO	<b>10.7</b>	to Marghera	120	17	5.5
397	16/04/2016	08:55:00	4.11	3.29	<b>0.82</b>	ARIZONA	<b>7.7</b>	to Marghera	190	32	10
398	16/04/2016	10:24:00	3.98	2.96	<b>1.02</b>	ASTERION	<b>10.6</b>	to Malamocco	187	26	6.4
399	16/04/2016	11:19:00	3.81	3.28	<b>0.53</b>	BIANCOVICTORIABULKER	<b>8.9</b>	to Malamocco	180	24	6.4
400	16/04/2016	12:57:00	3.94	3.28	<b>0.66</b>	CHIPOLBROK PACIFIC	<b>8.7</b>	to Marghera	190	28	8
401	16/04/2016	13:10:00	3.96	3.43	<b>0.53</b>	MSC DON GIOVANNI	<b>7.8</b>	to Marghera	203	31	8.5
402	16/04/2016	15:06:00	4.13	3.32	<b>0.81</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>9.8</b>	to Malamocco	185	25	7.4
403	16/04/2016	17:27:00	4.38	4.05	<b>0.33</b>	MARJA	<b>10.6</b>	to Malamocco	100	18	6.4
404	16/04/2016	21:39:00	4.29	3.69	<b>0.6</b>	MAGNUM ENERGY	<b>9.2</b>	to Malamocco	190	32	6.8
405	17/04/2016	04:36:00	4.08	3.68	<b>0.4</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>9.7</b>	to Marghera	191	26	6.4
406	17/04/2016	04:43:00	4.07	3.79	<b>0.28</b>	THUNDER BIRD	<b>10.6</b>	to Marghera	120	20	5.2
407	17/04/2016	04:57:00	4.09	3.87	<b>0.22</b>	LUCA IEVOLI	<b>10.4</b>	to Marghera	100	15	6.4
408	17/04/2016	09:06:00	4.24	3.5	<b>0.74</b>	TRITON SEAHAWK	<b>9</b>	to Marghera	183	32	8
409	17/04/2016	10:21:00	4.09	3.23	<b>0.86</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>10.5</b>	to Malamocco	191	26	6.4
410	17/04/2016	17:48:00	4.38	4.09	<b>0.29</b>	FT QUINTO	<b>9.7</b>	to Malamocco	120	17	6.9
411	17/04/2016	19:17:00	4.51	4.22	<b>0.29</b>	DOMENICO IEVOLI	<b>10.9</b>	to Marghera	118	19	6.6
412	18/04/2016	04:37:00	3.99	3.69	<b>0.3</b>	NETBURG	<b>9.4</b>	to Marghera	121	16	8.2
413	18/04/2016	04:43:00	4.02	3.71	<b>0.31</b>	LUCY BORCHARD	<b>10.5</b>	to Marghera	132	19	6.4
414	18/04/2016	04:47:00	4.04	3.45	<b>0.59</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10</b>	to Marghera	185	25	7.5
415	18/04/2016	04:57:00	4.03	3.79	<b>0.24</b>	SEDRATA	<b>9</b>	to Marghera	119	20	7.3
416	18/04/2016	05:07:00	4.06	3.58	<b>0.48</b>	SIDER JOY	<b>8.4</b>	to Marghera	157	27	8.2

417	18/04/2016	05:45:00	4.2	3.43	<b>0.77</b>	RICKMERS DALIAN	<b>8.8</b>	to Marghera	193	28	9.4
418	18/04/2016	07:44:00	4.32	4.11	<b>0.21</b>	LUCA IEVOLI	<b>10.6</b>	to Malamocco	100	15	5.6
419	18/04/2016	07:56:00	4.34	3.66	<b>0.68</b>	POPI S	<b>8.9</b>	to Malamocco	229	32	6.8
420	18/04/2016	09:10:00	4.34	3.93	<b>0.41</b>	MARY ELISABETH	<b>11.2</b>	to Marghera	101	16	6.4
421	18/04/2016	09:17:00	4.31	4.06	<b>0.25</b>	MARJA	<b>11.5</b>	to Marghera	100	18	4.7
422	18/04/2016	09:29:00	4.3	3.88	<b>0.42</b>	ALLEGRO	<b>9.8</b>	to Marghera	134	23	7.9
423	18/04/2016	11:19:00	4.07	3.76	<b>0.31</b>	SYN ALTAIR	<b>10</b>	to Malamocco	115	16	6.8
424	18/04/2016	11:30:00	4.08	3.1	<b>0.98</b>	MSC DON GIOVANNI	<b>8</b>	to Malamocco	203	31	10.5
425	18/04/2016	13:23:00	3.91	3.36	<b>0.55</b>	VULCANO M	<b>8.7</b>	to Malamocco	161	23	8.3
426	18/04/2016	14:54:00	3.95	3.06	<b>0.89</b>	MT OTTOMANA	<b>8.3</b>	to Malamocco	170	28	9.2
427	18/04/2016	16:39:00	4.14	3.62	<b>0.52</b>	AYSE A	<b>10.8</b>	to Marghera	147	23	6.4
428	18/04/2016	16:47:00	4.15	3.31	<b>0.84</b>	REECON WOLF	<b>10.2</b>	to Marghera	146	22	8.8
429	18/04/2016	17:38:00	4.25	3.47	<b>0.78</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9.3</b>	to Malamocco	185	25	7.5
430	18/04/2016	17:50:00	4.26	3.81	<b>0.45</b>	VIKA	<b>8.8</b>	to Malamocco	186	30	6.4
431	18/04/2016	18:06:00	4.32	3.85	<b>0.47</b>	LUCY BORCHARD	<b>10.2</b>	to Malamocco	132	19	7.5
432	18/04/2016	18:43:00	4.4	3.97	<b>0.43</b>	ALLEGRO	<b>9.7</b>	to Malamocco	134	23	7.2
433	19/04/2016	04:46:00	3.93	3.52	<b>0.41</b>	MSC MIA SUMMER	<b>9.3</b>	to Marghera	216	27	9
434	19/04/2016	04:52:00	4	3.31	<b>0.69</b>	ASTERION	<b>11.3</b>	to Marghera	187	26	6.4
435	19/04/2016	06:15:00	4.25	3.69	<b>0.56</b>	CORONA AUSTRALE	<b>9.7</b>	to Marghera	165	24	7.7
436	19/04/2016	10:24:00	4.41	3.73	<b>0.68</b>	ASTERION	<b>11.1</b>	to Malamocco	187	26	6.4
437	19/04/2016	12:46:00	3.94	3.43	<b>0.51</b>	REECON WOLF	<b>9.8</b>	to Malamocco	146	22	8
438	19/04/2016	12:57:00	3.9	2.95	<b>0.95</b>	RICKMERS DALIAN	<b>9.2</b>	to Malamocco	193	28	9.6
439	19/04/2016	13:03:00	3.87	3.46	<b>0.41</b>	DOMENICO IEVOLI	<b>9.7</b>	to Malamocco	118	19	7.1
440	19/04/2016	13:37:00	3.8	3.49	<b>0.31</b>	MARJA	<b>10.2</b>	to Malamocco	100	18	6.8
441	19/04/2016	14:18:00	3.77	3.14	<b>0.63</b>	CHIPOLBROK PACIFIC	<b>8.4</b>	to Malamocco	190	28	7.9
442	19/04/2016	15:29:00	3.79	3.56	<b>0.23</b>	TANA	<b>11.2</b>	to Marghera	109	16	5.3
443	19/04/2016	15:39:00	3.82	3.13	<b>0.69</b>	RHONESTERN	<b>8.5</b>	to Marghera	162	28	8.8
444	19/04/2016	15:53:00	3.9	3.26	<b>0.64</b>	AFRICAN HORNBILL	<b>8.4</b>	to Marghera	199	32	7.9
445	19/04/2016	17:14:00	4.07	3.51	<b>0.56</b>	VULCANO M	<b>9.2</b>	to Malamocco	161	23	7
446	19/04/2016	17:36:00	4.12	3.88	<b>0.24</b>	NETBURG	<b>9.8</b>	to Malamocco	121	16	5.1

447	19/04/2016	19:25:00	4.38	4.24	<b>0.14</b>	TOTO BR	<b>10.4</b>	to Marghera	116	18	5
448	19/04/2016	19:32:00	4.42	3.82	<b>0.6</b>	BAVARIA	<b>9.9</b>	to Marghera	159	24	9.2
449	20/04/2016	04:42:00	3.85	3.46	<b>0.39</b>	CORAL ACTINIA	<b>10.4</b>	to Marghera	115	17	7.4
450	20/04/2016	05:03:00	3.94	3.33	<b>0.61</b>	GUARDIANSHIP	<b>8</b>	to Marghera	190	32	9.3
451	20/04/2016	05:11:00	3.9	3.59	<b>0.31</b>	MAIRA	<b>7.4</b>	to Marghera	207	30	9.3
452	20/04/2016	06:48:00	4.19	3.81	<b>0.38</b>	SIDER JOY	<b>8.7</b>	to Malamocco	157	27	5.8
453	20/04/2016	07:05:00	4.26	3.29	<b>0.97</b>	MSC MIA SUMMER	<b>9.9</b>	to Malamocco	216	27	9.7
454	20/04/2016	07:46:00	4.36	3.6	<b>0.76</b>	TRITON SEAHAWK	<b>8.6</b>	to Malamocco	183	32	7.2
455	20/04/2016	09:12:00	4.38	4.06	<b>0.32</b>	ASIATIC LIBERTY	<b>10.1</b>	to Marghera	148	22	6.6
456	20/04/2016	09:23:00	4.37	4.08	<b>0.29</b>	LADY FARIDA	<b>8.8</b>	to Marghera	106	18	7.8
457	20/04/2016	10:01:00	4.39	3.57	<b>0.82</b>	MAYSSAN	<b>8.1</b>	to Marghera	306	40	8.5
458	20/04/2016	11:02:00	4.26	3.62	<b>0.64</b>	BUNUN GLORY	<b>7.3</b>	to Marghera	178	29	10.3
459	20/04/2016	12:46:00	3.97	3.38	<b>0.59</b>	AYSE A	<b>10.1</b>	to Malamocco	147	23	6.4
460	20/04/2016	12:51:00	3.93	3.75	<b>0.18</b>	MARY ELISABETH	<b>10.9</b>	to Malamocco	101	16	4.2
461	20/04/2016	13:20:00	3.86	3.18	<b>0.68</b>	RHONESTERN	<b>9.5</b>	to Malamocco	162	28	8.8
462	20/04/2016	14:48:00	3.8	3.11	<b>0.69</b>	UNI PHOENIX	<b>9.4</b>	to Marghera	181	28	8.9
463	20/04/2016	14:57:00	3.77	3.14	<b>0.63</b>	SEA AMBITION	<b>8.1</b>	to Marghera	144	24	6
464	20/04/2016	15:30:00	3.77	3.15	<b>0.62</b>	GLOBAL BRAVE	<b>7</b>	to Marghera	190	32.3	9.8
465	20/04/2016	18:17:00	4.15	3.47	<b>0.68</b>	BAVARIA	<b>9.2</b>	to Malamocco	159	24	9
466	20/04/2016	18:31:00	4.18	3.52	<b>0.66</b>	MT OTTOMANA	<b>9.3</b>	to Malamocco	170	28	6.9
467	20/04/2016	20:00:00	4.39	3.88	<b>0.51</b>	BENTLEY I	<b>7.7</b>	to Marghera	175	31	7.2
468	20/04/2016	21:39:00	4.42	3.71	<b>0.71</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10.7</b>	to Marghera	185	25	6.8
469	21/04/2016	00:53:00	3.82	3.23	<b>0.59</b>	ASIATIC LIBERTY	<b>10</b>	to Malamocco	148	22	6.9
470	21/04/2016	04:39:00	3.85	3.02	<b>0.83</b>	HANSA CLOPPENBURG	<b>9</b>	to Marghera	175	27	8.3
471	21/04/2016	06:35:00	4.13	3.78	<b>0.35</b>	CORAL ACTINIA	<b>9</b>	to Malamocco	115	17	6.3
472	21/04/2016	07:20:00	4.29	3.47	<b>0.82</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10</b>	to Malamocco	185	25	6.8
473	21/04/2016	07:36:00	4.32	3.57	<b>0.75</b>	SEA AMBITION	<b>8</b>	to Malamocco	144	24	6
474	21/04/2016	08:58:00	4.41	4.28	<b>0.13</b>	GASCHEM RHONE	<b>10</b>	to Marghera	114	16	7.3
475	21/04/2016	09:16:00	4.47	3.9	<b>0.57</b>	VALLE DI GRANADA	<b>7</b>	to Marghera	176	31	7.5
476	21/04/2016	11:56:00	4.24	3.97	<b>0.27</b>						

