

AUTORITA PORTUALE DI CARRARA

**Rilievo topobatimetrico con indagine
sedimentologica e Side Scan Sonar della zona
individuata come possibile sede di versamento del
materiale dragato dall'imboccatura portuale**



Aprile 2015

PREMESSA

L'Autorità Portuale di Carrara, ha dato incarico la Geo Coste snc di Firenze di realizzare un rilievo topografico di dettaglio della zona antistante il litorale di Marina di Massa con prelievo di campioni di sedimento. In particolare il rilievo, della lunghezza di circa 7,2 Km si è esteso da circa 250 m a sud della foce del Fosso Lavello fino a circa 275 m a sud del Fosso Poveromo.

Il presente lavoro ha la finalità di fornire lo stato attuale dei luoghi al fine di effettuare un monitoraggio per lo studio dell'erosione del litorale e su problematiche legate ad interventi di difesa costiera.

In particolare il lavoro si è articolato nella seguente maniera:

- rilievo batimetrico dei fondali (single beam),
- rilievo topografico della spiaggia emersa,
- rilievo della linea di riva,
- prelievo campioni di sedimento.
- analisi granulometrica dei campioni prelevati
- acquisizione dati Side Scan Sonar su cinque transetti ortogonali a riva

Il rilievo topo-batimetrico è costituito da 62 sezioni trasversali alla linea di riva con una equidistanza di 100 m nel tratto settentrionale fino a circa 300 m a nord del fosso Magliano ed una equidistanza di 200 m nel tratto meridionale (Figura 1).

Per quanto riguarda la campagna sedimentologica sono stati prelevati un totale di 110 campioni su sezioni ortogonali a riva.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Qui di seguito descriviamo gli strumenti ed i mezzi usati per l'esecuzione dei rilievi, i criteri delle scelte adottate per poter garantire la qualità e la precisione richiesta; il controllo finale di qualità ha permesso di verificare attraverso controlli ripetuti ed incrociati il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Ecoscandaglio Single Beam

L'ecoscandaglio utilizzato è di tipo idrografico con una risoluzione digitale di 1 cm. La frequenza adottata è di 200 KHz; un buon compromesso per garantire un rilievo accurato del fondale con poca interferenza della colonna d'acqua. Il cono di emissione dello strumento è di 9° per una elevata risoluzione. Per garantire la congruenza tra misure di profondità e planimetriche l'ecoscandaglio è stato posizionato in asse al ricevitore per la posizione planimetrica.

Strumentazione topografica

E' stato utilizzato un GPS differenziale a doppia frequenza (L1-L2) con registrazione di codice e di fase e modalità RTK "on the fly" modello Leica System 1230 con radio modem, collegato alla rete Italpos che fornisce un servizio di correzione della posizione dalla stazione permanente più vicina.

Questa strumentazione garantisce una precisione, se opportunamente utilizzata, estremamente elevata (10mm + 2ppm rms in tempo reale e 3mm + 0.5ppm rms in modalità statica).

Il GPS è stato interfacciato via uscita seriale RS 232 con il software di navigazione per il posizionamento dei dati batimetrici; settando la stringa NMEA LLK è possibile ricevere la correzione della quota ellissoidica con la finalità di correggere tutte le oscillazioni date dal moto ondoso.

Per il rilievo topografico si è utilizzato il GPS su palina di 2 m seguendo sul palmare la posizione delle sezioni da rilevare e le relative coordinate corrette via radio modem.

Software di navigazione

Per l'acquisizione dei dati batimetrici single beam utilizziamo il software Nettuno di nostra produzione, con questo software la navigazione può avvenire in modo libero oppure vincolato a percorsi predefiniti (sezioni), e l'acquisizione dei punti può essere automaticamente assoggettata ai filtri scelti: acquisizione a tempo, a distanza, con controllo dell'operatore e, nel caso di sezioni, entro una fascia definita nell'intorno della sezione stessa. Queste modalità lasciano all'operatore la concentrazione necessaria a pilotare l'imbarcazione sui percorsi scelti, mentre il programma agisce autonomamente. E' ad esempio possibile visionare lo scostamento in metri rispetto alla rotta prefissata, la distanza progressiva, l'angolo di rotta e la velocità dell'imbarcazione.

Il software gestisce inoltre l'acquisizione contemporanea dei dati provenienti dall'ecoscandaglio e dal sistema di posizionamento, il GPS in questo caso secondo le frequenze di arrivo prestabilite. Il software è compatibile con il formato prioritario della Leica "LLK" per l'acquisizione in tempo reale delle coordinate planimetriche e della quota provenienti dal GPS e già trasformate nel sistema di riferimento adottato.

Side Scan Sonar

Il sistema Side Scan Sonar consente di acquisire immagini del fondale marino paragonabili alle immagini aerofotogrammetriche nel campo terrestre. Il sistema SSS emette un ventaglio di onde acustiche orientato trasversalmente alla direzione di navigazione e registra le onde provenienti dal fondale (backscatter).

Questo permette di identificare le diverse superfici presenti sul fondale marino, come sabbia, ghiaia, roccia, fango, posidonia, cymodocea, ripples ecc. oltre ad ogni altra eventuale struttura che giace sulla superficie del fondo.

Le onde ricevute vengono generate dal fondale da fenomeni di diffrazione che si manifestano quando la lunghezza d'onda del segnale incidente è confrontabile con le discontinuità del fondale (rugosità). Le elevate frequenze che caratterizzano il sistema, assicureranno l'assenza di penetrazione e l'elevata risoluzione dei dati. Generalmente per mappature geomorfologiche viene utilizzata una frequenza di 100Khz mentre per l'identificazione di "target" più piccoli la frequenza aumenta. Esistono strumenti anche a doppia frequenza simultanea. Il sistema Side Scan Sonar consiste in una parte hardware (pc + monitor) a bordo della imbarcazione a cui sono collegati due trasduttori acustici assemblati lateralmente in un involucro a forma di "pesce". Il pesce viene dunque trainato per permettere ai trasduttori di rilevare i fondali ad una distanza costante dal fondo in modo da acquisire immagini uniformi ed a risoluzione adeguata. La distanza dal fondo si decide in funzione del range laterale adottato ed in genere non deve superare il 20% di questo; infatti il pesce emette onde acustiche attraverso i trasduttori laterali e le onde emesse coprono un'area del fondale in genere compresa fra i 50-500 metri (range laterale).

L'immagine morfo-acustica del fondale esprime le variazioni di intensità del backscatter, in termini di toni di grigio, o di colore, associate a variazioni morfologiche, della tessitura/composizione dei sedimenti e alla presenza di affioramenti rocciosi o ad esempio prateria di poseidonia. Sono infatti le ombre generate dall'andamento obliquo degli uimpulsi acustici a dare profondità alle immagini acquisite.

I dati vengono acquisiti in digitale in maniera da effettuare, tramite programmi software specifici, le elaborazioni più comuni, la georeferenziazione delle immagini e la mosaicatura finale di tutta l'area.

METODOLOGIA UTILIZZATA

Viene adesso brevemente descritta la tecnica di rilievo adottata al fine di comprendere meglio le modalità esecutive svolte durante il lavoro.

Sistema di Posizionamento

Per l'intero rilievo è stata utilizzata la tecnologia GPS le cui caratteristiche tecniche sono state descritte in precedenza. Il GPS in modalità RTK è stato utilizzato sia per il rilievo topografico che per quello batimetrico. Questa tecnologia infatti offre notevoli vantaggi; calcolando infatti anche la quota assoluta in tempo reale con precisione centimetrica e con una frequenza di acquisizione di 0.2 secondi, permette, in abbinamento con i dati provenienti dall'ecoscandaglio, di correggere automaticamente tutte le oscillazioni della superficie marina (marea, onde, sovrizzo) durante il rilievo batimetrico. Ulteriori vantaggi si hanno nei rilievi topografici della parte emersa come evidenziato nell'apposito capitolo.

Il GPS, se opportunamente impostato, mostra in tempo reale all'operatore direttamente le coordinate (Est, Nord e quota) nel sistema desiderato; UTM32 e quota assoluta sul livello medio mare nel nostro caso. Per LMM (livello medio mare) sovente indicato con l.m., si intende il livello medio intorno al quale avvengono le oscillazioni della superficie marina dovute principalmente al moto ondoso ed alle maree, ma anche a correnti e variazioni termiche.

Per ottenere queste funzioni bisogna però impostare sullo strumento una trasformazione di coordinate della zona che permetta di passare dalle coordinate WGS84, quelle prioritarie della tecnologia satellitare, al sistema di coordinate desiderate. Per fare questo è necessario individuare una serie di punti noti nelle coordinate del sistema voluto, in planimetria e quota, perimetrali all'area di lavoro. La loro disposizione varia molto anche in funzione della topografia del terreno.

Anche la scelta di tipo di trasformazione di coordinate impostata è un fattore importante per ottenere risultati di elevata precisione.