477	21/04/2016	14:15:00	3.93	3.13	<b>0.8</b>	ARIZONA	<b>7.7</b>	to Malamocco	190	32	8.9
478	21/04/2016	15:46:00	3.74	3.18	<b>0.56</b>	UNI PHOENIX	<b>9.2</b>	to Malamocco	182	28	7
479	21/04/2016	18:23:00	4.14	3.03	<b>1.11</b>	MAIRA	<b>8.7</b>	to Malamocco	207	30	9.9
480	22/04/2016	07:40:48	4.37	4.15	<b>0.22</b>						
481	22/04/2016	10:53:00	4.41	3.59	<b>0.82</b>	MSC MEDITERRANEAN	<b>9.9</b>	to Marghera	203	30	8.4
482	22/04/2016	12:47:00	4.16	3.42	<b>0.74</b>	KANG LONG	<b>7.5</b>	to Marghera	190	32	9.9
483	22/04/2016	14:32:00	3.85	3.24	<b>0.61</b>	GUARDIANSHIP	<b>8.7</b>	to Malamocco	190	32	7.7
484	22/04/2016	15:38:00	3.7	3.15	<b>0.55</b>	CORONA AUSTRALE	<b>8.9</b>	to Malamocco	165	24	7.7
485	22/04/2016	16:15:00	3.76	2.94	<b>0.82</b>	MAYSSAN	<b>6.4</b>	to Malamocco	306	40	9.3
486	22/04/2016	17:41:00	3.87	3.17	<b>0.7</b>	VALLE DI GRANADA	<b>8.8</b>	to Malamocco	176	31	7.5
487	22/04/2016	20:05:00	4.32	3.97	<b>0.35</b>	GASCHEM RHONE	<b>10.3</b>	to Malamocco	115	16	7.3
488	22/04/2016	21:02:00	4.42	3.81	<b>0.61</b>	HANSA CLOPPENBURG	<b>8.8</b>	to Malamocco	175	27	8.7
489	23/04/2016	00:35:00	4.24	3.21	<b>1.03</b>	ASTERION	<b>11.5</b>	to Marghera	187	26	6.4
490	23/04/2016	03:41:00	3.75	2.85	<b>0.9</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10.5</b>	to Marghera	185	25	7
491	23/04/2016	04:51:00	3.66	2.99	<b>0.67</b>	ZEALAND AMALIA	<b>8.2</b>	to Marghera	173	27	8
492	23/04/2016	04:57:00	3.62	3.34	<b>0.28</b>	MEERA	<b>9.3</b>	to Marghera	140	22	6.5
493	23/04/2016	06:47:00	3.88	3.45	<b>0.43</b>	ENRICO IEVOLI	<b>9</b>	to Marghera	138	20	8.9
494	23/04/2016	08:19:00	4.1	3.66	<b>0.44</b>	MELORIA	<b>7.1</b>	to Marghera	176	31	10
495	23/04/2016	11:06:00	4.36	3.4	<b>0.96</b>	ASTERION	<b>10.8</b>	to Malamocco	187	26	6.4
496	23/04/2016	14:28:00	3.91	2.96	<b>0.95</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>9.8</b>	to Malamocco	185	25	7
497	23/04/2016	16:44:00	3.8	3.05	<b>0.75</b>	MSC MARYLENA	<b>10.4</b>	to Malamocco	216	26	8.2
498	23/04/2016	18:10:00	3.9	3.41	<b>0.49</b>	MEERA	<b>9.5</b>	to Malamocco	140	22	6.3
499	23/04/2016	18:41:00	4.06	3.44	<b>0.62</b>	THUNDER BIRD	<b>11.4</b>	to Malamocco	120	20	6.2
500	24/04/2016	04:40:00	3.63	2.59	<b>1.04</b>	OLYMPIC CHAMPION	<b>11.2</b>	to Marghera	204	26	6.5
501	24/04/2016	05:22:00	3.5	2.97	<b>0.53</b>	IKARIA ISLAND	<b>6.9</b>	to Marghera	171	27	10.4
502	24/04/2016	09:16:00	4.13	3.2	<b>0.93</b>	MELORIA	<b>7.7</b>	to Malamocco	176	31	8
503	24/04/2016	10:29:00	4.28	3.12	<b>1.16</b>	OLYMPIC CHAMPION	<b>10.9</b>	to Malamocco	204	26	6.5
504	24/04/2016	10:58:00	4.26	3.48	<b>0.78</b>						
505	24/04/2016	12:11:00	4.3	3.71	<b>0.59</b>	BIANCA AMORETTI	<b>9.3</b>	to Marghera	176	25	6.8
506	24/04/2016	13:31:00	4.14	3.63	<b>0.51</b>	MSC MEDITERRANEAN	<b>7.9</b>	to Malamocco	203	31	9.8

507	24/04/2016	19:11:00	4.21	3.79	<b>0.42</b>
508	25/04/2016	04:43:00	3.61	2.93	<b>0.68</b>
509	25/04/2016	04:48:00	3.6	3.09	<b>0.51</b>
510	25/04/2016	04:58:00	3.58	2.98	<b>0.6</b>
511	25/04/2016	06:49:00	3.62	3.36	<b>0.26</b>
512	25/04/2016	14:21:00	4.19	3.47	<b>0.72</b>
513	25/04/2016	19:09:00	4.1	3.54	<b>0.56</b>
514	26/04/2016	04:37:00	3.72	2.79	<b>0.93</b>
515	26/04/2016	04:46:00	3.61	3.17	<b>0.44</b>
516	26/04/2016	05:22:00	3.57	3.15	<b>0.42</b>
517	26/04/2016	06:41:00	3.64	3	<b>0.64</b>
518	26/04/2016	06:46:00	3.68	2.93	<b>0.75</b>
519	26/04/2016	07:12:00	3.77	3.03	<b>0.74</b>
520	26/04/2016	08:39:00	3.96	3.43	<b>0.53</b>
521	26/04/2016	08:54:00	4.03	3.42	<b>0.61</b>
522	26/04/2016	08:59:00	3.97	3.59	<b>0.38</b>
523	26/04/2016	09:13:00	4.07	3.35	<b>0.72</b>
524	26/04/2016	10:26:00	4.22	3.5	<b>0.72</b>
525	26/04/2016	12:08:00	4.31	3.87	<b>0.44</b>
526	26/04/2016	12:12:00	4.3	3.9	<b>0.4</b>
527	26/04/2016	14:09:00	4.32	4.04	<b>0.28</b>
528	26/04/2016	15:30:00	4.23	3.91	<b>0.32</b>
529	26/04/2016	15:36:00	4.26	3.59	<b>0.67</b>
530	26/04/2016	17:48:00	4.24	1.79	<b>2.45</b>
531	26/04/2016	19:49:00	4.09	3.28	<b>0.81</b>
532	27/04/2016	04:43:00	3.7	2.84	<b>0.86</b>
533	27/04/2016	05:08:00	3.67	2.79	<b>0.88</b>
534	27/04/2016	07:13:00	3.64	3.14	<b>0.5</b>
535	27/04/2016	08:13:00	3.77	3.42	<b>0.35</b>

# NO AIS DATA

LETIZIA EFFE	9.6	to Marghera	150	23	8.19
DOROTHEA					
OLDENDORFF	8.2	to Marghera	177	28	9.6
SAKAR	8.4	to Marghera	169	25	8.5
MARINICKI	7.5	to Marghera	225	32	10
ASTERION	11.2	to Malamocco	187	26	6.5
E.R.HAMBURG	8.1	to Marghera	196	30	9.3
FIONA	8.6	to Marghera	184	25	8
ATLANTIC	12.8	to Marghera	105	16	5.1
MARJA	10.3	to Malamocco	100	18	6.5
MSC MARYLENA	10.1	to Malamocco	216	26	7.8
XIN XIA MEN	9.1	to Marghera	279	40	9.4
A. OBELIX	9.9	to Malamocco	182	25	8
MSC ASLI	9.6	to Marghera	217	26	9.4
KOZNITZA	7.2	to Marghera	180	29	9.8
AFRICAN HORNBILL	8.1	to Malamocco	199	32	6.6
LETIZIA EFFE	8.5	to Malamocco	150	23	6

536	27/04/2016	09:26:00	3.91	3.49	<b>0.42</b>	K RIVER	<b>10.9</b>	to Marghera	122	18	6.8
537	27/04/2016	09:32:00	3.94	3.45	<b>0.49</b>	MAASGRACHT	<b>11.5</b>	to Marghera	142	19	8.5
538	27/04/2016	09:41:00	3.96	3.21	<b>0.75</b>	CANNETO M	<b>9.4</b>	to Marghera	162	23	8.2
539	27/04/2016	09:46:00	4	3.58	<b>0.42</b>	TRAMPER	<b>10.2</b>	to Marghera	100	20	6.5
540	27/04/2016	09:56:00	4.02	3.76	<b>0.26</b>	BBC VESUVIUS	<b>8.9</b>	to Marghera	126	22	6.2
541	27/04/2016	10:19:00	4.11	3.21	<b>0.9</b>	ASIATIC KING	<b>10.7</b>	to Marghera	148	22	6.9
542	27/04/2016	11:29:00	4.19	3.42	<b>0.77</b>	FIONA	<b>9.3</b>	to Malamocco	184	25	7.6
543	27/04/2016	14:55:00	4.28	3.59	<b>0.69</b>	SEDRATA	<b>10.3</b>	to Malamocco	119	20	7.3
544	27/04/2016	16:27:00	4.23	3.96	<b>0.27</b>	FALESIA	<b>10.6</b>	to Marghera	100	20	6.5
545	27/04/2016	17:33:00	4.21	3.25	<b>0.96</b>	KANG LONG	<b>7.8</b>	to Malamocco	190	32	9.5
546	27/04/2016	17:43:00	4.22	3.64	<b>0.58</b>	MSC ASLI	<b>9.4</b>	to Malamocco	217	26	9.8
547	27/04/2016	17:49:00	4.22	3.91	<b>0.31</b>	K RIVER	<b>9.7</b>	to Malamocco	122	18	6.8
548	27/04/2016	21:04:00	4.36	3.68	<b>0.68</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10.7</b>	to Marghera	185	25	6.9
549	27/04/2016	23:30:00	4.44	3.3	<b>1.14</b>	ASIATIC KING	<b>10.5</b>	to Marghera	148	22	6.9
550	28/04/2016	05:03:00	3.89	3.38	<b>0.51</b>	STAR JENNIFER	<b>7.9</b>	to Marghera	229	32	7
551	28/04/2016	05:11:00	3.82	3.58	<b>0.24</b>	MERKUR CLOUD	<b>7.8</b>	to Marghera	187	27	7.3
552	28/04/2016	05:24:00	3.83	3.33	<b>0.5</b>	VIRTUOUS STRIKER	<b>6.5</b>	to Malamocco	190	32	10
553	28/04/2016	06:55:00	3.81	2.77	<b>1.04</b>	EUROCARGO PATRASSO	<b>10</b>	to Malamocco	182	25	6.9
554	28/04/2016	07:32:00	3.79	2.86	<b>0.93</b>	CANNETO M	<b>9.9</b>	to Malamocco	162	23	7
555	28/04/2016	07:45:00	3.76	3.22	<b>0.54</b>	ZEALAND AMALIA	<b>9.2</b>	to Malamocco	173	27	8
556	28/04/2016	09:32:00	3.94	3.36	<b>0.58</b>	RICKMERS JAKARTA	<b>8.2</b>	to Malamocco	189	28	9.4
557	28/04/2016	09:43:00	3.98	3.55	<b>0.43</b>	GARGANEY	<b>8.5</b>	to Malamocco	200	24	7.8
558	28/04/2016	11:37:00	4.16	3.83	<b>0.33</b>	FALESIA	<b>11.6</b>	to Malamocco	100	20	5.2
559	28/04/2016	12:35:00	4.25	3.88	<b>0.37</b>	YM JUPITER	<b>9.8</b>	to Malamocco	148	21	5.5
560	28/04/2016	14:36:00	4.36	4.08	<b>0.28</b>	TRAMPER	<b>8.9</b>	to Marghera	100	20	6.9
561	28/04/2016	17:39:00	4.29	3.24	<b>1.05</b>	RICKMERS JAKARTA	<b>9.1</b>	to Malamocco	189	28	9.4
562	28/04/2016	18:18:00	4.24	3.48	<b>0.76</b>	E.R.HAMBURG	<b>8.2</b>	to Malamocco	196	30	9.3
563	28/04/2016	18:29:00	4.21	3.84	<b>0.37</b>	MAASGRACHT	<b>10.5</b>	to Malamocco	142	19	8.5
564	28/04/2016	22:47:00	4.13	3.54	<b>0.59</b>	BBC VESUVIUS	<b>10.6</b>	to Malamocco	126	22	6.8
565	29/04/2016	03:30:00	4.04	2.62	<b>1.42</b>	XIN XIA MEN	<b>7.4</b>	to Malamocco	279	40	9.5