Il rilievo è stato eseguito utilizzando, nella fase di acquisizione e restituzione, i seguenti parametri geodetici:

Datum:	WGS 84
Proiezione:	U.T.M. – Fuso 32
Meridiano Centrale:	9°00'00"
Falsa Origine:	500 000 metri
Coefficiente di riduzione delle coordinate	0.9996

Tabella 1: Datum orizzontale di acquisizione

Rilievo batimetrico

Il rilievo batimetrico è stato condotto secondo le 62 linee di profilo.

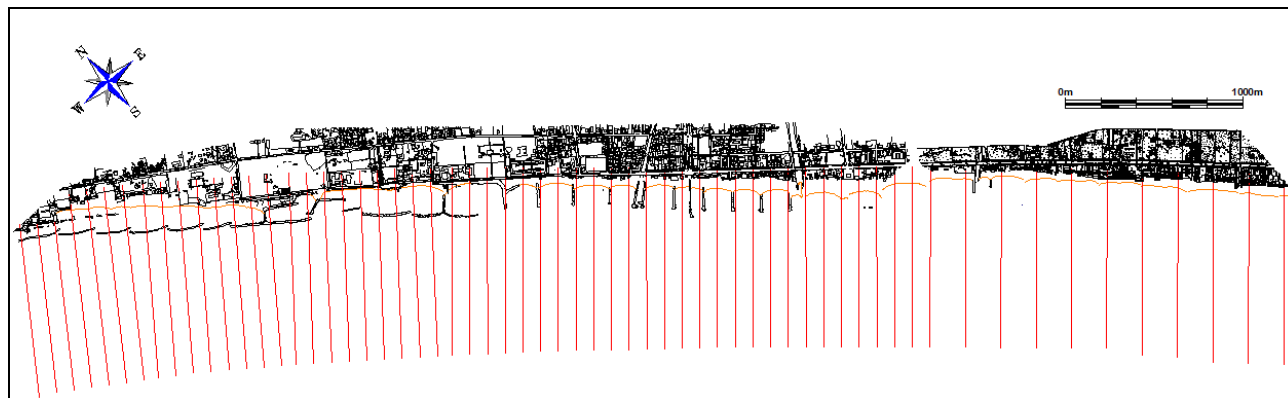


Fig. 1 - Progetto di rilievo Topobatimetrico

Il rilievo è stato eseguito con mare completamente calmo ed in assenza di vento. Le sezioni di scandagliamento sono state effettuate con imbarcazione che si muoveva a velocità costante e bassa lungo le rotte prefissate. Ad inizio e fine rilievo si è proceduto alla taratura dell'ecoscandaglio.

La regolazione della velocità strumentale in base alla velocità degli ultrasuoni in acqua è stata effettuata tramite il metodo del "Bar Check" (misurazione della profondità di immersione di una barra o disco metallico calato al di sotto del trasduttore e sospeso ad un cavo graduato in decimetri).

Le misurazioni sono state effettuate a varie profondità (-3m, -6m). Un ulteriore controllo è derivato dalla misura diretta del fondale con palina graduata. Si è quindi corretto digitalmente sul software di navigazione l'eventuale errore.

Per il rilievo batimetrico è stato utilizzato un sistema di acquisizione dei dati automatico-digitale, con posizionamento del natante in tempo reale tramite tecnologia GPS con correzione delle coordinate via radio modem e GSM.

Il GPS di bordo trasmette in tempo reale, frequenza di acquisizione di 0.2 secondi, le coordinate (Est, Nord e quota IGM) al software di navigazione.

L'operatore sul natante dirige l'imbarcazione seguendo le indicazioni sul video del PC, ove è indicata la retta che rappresenta la linea teorica da rilevare e la posizione attuale del natante.

Una volta portata l'imbarcazione in allineamento con la sezione da rilevare, l'operatore segue con maggior precisione possibile la linea di progetto visualizzata, iniziando l'acquisizione dei dati. Sono inoltre visibili il fuori-rotta, la velocità in nodi, l'angolo di governo, la distanza dall'inizio e dal fine rotta, il numero di evento e altri valori utili per il rilievo.

Questa tecnologia offre notevoli vantaggi; calcolando infatti il GPS, oltre che le coordinate in Gauss Boaga, anche la quota assoluta del trasduttore in tempo reale e con precisione centimetrica, diventa possibile, in abbinamento con i dati provenienti dall'ecoscandaglio, correggere automaticamente tutte le oscillazioni della superficie marina (marea, onde, sovrizzo dovuto alla massa d'acqua spinta dal vento) durante il rilievo batimetrico.

Per questo anche l'immersione dell'ecoscandaglio dal pelo dell'acqua, -0.20 m durante l'intero rilievo, è stata precedentemente impostata e automaticamente corretta.

Con questa metodologia, come visto, non occorre operare le correzioni di marea e di pressione atmosferica per la riduzione a livello mare a posteriori, in più tutte le oscillazioni verticali vengono automaticamente prese in considerazione.

Avendo eseguito il rilievo direttamente in formato digitale tutti i dati sono stati registrati sul disco magnetico come una strisciata digitale in codice "ascii" secondo il formato caratteristico del programma. Il file contiene per ogni punto la data, l'ora, le coordinate planimetriche e la profondità del fondo.

Rilievo topografico della parte emersa

Unitamente al rilievo di battigia è stato effettuato il rilievo della morfologia della spiaggia emersa sulle 62 sezioni rilevate.

Anche in questo caso l'utilizzo del GPS differenziale facilita molto l'operatore. E' possibile infatti caricare sul palmare le rotte delle sezioni da rilevare. Il GPS guida, attraverso un interfaccia grafica, l'operatore sulla rotta indicando anche la distanza del fuorirota. E' quindi possibile seguirne il tracciato e memorizzare le coordinate (x,y,z) dei punti battuti. Tale rilievo è iniziato dal vertice della sezione fino al primo valore di profondità rilevato dall'ecoscandaglio; è stato quindi riportato sia in planimetria che sui profili.

Rilievo della linea di riva

Il rilievo della linea di riva è stato effettuato con mare calmo con un numero di punti sufficienti a determinarne una precisa configurazione.

Per il rilievo della battigia il GPS consente, indicando costantemente all'operatore la quota riferita al LMM del piede della palina, di poter eseguire il rilievo percorrendo la linea di riva direttamente sulla quota zero IGM.

Questo permette di non tenere in considerazione il livello di marea.

Prelievo campioni

E' stato eseguito il prelievo di 110 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa distribuiti secondo nove 27 come mostrato in figura 3.

Il campionamento nella parte sommersa è stato effettuato direttamente dall'imbarcazione con una benna "Van veen". Dei campioni sono state anche rilevate le coordinate planimetriche e la relativa quota (Tavola 3).

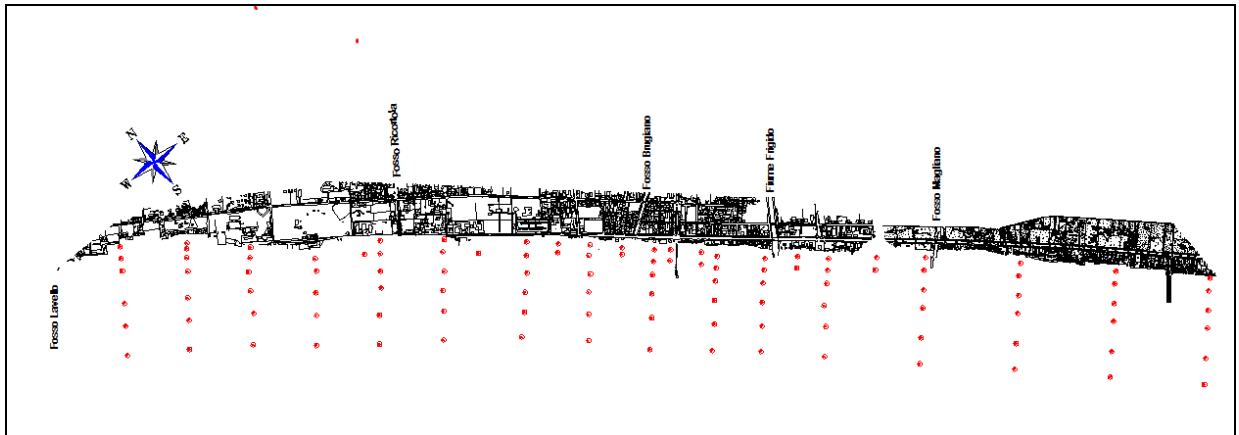


Figura 2 – Piano di campionamento



Fig. 3 - Benna Van Veen utilizzata per il prelievo dei campioni

Analisi Granulometriche

I campioni prelevati sono stati essiccati pesati e sottoposti a lavaggio manuale sul setacciatura manuale su setaccio con apertura netta 0.0625mm; il passante è stato seccato, pesato e sottoposto ad analisi granulometrica mediante setacciatura per 10 minuti con setacciatrice meccanica (Controls, D409) utilizzando setacci di 200 mm di diametro intervallati di $\frac{1}{2}$ phi (con aperture corrispondenti alle norme ISO, BS, UNI,NF,DIN). Ciascuna frazione granulometrica è stata pesata utilizzando una bilancia tecnica elettronica con lettura a 0.01 gr. Il peso del passante al setaccio con luce netta di 0.0625 mm è stato sommato alla differenza di peso tra la pesata del campione integro e la pesata del campione lavato ed asciugato.