566	29/04/2016	03:39:00	3.99	3.56	<b>0.43</b>	KRETA	<b>9.1</b>	to Malamocco	149	23	6.7
567	29/04/2016	05:11:00	3.89	3.26	<b>0.63</b>	E.R.SANTIAGO	<b>8.5</b>	to Marghera	196	30	8.7
568	29/04/2016	05:18:00	3.87	3.41	<b>0.46</b>	QUERCIANELLA	<b>9.2</b>	to Marghera	141	20	7.2
569	29/04/2016	05:24:00	3.87	3.69	<b>0.18</b>	NORGAS CATHINKA	<b>8.5</b>	to Marghera	110	21	5.7
570	29/04/2016	07:23:00	3.84	3.14	<b>0.7</b>	MARINICKI	<b>8.8</b>	to Malamocco	226	32	6.7
571	29/04/2016	07:40:00	3.85	3.35	<b>0.5</b>	SAKAR	<b>9.9</b>	to Malamocco	169	25	5.4
572	29/04/2016	09:05:00	3.92	3.41	<b>0.51</b>	STAR JENNIFER	<b>7.7</b>	to Malamocco	229	32	7
573	29/04/2016	10:36:00	4.02	3.77	<b>0.25</b>	MARJA	<b>10.8</b>	to Marghera	100	18	6
574	29/04/2016	10:50:00	4.1	3.36	<b>0.74</b>	MSC ELEONORA	<b>8.8</b>	to Marghera	202	30	8.7
575	29/04/2016	14:20:00	4.353	3.76	<b>0.593</b>	GRANDE SPAGNA	<b>9.6</b>	to Marghera	176	31	6
576	29/04/2016	14:31:00	4.32	3.91	<b>0.41</b>	HAPPY DIAMOND	<b>9.5</b>	to Marghera	157	26	7.6
577	29/04/2016	16:10:00	4.26	4.01	<b>0.25</b>	TOTO BR	<b>9.6</b>	to Malamocco	116	18	5.3
578	29/04/2016	16:43:00	4.24	3.74	<b>0.5</b>	MERKUR CLOUD	<b>10.1</b>	to Malamocco	187	27	7.3
579	29/04/2016	16:55:00	4.21	3.55	<b>0.66</b>	GLOBAL BRAVE	<b>9.4</b>	to Malamocco	190	32	6.3
580	29/04/2016	22:23:00	3.96	3.04	<b>0.92</b>	GRANDE SPAGNA	<b>9.2</b>	to Malamocco	176	31	8.5
581	30/04/2016	01:11:00	4.09	3.34	<b>0.75</b>	ASTERION	<b>11.3</b>	to Marghera	187	26	6.2
582	30/04/2016	03:43:00	4.1	3.57	<b>0.53</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10.6</b>	to Marghera	185	25	6.1
583	30/04/2016	04:33:00	4.06	3.77	<b>0.29</b>	PALENCIA	<b>10.5</b>	to Marghera	122	19	5.2
584	30/04/2016	04:45:00	4.06	3.81	<b>0.25</b>	ANJA C	<b>9</b>	to Marghera	108	18	6.9
585	30/04/2016	04:51:00	4.06	3.65	<b>0.41</b>	MAX VENTURE	<b>8.9</b>	to Marghera	145	22	8.2
586	30/04/2016	06:52:00	3.91	3.51	<b>0.4</b>	BUNUN GLORY	<b>8.7</b>	to Malamocco	178	29	10.3
587	30/04/2016	07:17:00	3.88	3.61	<b>0.27</b>	QUERCIANELLA	<b>9.5</b>	to Malamocco	141	20	6
588	30/04/2016	09:13:00	3.92	2.98	<b>0.94</b>	INDEPENDENT CONCEPT	<b>9.4</b>	to Marghera	167	26	9.5
589	30/04/2016	09:27:00	3.91	3.3	<b>0.61</b>	HISTRIA AZURE	<b>7.7</b>	to Marghera	179	32	8.4
590	30/04/2016	10:33:00	3.85	3.35	<b>0.5</b>	ASTERION	<b>9.9</b>	to Malamocco	187	26	6.2
591	30/04/2016	11:02:00	3.85	3.58	<b>0.27</b>	MARJA	<b>10.4</b>	to Malamocco	100	18	6.1
592	30/04/2016	11:21:00	3.85	3.43	<b>0.42</b>	E.R.SANTIAGO	<b>9.7</b>	to Malamocco	196	30	8.2
593	30/04/2016	11:56:00	3.92	3.08	<b>0.84</b>	EUROCARGO TRIESTE	<b>10.2</b>	to Malamocco	185	25	6.1
594	30/04/2016	12:18:00	3.93	3.44	<b>0.49</b>	DOROTHEA OLDENDORFF	<b>9.1</b>	to Malamocco	177	28	6

595	30/04/2016	15:06:00	4.1	3.78	<b>0.32</b>	NORGAS CATHINKA	<b>8.5</b>	to Malamocco	110	21	6.9
596	30/04/2016	15:27:00	4.11	3.53	<b>0.58</b>	VIRTUOUS STRIKER	<b>9</b>	to Malamocco	190	32	10
597	30/04/2016	15:34:00	4.12	4.02	<b>0.1</b>	PALENCIA	<b>8.5</b>	to Malamocco	122	19	5.2
598	30/04/2016	18:19:00	4.17	3.82	<b>0.35</b>	MAX VENTURE	<b>8.7</b>	to Malamocco	145	22	7.6
599	30/04/2016	18:48:00	4.16	3.75	<b>0.41</b>	KOZNITZA	<b>8.6</b>	to Malamocco	180	29	6.6
600	01/05/2016	03:09:00	4.15	3.16	<b>0.99</b>	INDEPENDENT CONCEPT	<b>9.5</b>	to Malamocco	167	26	9.5
601	01/05/2016	04:42:00	4.17	3.73	<b>0.44</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>10.3</b>	to Marghera	191	26	6.4
602	01/05/2016	08:36:00	4	3.71	<b>0.29</b>	SYN ATLAS	<b>11.4</b>	to Marghera	106	16	5.4
603	01/05/2016	10:22:00	3.86	2.88	<b>0.98</b>	F/B HELLENIC SPIRIT	<b>10.7</b>	to Malamocco	191	26	6.4
604	01/05/2016	17:13:00	4.31	3.49	<b>0.82</b>	HISTRIA AZURE	<b>8.7</b>	to Malamocco	179	32	8.4
605	02/05/2016	04:37:00	4.09	3.82	<b>0.27</b>	MARJA	<b>11.3</b>	to Marghera	100	18	4.9
606	02/05/2016	04:50:00	4.13	3.76	<b>0.37</b>	SIRIOS CEMENT IV	<b>8.8</b>	to Marghera	134	20	8.4
607	02/05/2016	04:55:00	4.15	3.54	<b>0.61</b>	MSC AUGUSTA	<b>10.2</b>	to Marghera	187	28	6.8
608	02/05/2016	05:04:00	4.15	3.77	<b>0.38</b>	ENRICO IEVOLI	<b>8.75</b>	to Marghera	138	20	9
609	02/05/2016	05:22:00	4.18	3.69	<b>0.49</b>	ALEXANDRA	<b>7.5</b>	to Marghera	229	32	9.9
610	02/05/2016	07:27:00	4.11	4	<b>0.11</b>	GALATEA	<b>7.3</b>	to Marghera	140	17	4.5
611	02/05/2016	07:39:00	4.11	3.86	<b>0.25</b>	FORTUNE BAY	<b>8.3</b>	to Marghera	176	26	5.7
612	02/05/2016	07:48:00	4.1	3.81	<b>0.29</b>	ADASTAR	<b>7.5</b>	to Marghera	164	26	8.1
613	02/05/2016	08:59:00	4	3.49	<b>0.51</b>	GARGANEY	<b>9.9</b>	to Malamocco	200	24	6
614	02/05/2016	10:21:00	3.82	3.3	<b>0.52</b>	MSC ELEONORA	<b>6.7</b>	to Malamocco	202	30	9.9
615	02/05/2016	10:35:00	3.78	3.51	<b>0.27</b>	SYN ATLAS	<b>10</b>	to Malamocco	106	16	6.8

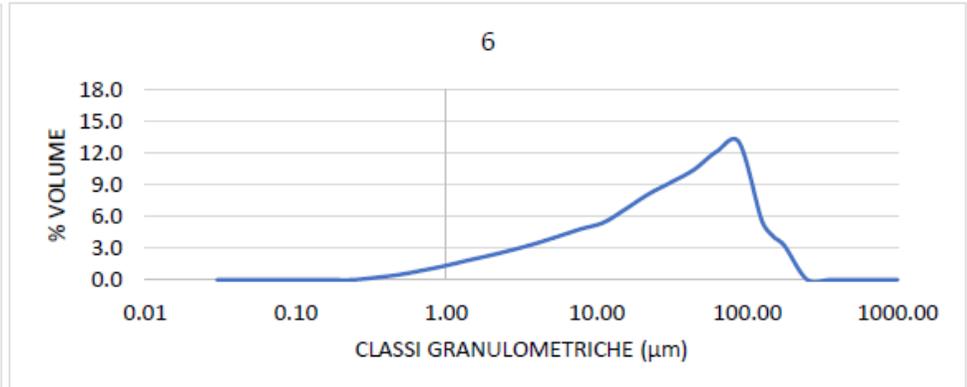
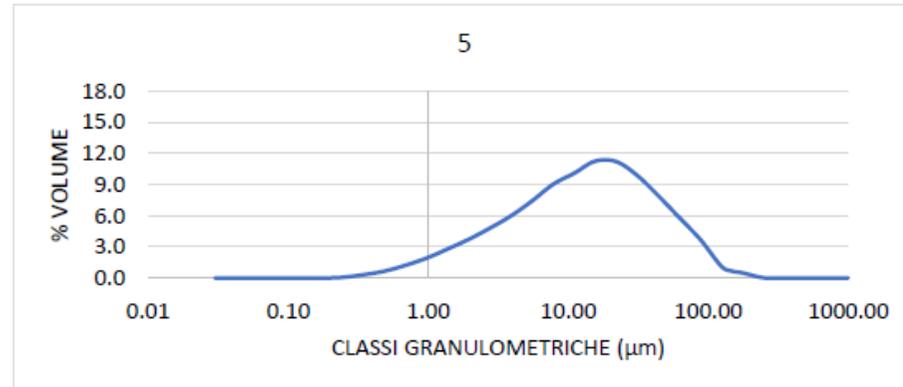
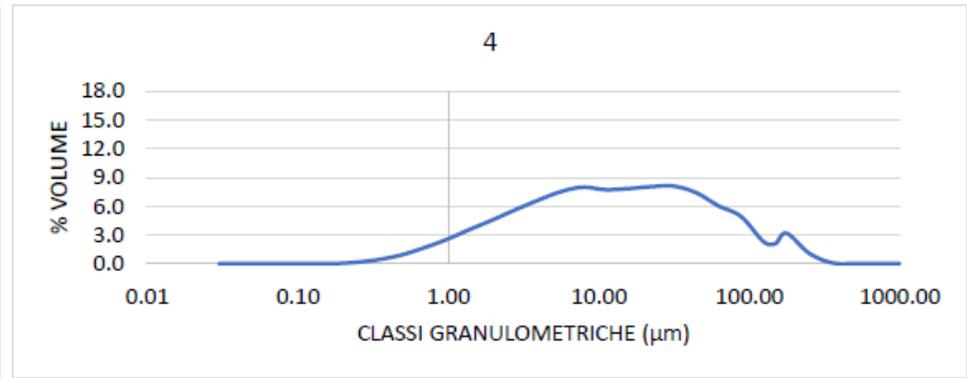
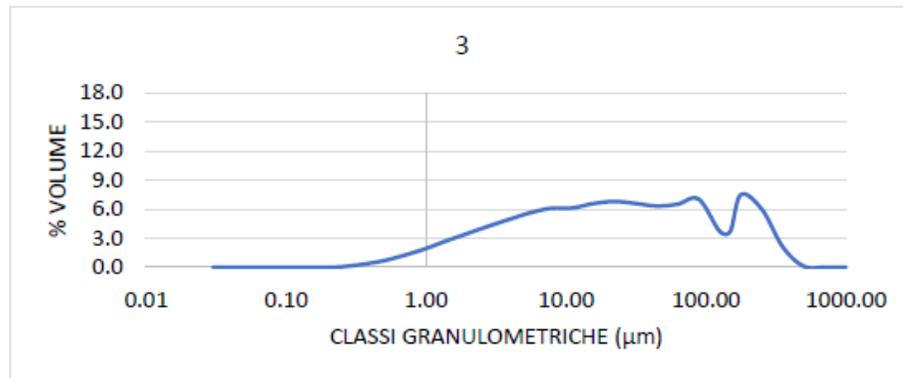
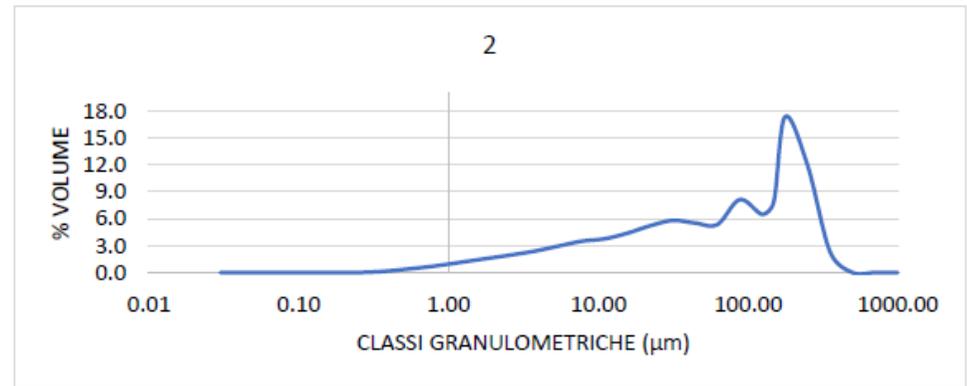
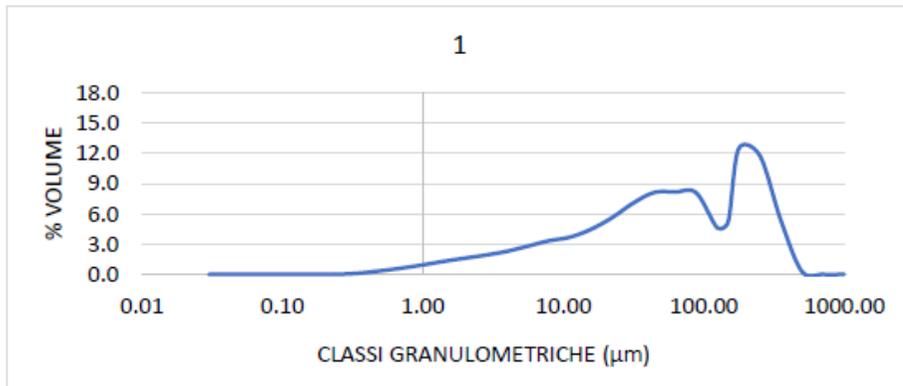
11.2 Allegato 2