Sono state quindi calcolate le percentuali di ciascuna frazione granulometrica e costruiti gli istogrammi di frequenza e le curve cumulative in scala log- probabilistica (Allegato A). Da queste si ottenuti i valori del 1°, 5°, 16°, 25°, 50°, 75° 84° e 95° percentile necessari per il calcolo dei parametri statistici di Folk & Ward (1957), Media (Mz), Cassazione (I) e Asimmetria (Sk₁).

I parametri più caratteristici sono riassunti in Tabella 2 mentre le schede riassuntive di tutti i risultati sono riportate in Allegato A.

Tabella 2 - Parametri granulometrici caratteristici dei campioni analizzati

N° Camp.	Media (Phi)	Media (mm)	Calssazione	Asimmetria	1° Percentile	% F.Fine
A1	0.01	0.99	2.37	-0.64	-3.62	2.63
A2	1.95	0.26	0.38	0.04	1.15	1.54
A3	1.77	0.29	0.52	0.01	0.34	1.54
A4	2.36	0.19	0.47	0.32	1.49	3.90
A5	3.25	0.11	0.66	0.08	1.73	30.59
A6	3.07	0.12	0.55	0.36	2.05	12.14
B1	1.94	0.26	0.41	-0.10	-3.53	0.93
B2	1.95	0.26	0.45	0.15	0.89	3.90
B3	2.06	0.24	0.58	0.38	1.10	6.97
B4	1.99	0.25	0.44	-0.12	0.84	0.92
B5	3.03	0.12	0.63	0.36	2.03	13.80
B6	3.00	0.13	0.52	0.32	2.08	10.17
B7	2.92	0.13	0.52	0.33	2.05	10.82
C1	-1.51	2.84	1.42	-0.03	-4.01	0.12
C2	1.24	0.42	0.74	-0.14	-1.71	0.80
C3	2.28	0.21	0.46	-0.12	0.67	0.85
C4	3.26	0.10	0.86	0.51	2.02	18.26
C5	2.94	0.13	0.52	0.32	2.04	10.00
C6	2.88	0.14	0.58	0.35	1.90	12.30
D1	1.98	0.25	0.44	0.00	0.78	1.17
D2	2.76	0.15	0.53	0.28	1.52	8.08
D3	1.95	0.26	0.57	-0.08	0.37	1.47
D4	2.87	0.14	0.60	0.23	1.18	10.98
D5	2.82	0.14	0.53	0.33	1.92	9.30
E1	-3.38	10.44	1.58	0.24	-5.09	0.13
E2	1.03	0.49	0.83	-0.23	-3.00	0.94
E3	1.43	0.37	0.58	0.00	-2.78	1.52
E4	2.06	0.24	0.45	-0.09	0.84	2.00
E5	1.87	0.27	0.44	0.06	0.72	0.85
E6	2.89	0.13	0.48	0.29	2.01	7.04
E7	2.83	0.14	0.47	0.25	1.94	4.73
F1	-1.01	2.02	1.79	-0.30	-4.02	1.66

F2	1.28	0.41	0.78	-0.04	-1.81	1.83
F3	2.30	0.20	0.55	-0.17	-3.51	1.40
F4	1.72	0.30	1.06	0.04	-1.76	5.39
F5	3.09	0.12	0.71	0.31	1.83	29.64
F6	2.93	0.13	0.48	0.29	1.88	7.71
F7	3.05	0.12	0.66	0.39	1.68	15.42
G1	-1.23	2.35	0.67	-0.02	-3.52	0.37
G2	-0.30	1.23	0.81	-0.25	-3.43	0.73
G3	2.48	0.18	0.65	0.11	0.04	6.79
G4	2.90	0.13	0.50	0.31	2.02	8.73
G5	2.74	0.15	0.47	0.32	1.99	3.91
G6	2.86	0.14	0.57	0.35	1.87	6.85
H1	1.03	0.49	1.38	-0.57	-3.53	1.37
H2	2.36	0.20	0.35	0.16	1.37	2.34
I1	-1.11	2.16	1.87	0.30	-4.03	0.05
I2	2.36	0.19	0.39	-0.01	0.99	1.21
I3	2.85	0.14	0.82	0.51	1.50	17.98
I4	3.16	0.11	0.71	0.15	1.56	33.79
I5	2.88	0.14	0.38	0.25	2.08	2.52
I6	2.96	0.13	0.47	0.33	2.11	7.78
L1	1.59	0.33	0.49	-0.07	0.02	0.64
L2	2.14	0.23	0.45	0.00	1.06	3.01
M1	1.76	0.30	0.48	-0.12	-0.02	1.10
M2	1.95	0.26	0.46	0.00	0.88	1.74
M3	2.24	0.21	0.38	0.03	1.02	3.50
M4	3.14	0.11	0.65	0.35	2.02	19.92
M5	2.56	0.17	0.67	0.50	1.62	9.92
M6	3.13	0.11	0.66	0.37	2.04	19.94
N1	2.96	0.13	0.45	0.37	2.17	7.63
N2	2.02	0.25	0.46	-0.07	0.84	1.88
O1	1.26	0.42	0.51	0.03	-0.34	0.71
O2	2.22	0.21	0.70	0.29	0.97	9.02
P1	1.95	0.26	0.65	0.26	0.80	6.57
P2	2.06	0.24	0.47	-0.16	-1.58	1.00
P3	2.82	0.14	0.81	0.35	1.00	14.96
P4	2.96	0.13	0.67	0.38	1.63	12.37
P5	2.95	0.13	0.59	0.40	2.10	8.50
P6	2.88	0.14	0.57	0.31	1.60	11.27
Q1	2.00	0.25	0.75	-0.01	0.33	8.06
Q2	1.88	0.27	0.95	-0.42	-3.53	2.68
Q3	2.28	0.21	0.49	0.14	0.85	3.62
Q4	2.82	0.14	0.59	0.27	1.39	10.15
Q5	2.95	0.13	0.47	0.33	2.08	7.48
Q6	2.92	0.13	0.49	0.31	2.08	7.76
R1	2.32	0.20	0.29	0.03	1.23	1.32
R2	2.39	0.19	0.33	0.10	0.52	2.07
S1	1.44	0.37	1.32	-0.64	-1.70	1.08
S2	2.69	0.15	0.68	0.34	-1.25	12.69
S3	3.05	0.12	0.70	0.39	1.26	16.27
S4	2.73	0.15	0.55	0.21	1.02	4.61
S5	3.04	0.12	0.48	0.37	2.13	10.32
S6	2.76	0.15	0.52	0.37	1.91	6.66
T1	1.67	0.32	0.62	0.04	0.13	0.00
T2	-0.47	1.38	1.70	-0.02	-3.56	3.18
U1	-1.09	2.13	1.04	-0.26	-3.56	0.17
U2	1.90	0.27	0.63	0.37	0.75	4.22
U3	2.34	0.20	0.61	0.18	0.14	4.85
U4	3.20	0.11	0.61	0.40	2.08	18.85
U5	2.87	0.14	0.57	0.37	2.02	7.20
U6	2.78	0.15	0.54	0.23	1.52	5.63

V1	0.90	0.54	0.55	0.18	-1.43	0.92
V2	2.03	0.25	0.45	-0.03	0.62	0.80
V3	2.37	0.19	0.71	0.10	-0.52	5.44
V4	3.00	0.13	0.76	0.35	0.40	19.80
V5	3.00	0.13	0.53	0.44	2.10	9.29
V6	3.00	0.13	0.62	0.45	2.12	12.56
W1	1.60	0.33	0.53	-0.17	-1.99	1.60
W2	1.69	0.31	0.64	0.23	0.30	1.96
W3	2.17	0.22	0.71	0.17	0.87	8.96
W4	3.14	0.11	0.69	0.21	1.14	16.79
W5	3.00	0.12	0.44	0.40	2.22	7.94
W6	2.96	0.13	0.45	0.37	2.17	7.63
X1	1.42	0.37	0.43	-0.04	-0.05	0.47
X2	1.48	0.36	0.55	0.18	0.04	2.48
X3	2.67	0.16	1.00	0.26	0.48	15.86
X4	2.84	0.14	0.66	0.49	1.61	13.33
X5	3.04	0.12	0.62	0.38	2.03	13.63
X6	3.03	0.12	0.57	0.31	2.10	12.02

Rilievo Side Scan Sonar

Il rilievo morfologico dei fondali in oggetto è stato eseguito con un Sonarbeam 150A. La frequenza scelta è stata 450 KHz. I rilievi side scan sonar sono stati effettuati su cinque rotte perpendicolari a costa utilizzando un range laterale di 75 m per canale, ottimale per consentire una buona copertura e sovrapposizione delle spazzate.

Prima dell'inizio del rilievo sono stati eseguiti i seguenti test: "Tap test" che consiste nello sfregamento alternato per mezzo di un panno dei due trasduttori; verificando entrambe le frequenze.