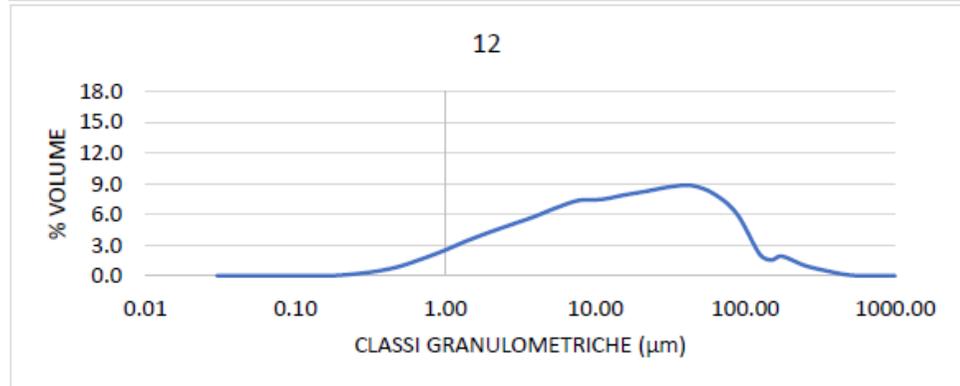
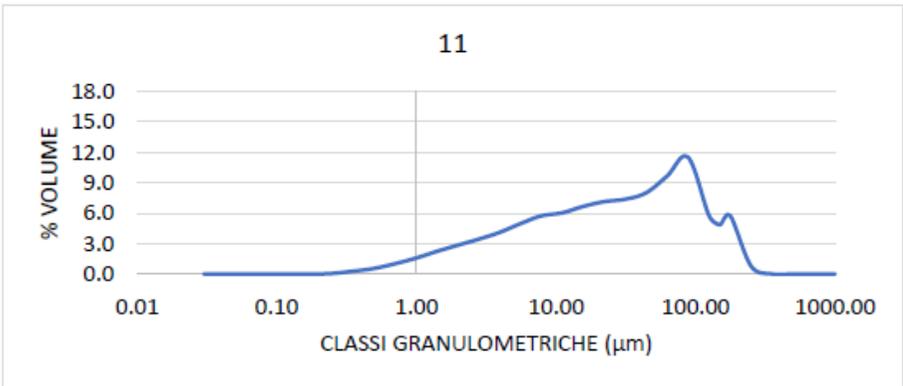
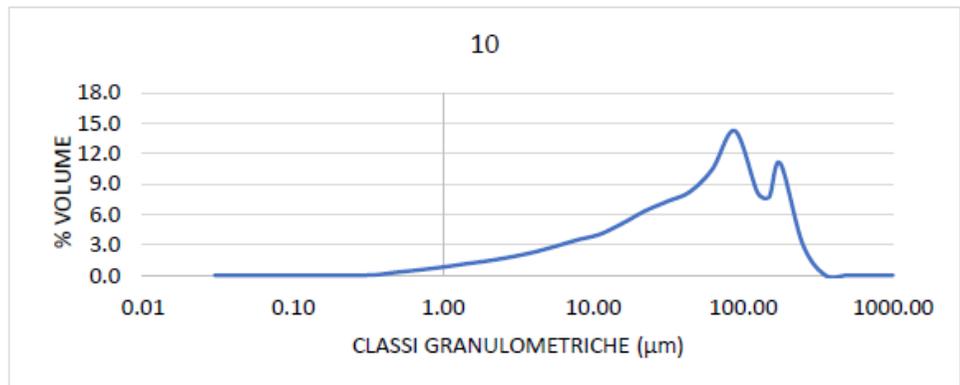
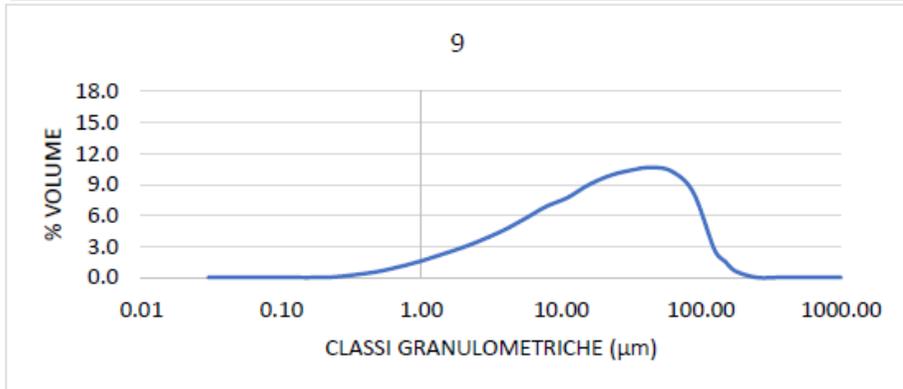
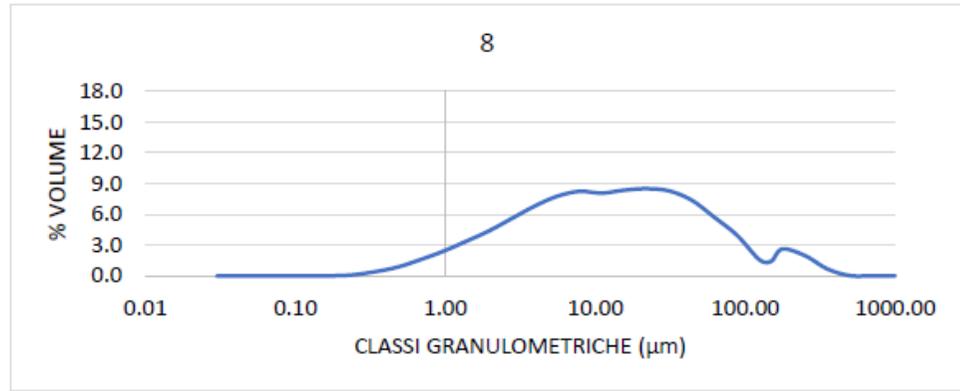
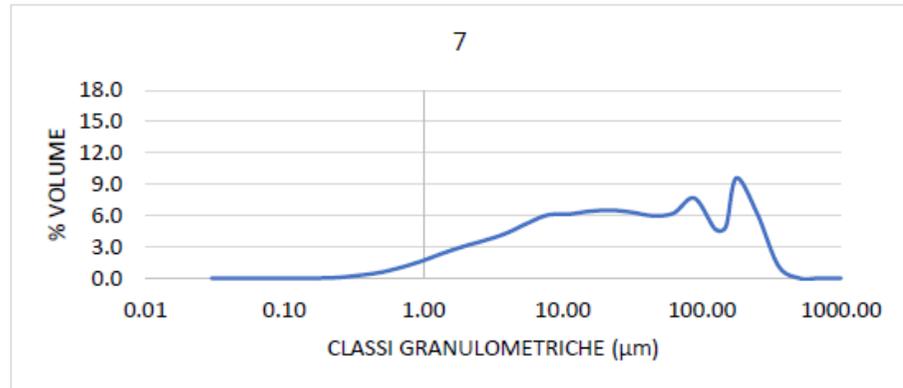
**ALLEGATO 2**

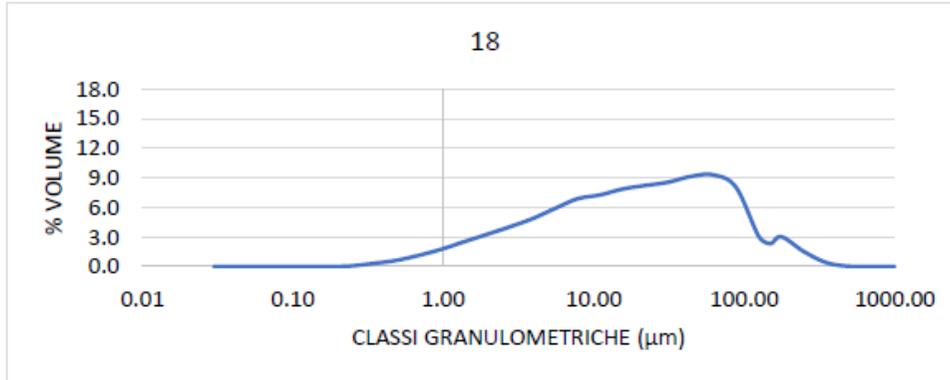
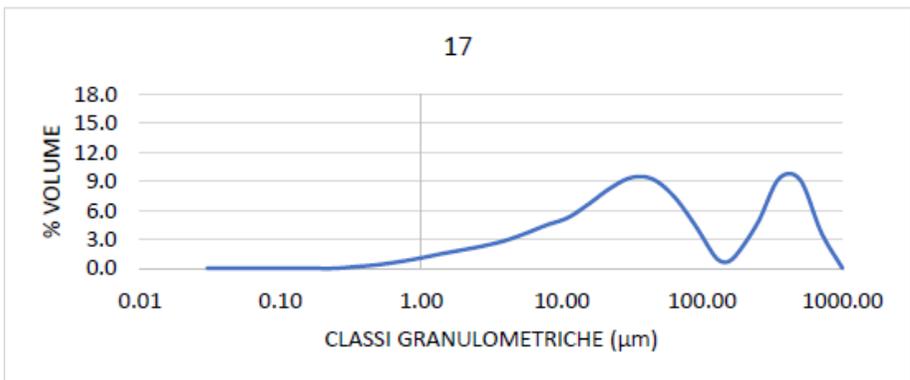
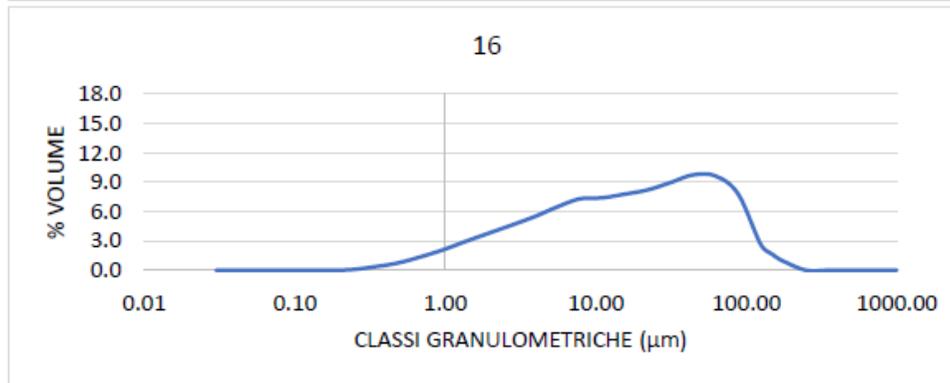
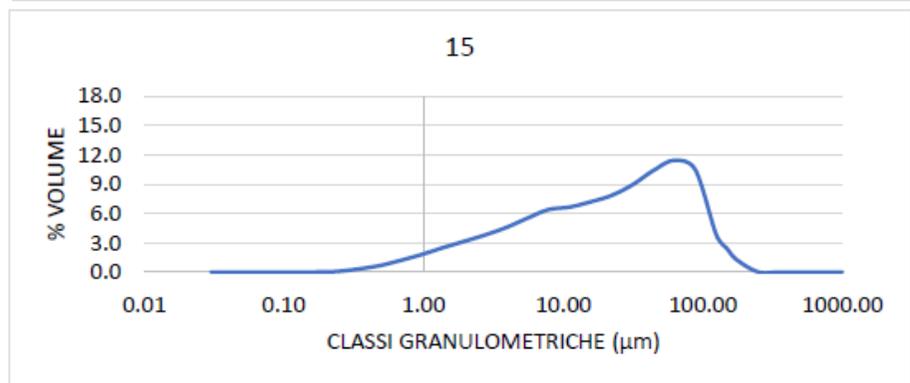
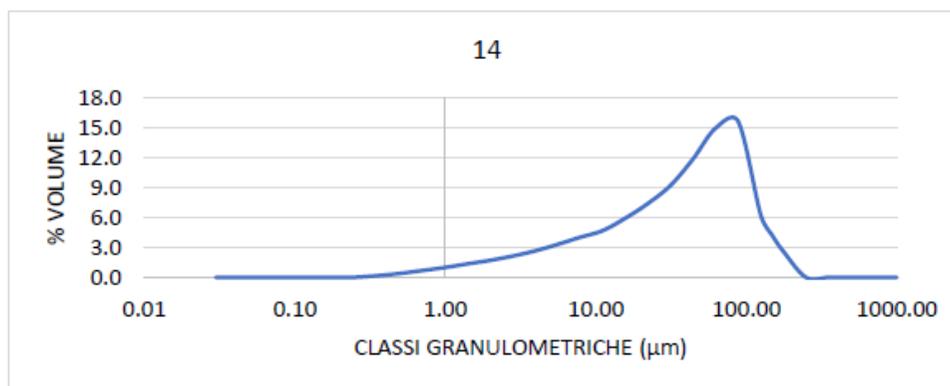
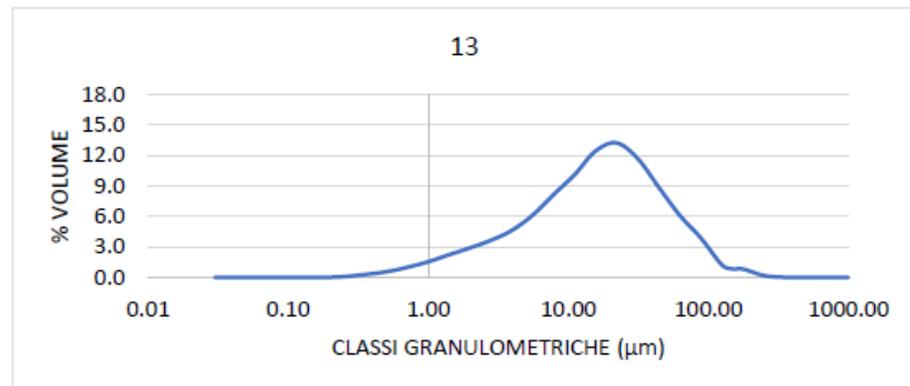
CAMPIONI DI SEDIMENTO RACCOLTI SUL BASSOFONDO ANALIZZATI AL GRANULOMETRO LASER

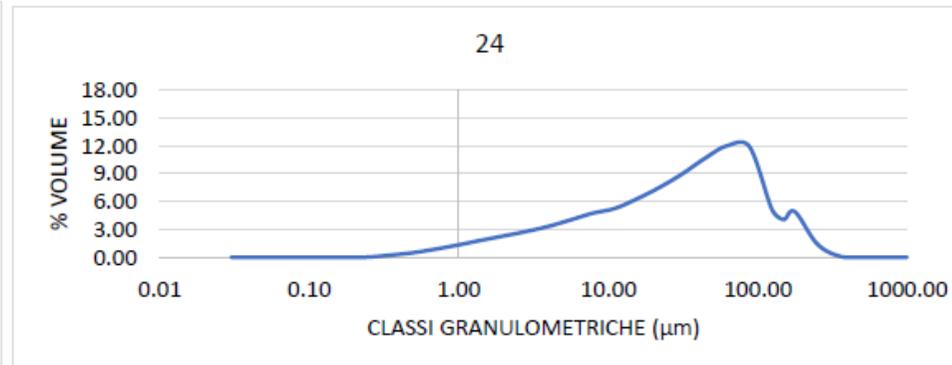
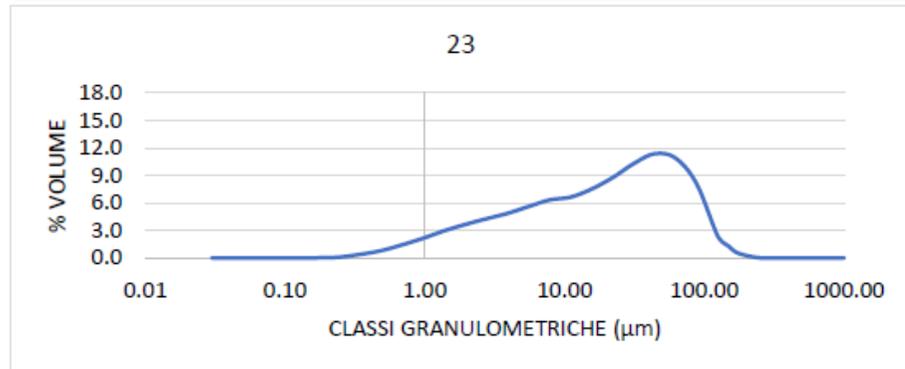
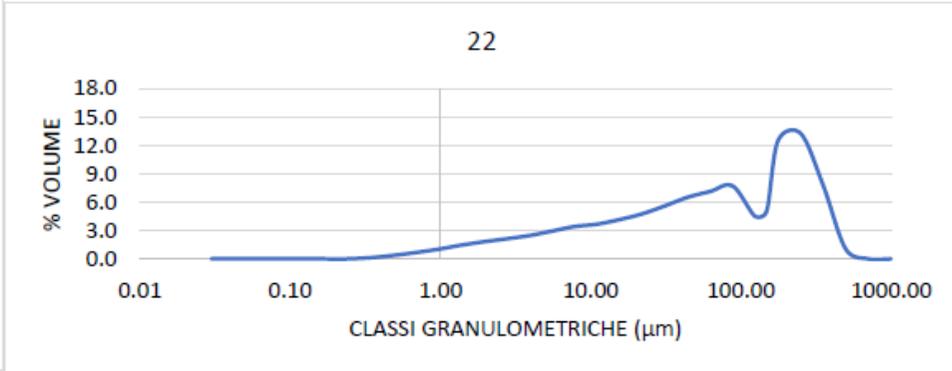
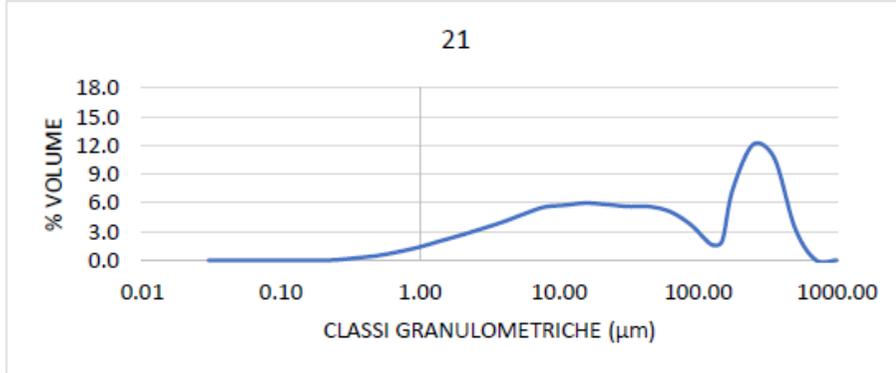
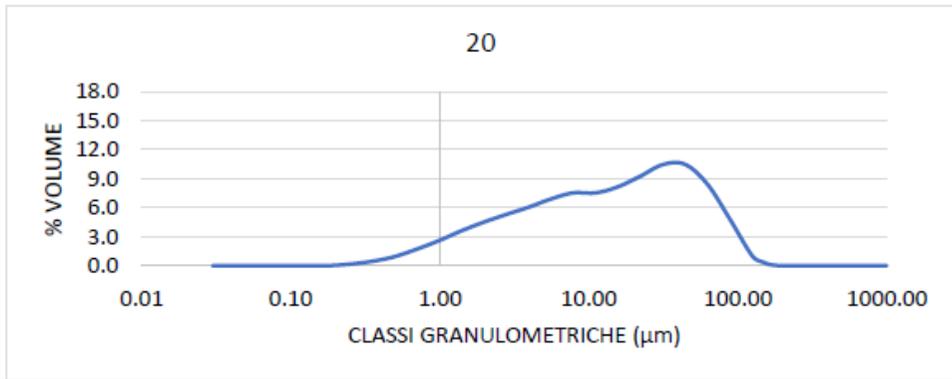
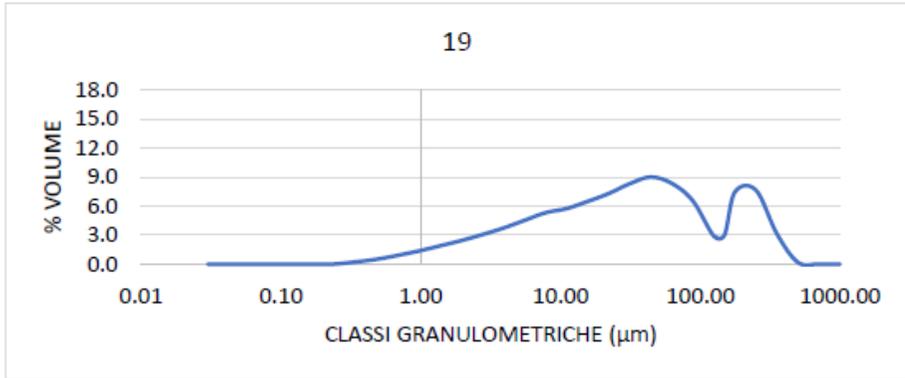
classi granulometriche espressi in micron

STAZ.	0.03	0.04	0.06	0.09	0.12	0.17	0.24	0.35	0.49	0.69	0.98	1.38	1.95	2.76	3.91	5.52	7.81	11.1	15.6	22.1	31.3	44.2	62.5	88.4	125	149	177	250	354	500	707	1000
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.12	0.34	0.60	0.92	1.27	1.59	1.90	2.27	2.78	3.32	3.69	4.45	5.61	7.06	8.12	8.18	8.08	4.61	5.22	12.46	11.80	5.34	0.28	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.11	0.33	0.59	0.92	1.29	1.65	2.02	2.44	2.98	3.50	3.77	4.38	5.20	5.80	5.53	5.36	8.13	6.49	7.89	17.35	11.97	2.30	0.00	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.30	0.65	1.21	1.89	2.69	3.45	4.21	4.93	5.61	6.08	6.12	6.56	6.79	6.58	6.32	6.50	7.03	3.71	3.71	7.48	5.99	2.07	0.09	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13	0.44	0.91	1.65	2.53	3.54	4.53	5.58	6.58	7.47	7.97	7.71	7.82	8.02	8.08	7.41	6.03	4.90	2.27	2.08	3.17	1.09	0.09	0.00	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.33	0.67	1.23	1.93	2.80	3.73	4.80	5.99	7.42	9.02	10.11	11.25	11.20	9.85	7.90	5.79	3.67	1.09	0.66	0.49	0.02	0.00	0.00	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.23	0.49	0.88	1.32	1.82	2.30	2.83	3.42	4.09	4.79	5.41	6.69	8.09	9.22	10.39	12.10	12.99	5.62	4.10	3.22	0.02	0.00	0.00	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.28	0.55	1.03	1.66	2.39	3.05	3.62	4.29	5.23	6.05	6.14	6.40	6.51	6.31	5.99	6.22	7.66	4.68	4.95	9.58	6.18	1.20	0.00	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.09	0.43	0.88	1.60	2.42	3.37	4.37	5.57	6.77	7.74	8.24	8.08	8.36	8.51	8.28	7.37	5.71	3.96	1.56	1.41	2.62	1.98	0.67	0.02	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.29	0.57	1.02	1.56	2.20	2.87	3.67	4.59	5.69	6.86	7.72	8.93	9.83	10.36	10.64	10.22	8.16	2.64	1.52	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.04	0.29	0.52	0.79	1.10	1.40	1.77	2.23	2.82	3.47	4.04	5.09	6.32	7.28	8.23	10.46	14.23	8.15	7.67	11.05	3.07	0.00	0.00	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.04	0.27	0.53	0.98	1.54	2.20	2.81	3.41	4.08	4.94	5.72	6.03	6.65	7.13	7.37	8.00	9.65	11.51	5.74	4.86	5.75	0.78	0.00	0.00	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.44	0.89	1.61	2.45	3.38	4.22	4.99	5.76	6.64	7.36	7.46	7.88	8.26	8.67	8.80	7.96	6.02	2.12	1.54	1.89	1.00	0.46	0.06	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.28	0.53	0.95	1.50	2.18	2.86	3.61	4.58	6.07	8.10	10.09	12.39	13.21	11.67	8.87	6.10	3.87	1.23	0.83	0.82	0.18	0.01	0.00	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.17	0.38	0.67	0.98	1.34	1.69	2.12	2.64	3.29	4.01	4.69	5.91	7.39	9.21	11.86	14.96	15.65	6.25	4.21	2.59	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.33	0.67	1.20	1.81	2.49	3.13	3.79	4.55	5.49	6.37	6.64	7.16	7.82	8.91	10.37	11.41	10.44	3.79	2.38	1.20	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.07	0.38	0.76	1.38	2.12	2.97	3.79	4.61	5.47	6.46	7.29	7.41	7.78	8.21	8.95	9.74	9.63	7.79	2.63	1.63	0.92	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.18	0.37	0.67	1.05	1.49	1.89	2.31	2.84	3.60	4.47	5.24	6.65	8.26	9.38	9.25	7.51	4.56	1.14	0.64	1.46	4.75	9.29	9.15	3.7	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.33	0.63	1.14	1.77	2.52	3.26	4.02	4.85	5.88	6.87	7.27	7.86	8.22	8.55	9.13	9.29	8.02	3.07	2.33	3.02	1.51	0.39	0.03	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.24	0.51	0.91	1.37	1.89	2.43	3.05	3.73	4.52	5.31	5.75	6.48	7.30	8.32	9.00	8.35	6.54	2.90	3.02	7.47	7.64	3.10	0.17	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.14	0.45	0.91	1.67	2.57	3.57	4.47	5.27	6.02	6.87	7.52	7.53	8.14	9.23	10.44	10.48	8.44	4.84	1.03	0.35	0.05	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.25	0.48	0.87	1.37	1.99	2.61	3.28	3.99	4.81	5.56	5.77	5.98	5.83	5.63	5.62	5.10	3.73	1.64	2.02	7.34	12.13	10.67	3.31	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.14	0.37	0.67	1.03	1.45	1.81	2.12	2.46	2.93	3.41	3.67	4.15	4.76	5.60	6.50	7.12	7.70	4.48	5.06	12.47	13.27	7.77	1.05	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.07	0.39	0.79	1.42	2.15	2.95	3.64	4.26	4.85	5.59	6.31	6.63	7.50	8.75	10.28	11.35	10.86	8.05	2.38	1.28	0.48	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.47	0.85	1.30	1.79	2.26	2.74	3.29	3.99	4.73	5.27	6.30	7.54	8.99	10.65	12.03	11.91	5.12	4.07	4.93	1.44	0.10	0.00	0.0	0.0