"Serial port test" che consiste nella verifica della corretta trasmissione dei dati tra il computer di navigazione ed il software di acquisizione.

Visti i bassi fondali (<10m) lo strumento è stato trainato vicino alla barca filando 5m di cavo. Il calcolo del layout strumentale è stato eseguito dal software sulla base lunghezza del cavo e della velocità dell'imbarcazione calcolata sulla base delle posizioni GPS.

Si è cercato inoltre di limitare al massimo la deviazione dalle linee di progetto mantenendo il trasduttore trainato il più allineato possibile con la rotta percorsa.

I rilievi sono stati eseguiti con condizioni meteo marine ottimali al fine di ottenere immagini chiare ed esenti da disturbi che possono essere provocati da rollio o beccheggio dei sensori del sistema Side Scan Sonar.

ELABORAZIONE DATI

Elaborazione del rilievo della parte emersa effettuato con GPS

Con il GPS, in modalità "real-time" è stato effettuato il rilievo topografico della parte emersa. Inoltre si erano picchettati e registrati i vertici di inizio rotta. I dati memorizzati nello strumento sono già nel sistema di coordinate desiderato e con la quota assoluta, avendo reimpostato sullo stesso la trasformazione di coordinate basata su n punti noti nell'intorno della zona. Una volta scaricati dalla memoria interna del GPS,

attraverso il programma Leica Geo Office (LGO), questi dati sono stati esportati in formato CAD, come punti 3D di coordinate (x,y,z).

Elaborazione delle strisciate digitali

La fase di elaborazione dei dati raccolti durante il rilievo batimetrico ha permesso di arrivare alla stesura finale della carta batimetrica.

Il programma di navigazione si compone anche di un modulo cartografico che consente di effettuare varie operazioni, come la creazione delle curve di livello, dei profili, od il calcolo dei volumi. Inoltre consente l'esportazione in formato ASCII o AutoCAD.

Anche in questo caso i dati memorizzati erano dei punti 3D (x,y,z) del fondale marino, già corretti, come abbiamo visto, del livello medio mare e delle oscillazioni verticali.

Una prima elaborazione che è stata effettuata è stata quella, attraverso un editor grafico, di apportare le correzioni per quei dati che risultavano errati in quota per la presenza ad esempio di riflessioni dovute a cause esterne o ad errori "spikes".

Sono state inoltre verificate tutte le quote nei punti intersezioni fra le sezioni trasversali e quelle di controllo longitudinali. Questo controllo permette di verificare se un medesimo punto rilevato in tempi diversi fornisce il medesimo valore di profondità. Grazie alla metodologia adottata gli scarti in questo caso sono minimi, inferiori ai 5 cm, e principalmente dovuti ad errori dell'ecoscandaglio, ed ad oscillazioni dell'imbarcazione (pitch o roll).

Al termine delle verifiche si hanno i dati nella loro versione definitiva.

Ogni sezione è stata poi collegata alla parte rilevata con la palina, ovvero quella emersa e sommersa fino ai primi dati rilevati dall'ecoscandaglio. Anche in questo caso sono stati verificati di dati nel loro eventuale punto di contatto.

Attraverso poi degli algoritmi specifici è stato possibile proiettare i punti di ogni sezione su una retta in maniera da poter ottenere i grafici delle sezioni.

L'intera nuvola di punti è stata infine elaborata dal software Surfer 9 per la creazione delle curve di livello che sono state comunque ritoccate e modificate manualmente in ambiente CAD per una corretta interpretazione dell'interpolazione eseguita dal software.