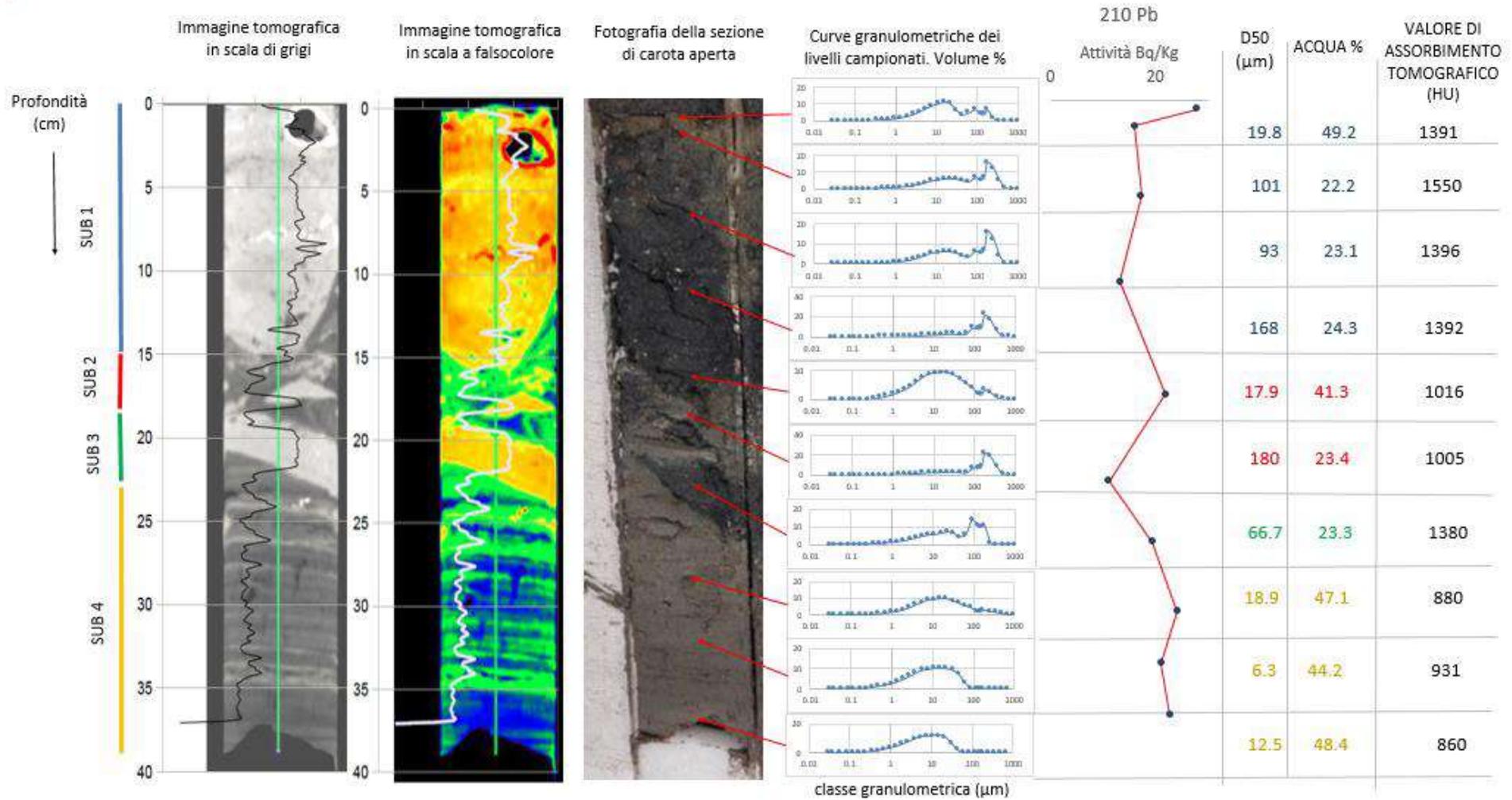








### 11.3 Allegato 3



STAZ.3

Immagine tomografica in scala di grigi

Immagine tomografica in scala a falsocolore

Fotografia della sezione di carota aperta

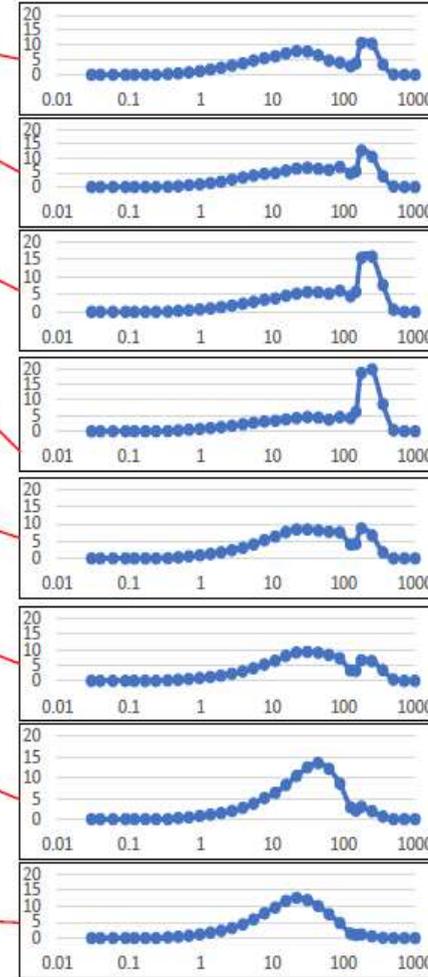
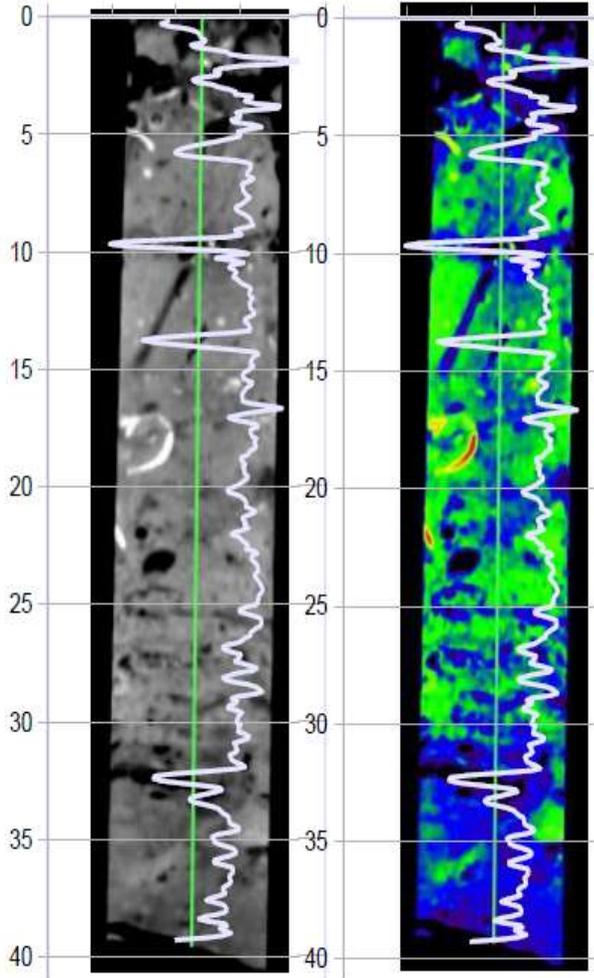
Curve granulometriche dei livelli campionati.  
Volume %

D50 (µm)

ACQUA %

VALORE DI ASSORBIMENTO TOMOGRAFICO (HU)

Profondità (cm)



38.1

68.6

1413

63.8

22.2

1679

124.0

18.3

1466

167.0

17.3

1601

42.8

19.3

1513

40.8

21.8

1622

38.5

28.6

1374

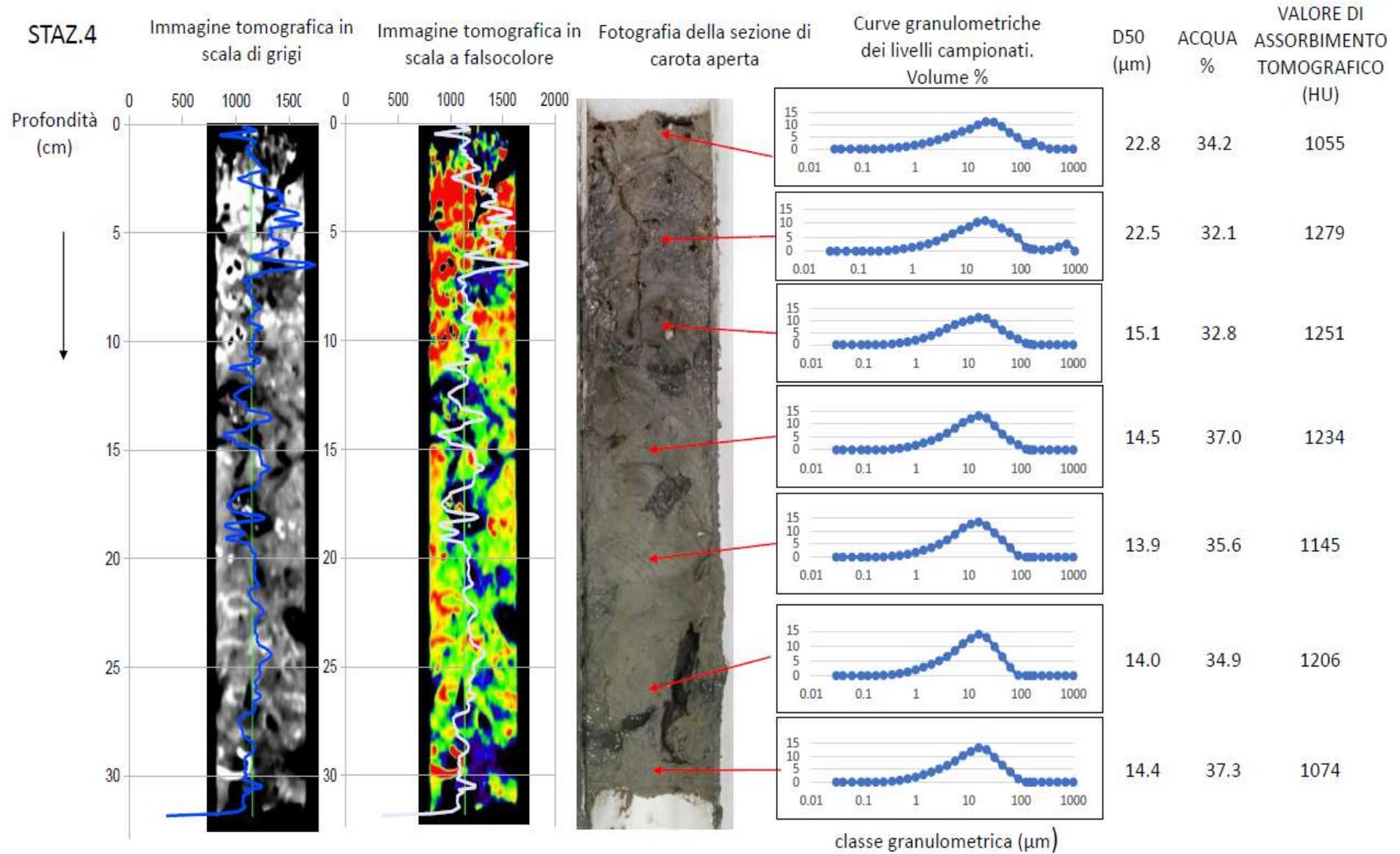
22.8

26.9

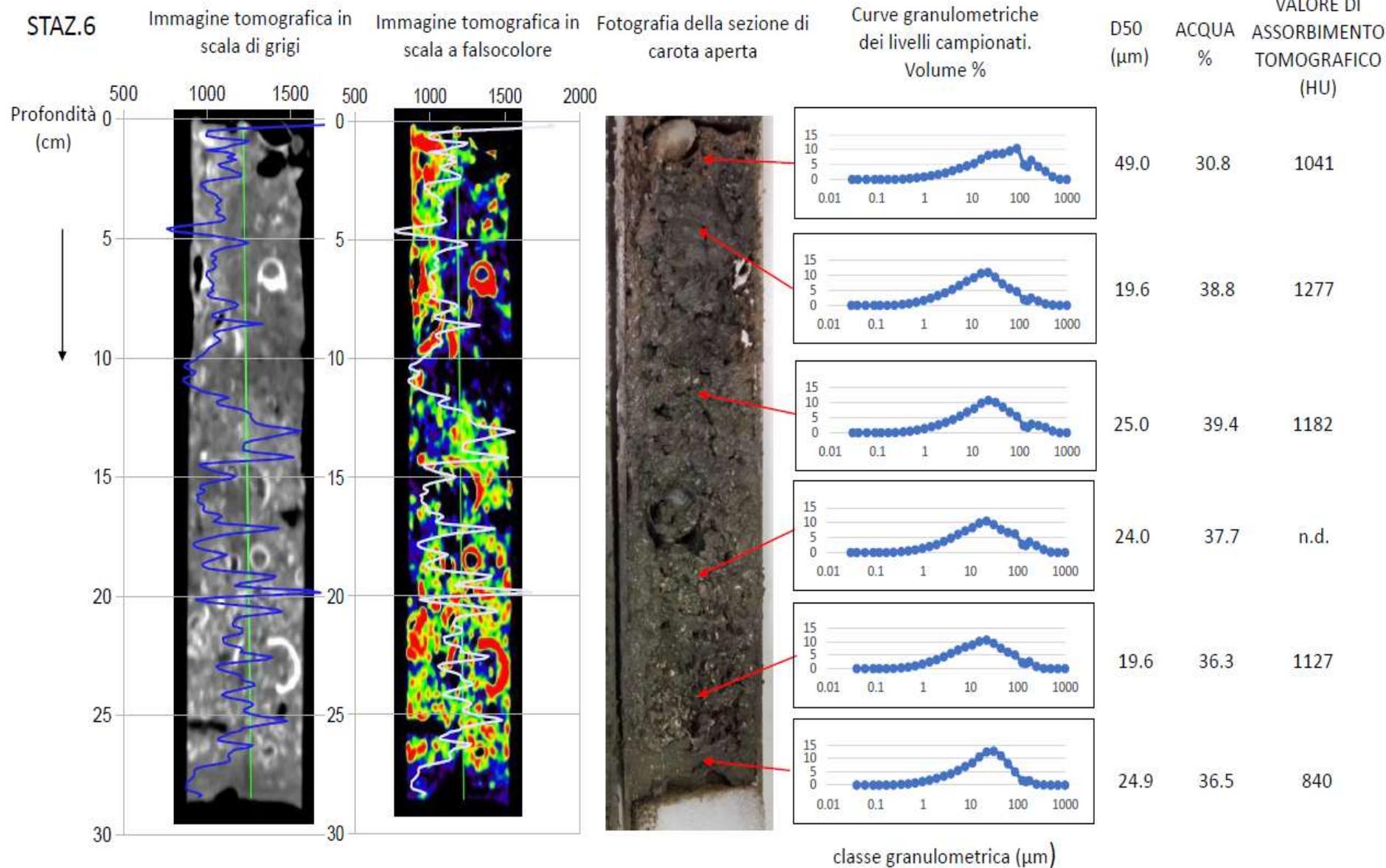
1344

classe granulometrica (µm)

STAZ.4



STAZ.6



STAZ. 11

Immagine tomografica in scala di grigi

Immagine tomografica in scala a falsocolore

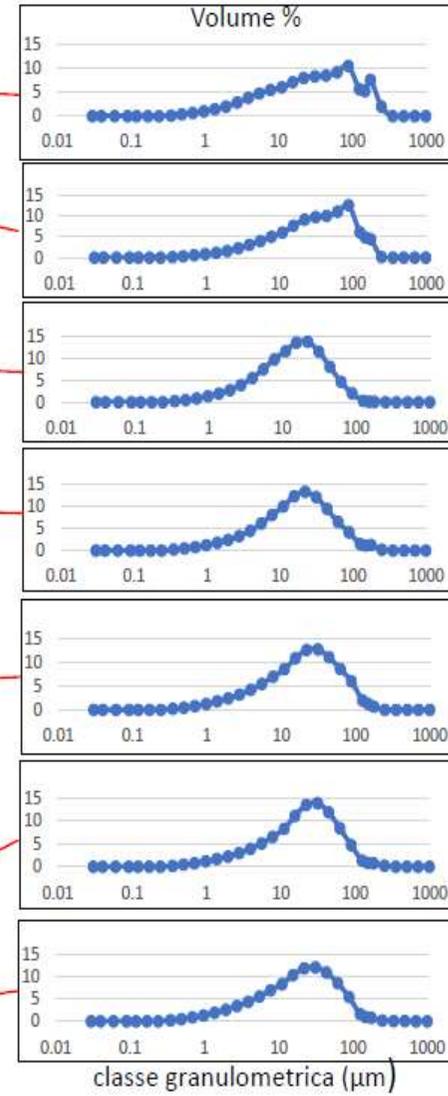
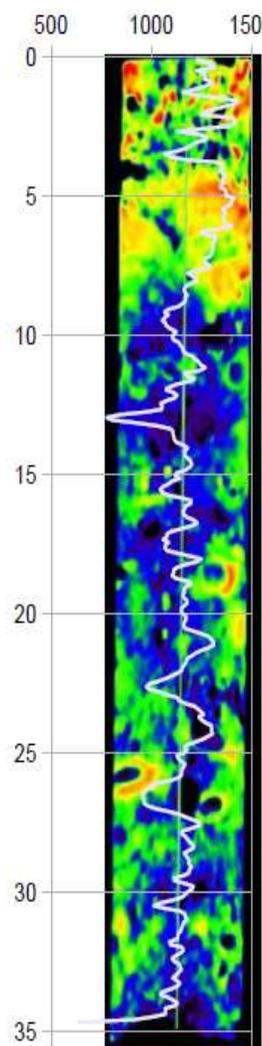
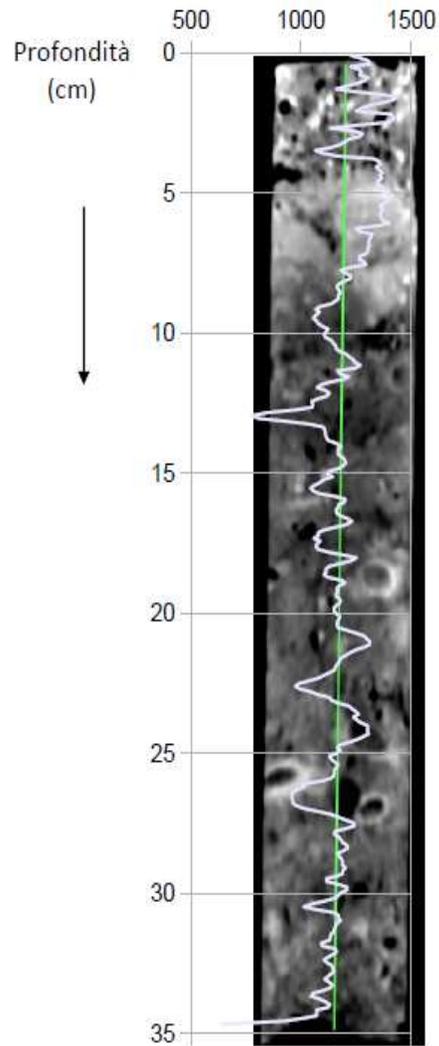
Fotografia della sezione di carota aperta

Curve granulometriche dei livelli campionati.

D50 (µm)

ACQUA %

VALORE DI ASSORBIMENTO TOMOGRAFICO (HU)



D50 (µm)	ACQUA %	VALORE DI ASSORBIMENTO TOMOGRAFICO (HU)
41.3	26.5	1360
42.6	29.3	1371
17.4	35.6	1150
21.6	33.9	1202
25.0	31.8	1171
24.3	33.3	1113
25.7	32.3	1130

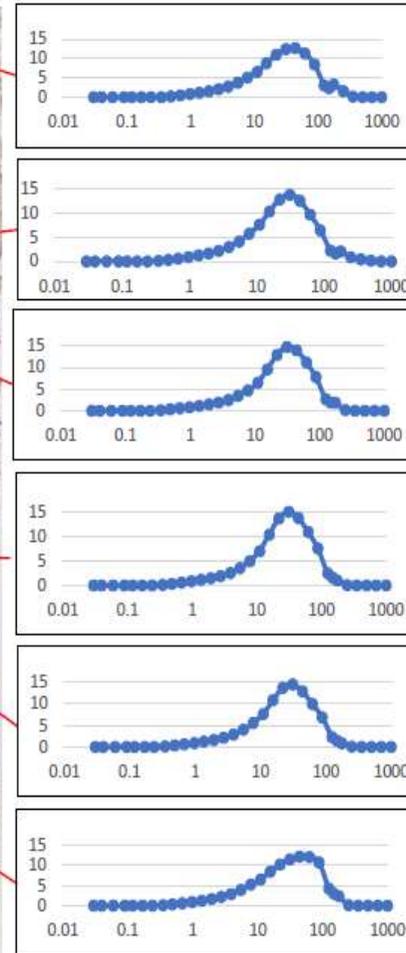
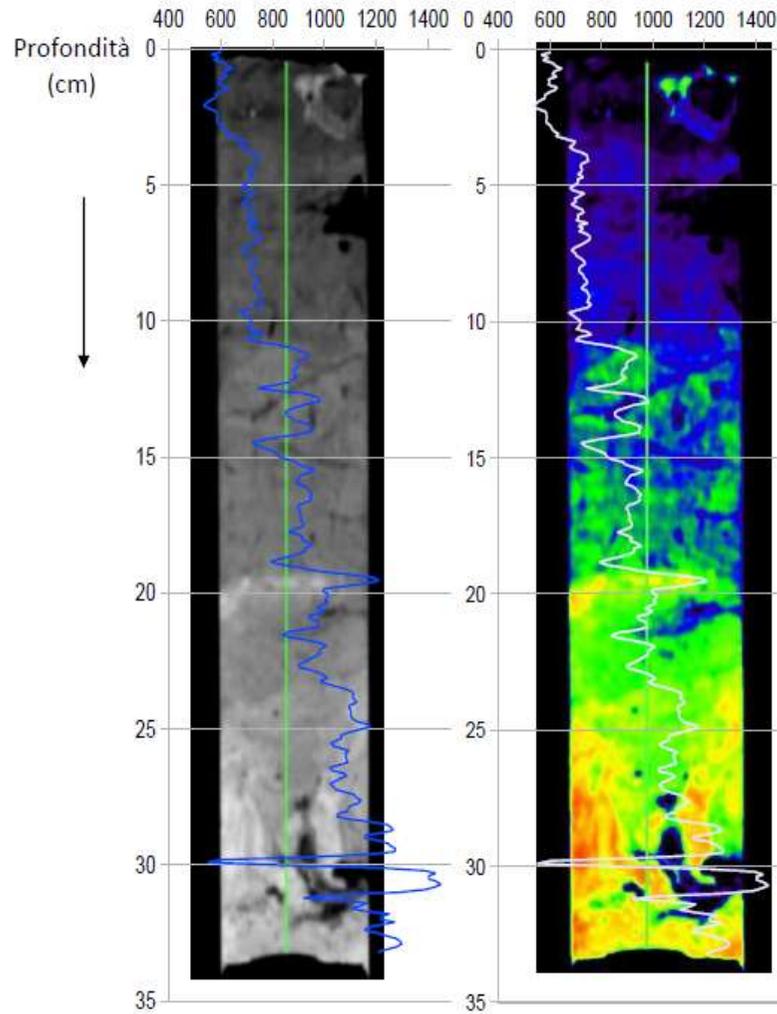
STAZ. 13

Immagine tomografica in scala di grigi

Immagine tomografica in scala a falsocolore

Fotografia della sezione di carota aperta

Curve granulometriche dei livelli campionati. Volume %



D50 (μm)	ACQUA %	VALORE DI ASSORBIMENTO TOMOGRAFICO (HU)
----------	---------	---

36.6	51.7	606
31.0	48.6	747
34.7	42.4	914
32.8	39.8	1090
30.3	38.2	962
37.6	33.6	983

classe granulometrica (μm)

STAZ. 14

Immagine tomografica in scala di grigi

Immagine tomografica in scala a falsocolore

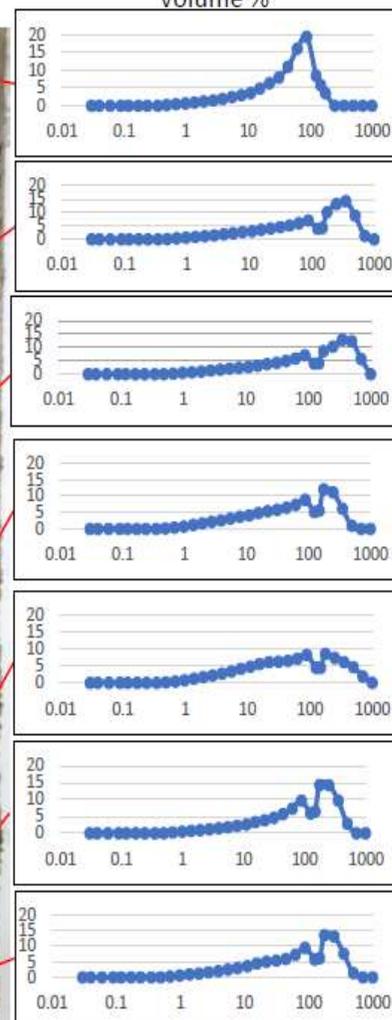
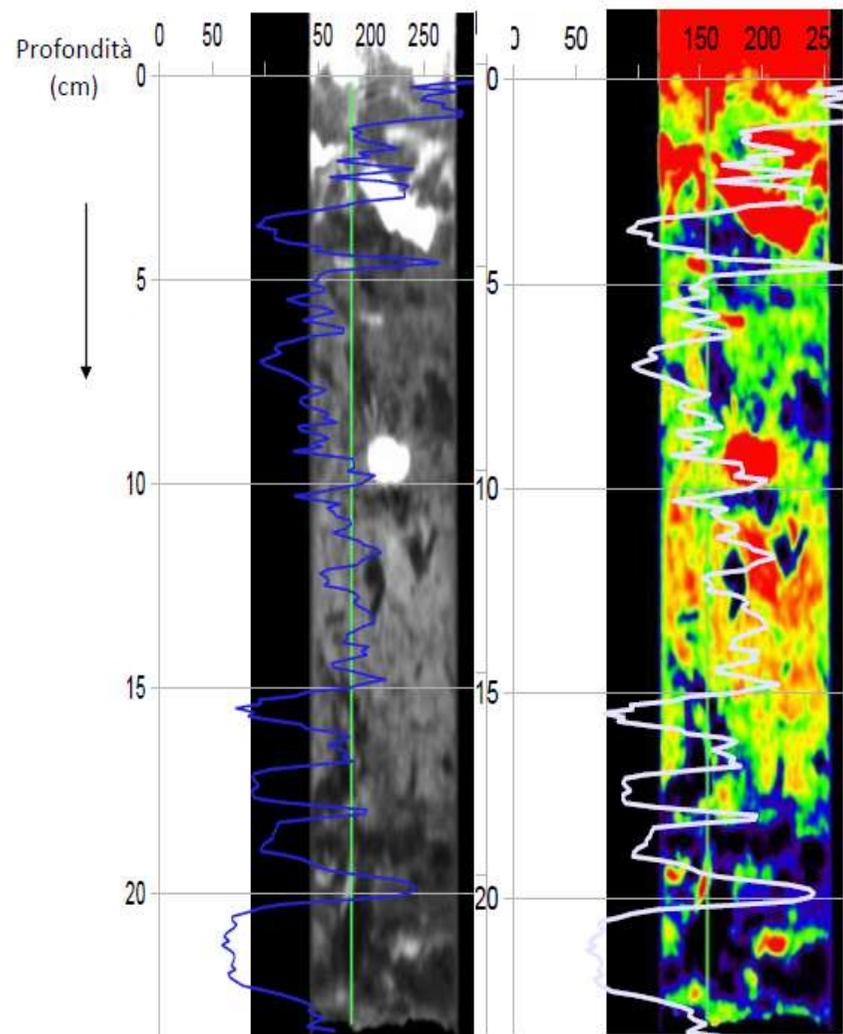
Fotografia della sezione di carota aperta

Curve granulometriche dei livelli campionati.  
Volume %

D50 (µm)

ACQUA %

VALORE DI ASSORBIMENTO TOMOGRAFICO (HU)



68.2

21.8

1195

161.0

82.1

1717

179.0

78.6

155

88.5

78.6

159

74.1

79.0

200

139

84.7

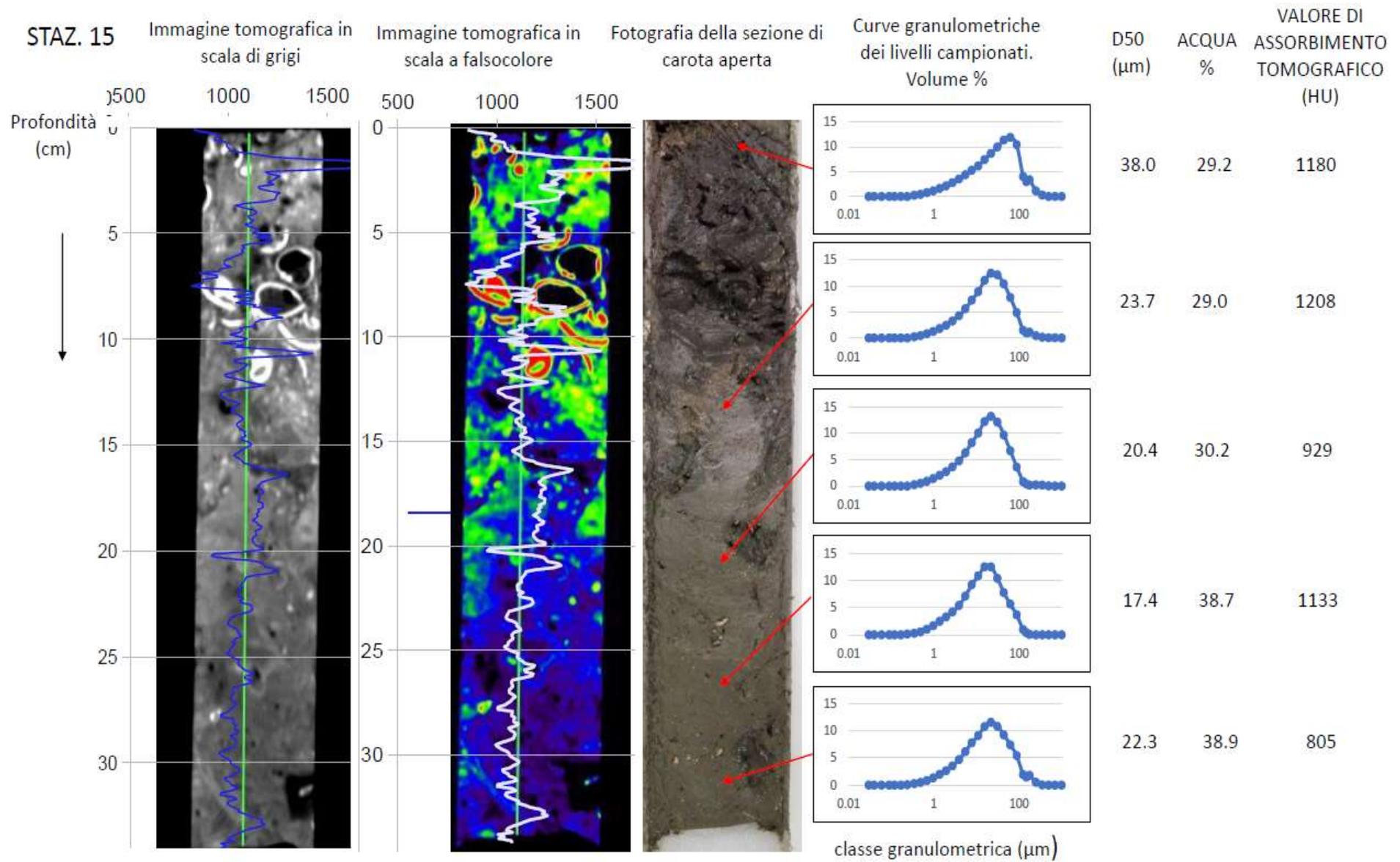
78

113

81.4

187

classe granulometrica (µm)



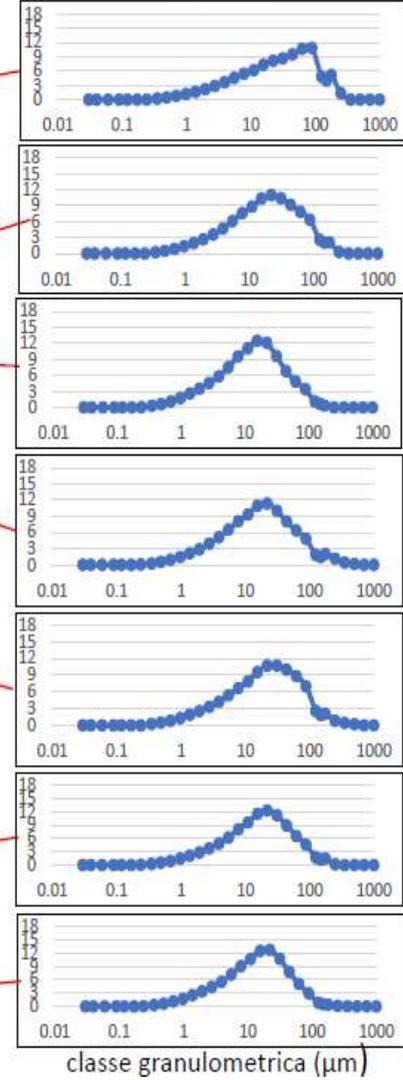
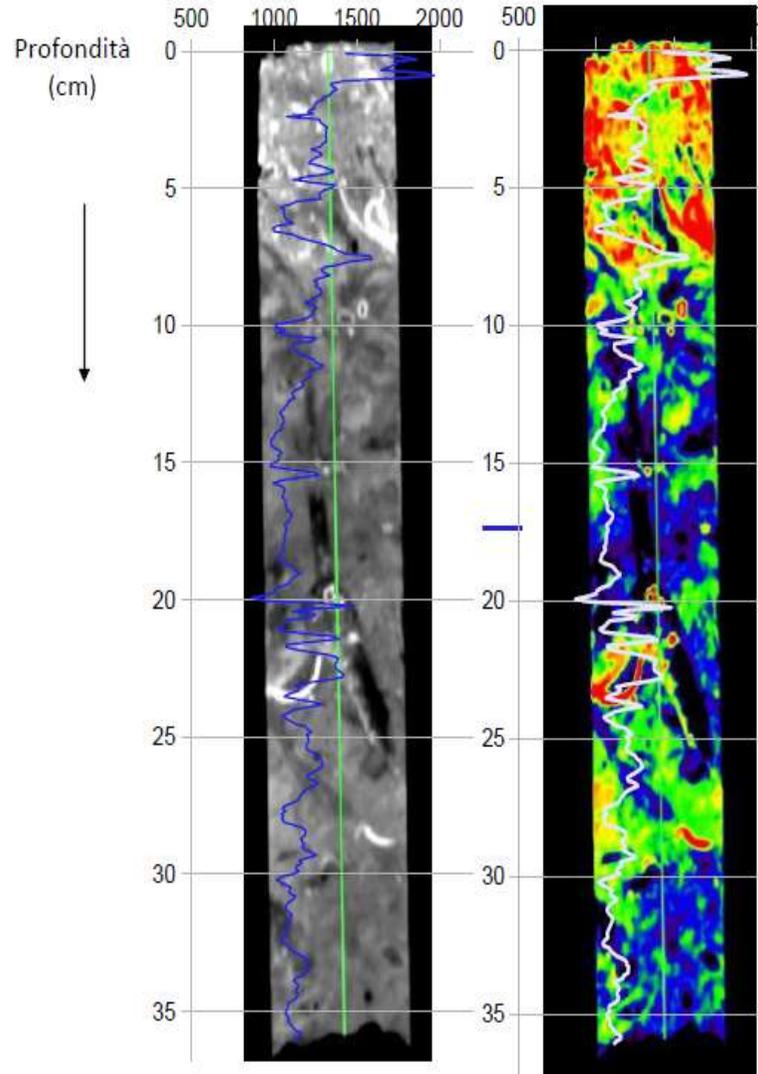
STAZ. 16

Immagine tomografica in scala di grigi

Immagine tomografica in scala a falsocolore

Fotografia della sezione di carota aperta

Curve granulometriche dei livelli campionati. Volume %



D50 (µm)	ACQUA %	VALORE DI ASSORBIMENTO TOMOGRAFICO (HU)
38.7	23.1	1279
23.2	30.1	1056
16.3	35.2	1134
20.6	34.5	1026
26.4	39.7	769
20.9	33.4	1127
17.3	34.9	1119

## Estratto per riassunto della tesi di dottorato

Studente: Gian Marco Scarpa

matricola: 829071

Dottorato: Scienze Ambientali

Ciclo: 31°

Titolo della tesi: Impatti del traffico navale ed effetti della risospensione indotta nelle aree spondali e sulle piane di marea della Laguna di Venezia

### Abstract:

La ricerca è un'indagine multidisciplinare per lo studio delle alterazioni idro-morfodinamiche in Laguna di Venezia. Si è dimostrato come il traffico navale nel canale Malamocco-Marghera sia principale fattore di stress ambientale. L'attività sperimentale volta alla caratterizzazione delle onde generate dalle navi è stata integrata con analisi sedimentologiche e morfologiche, con tecniche di "Remote Sensing", per la valutazione dei processi erosivi. Sono state misurate onde di ampiezza fino a 2.5 m, in grado di propagarsi per oltre 1000 m sul bassofondo dove si misurano torbidità elevate. Tali perturbazioni sono causa dell'erosione di aree emerse, dove sono misurabili tassi di arretramento della linea di costa superiori ai 10 m/anno. Si sono individuati i principali stressori ambientali dovuti al traffico navale e comprese le relazioni che intercorrono fra essi, per stabilire delle misure di mitigazione degli impatti e delle strategie di gestione per una portualità più sostenibile.

The interdisciplinary investigation shows that the transit of large vessels in the shallow water areas has a considerable impact on the hydrodynamic and morphology in the central Lagoon of Venice. Ship depression wakes are the major stress factor and contribute to the significant erosion of the channel margins and shoals. Morphological and sedimentological analysis using remote sensing and GIS tools were combined with the study of waves, to evaluate the impact of the navigation in the Malamocco-Marghera channel. Wave heights till a maximum of 2.45 m can propagate for 1000 m on the near mudflats where high values of turbidity were measured. The depression also adversely affects the lagoon morphology. On the channel side a fast shoreline retreat of more than 10 m/year was observed. Variables related to the phenomena were studied to evaluate a new management of the port ship traffic controlling ship wakes formation to minimize the environmental effects of the navigation in the lagoon.

Firma dello studente