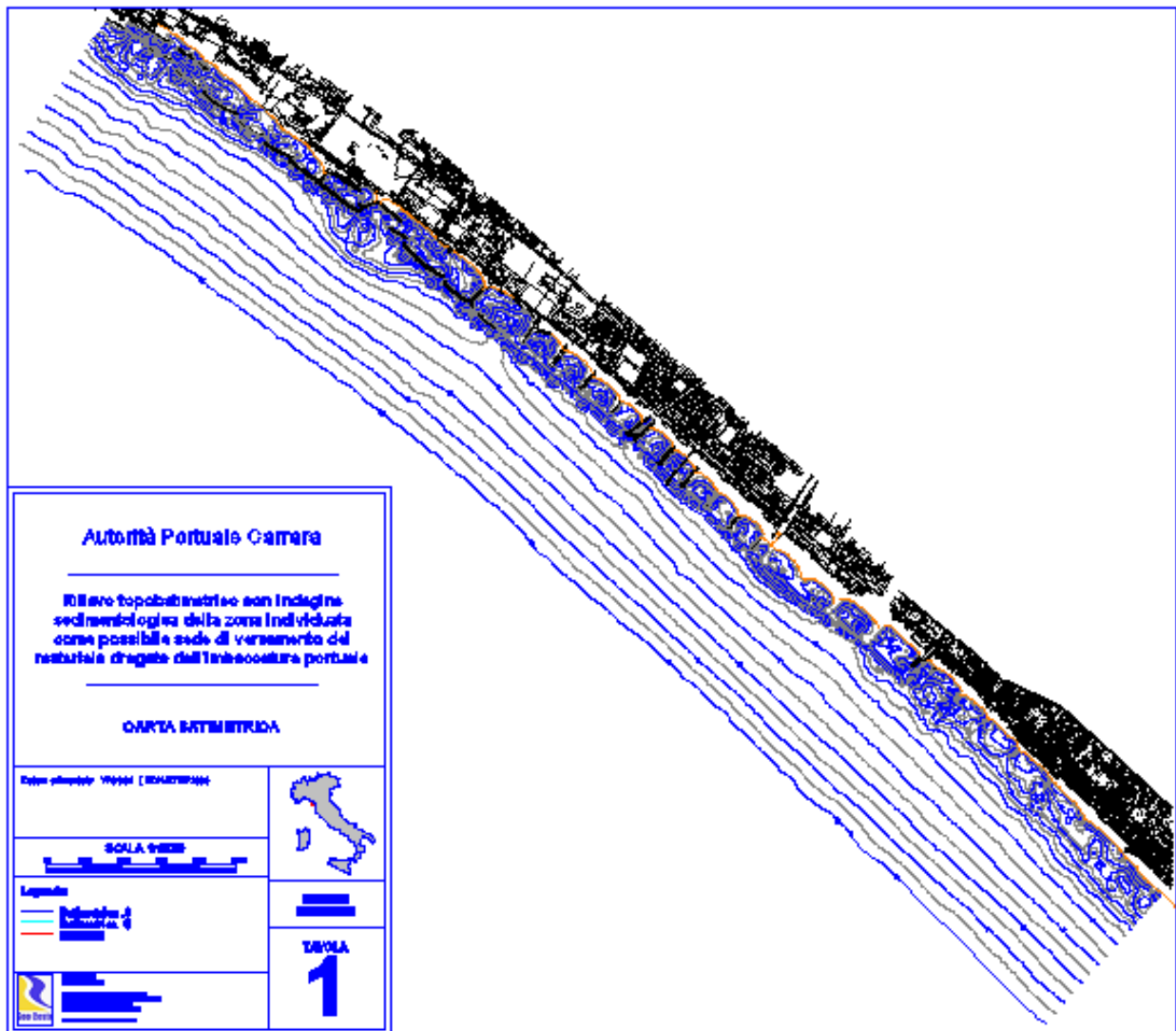


Fig. 4 - Carta batimetrica dell'area rilevata

Elaborazione dati granulometrici

Nella schede riportate in allegato le dimensioni dei sedimenti (Media e 1° Percentile) sono espresse in mm ed in phi ma nella successiva trattazione utilizzeremo soltanto i phi dal momento che la scala logaritmica agevola l'interpretazione dei risultati delle analisi granulometriche. Ricordiamo quindi che il phi corrisponde a $-\log_2(\text{mm})$ e che in Tabella 2.2 è riportata la scala di conversione phi/mm delle vari classi granulometriche.

Il parametro di Folk & Ward della **Media (Mz)** è un parametro descrittivo delle dimensioni medie dei sedimenti ed è pari alla media del 16°, del 50° e dell'84° percentile:

$$\text{Media (Mz)} = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

In funzione delle dimensioni medie (Mz) i campioni vengono classificati, in base alla scala Wentworth, nelle varie classi granulometriche (Tabella 2.2).

Tabella 3 - Classificazione dei sedimenti secondo Wentworth in mm ed in phi

Dimensioni in mm	Dimensioni in phi	Nome della classe	Corrispondente italiano
> 256	< -8	Boulders	Massi
256 ÷ 128	-8 ÷ -7	Large Cobbles	Ciottoli grandi
128 ÷ 64	-7 ÷ -6	Small Cobbles	Ciottoli piccoli
64 ÷ 32	-6 ÷ -5	Very coarse pebbles	Ghiaia molto grossolana
32 ÷ 16	-5 ÷ -4	Coarse pebbles	Ghiaia grossolana
16 ÷ 8	-4 ÷ -3	Medium pebbles	Ghiaia media
8 ÷ 4	-3 ÷ -2	Fine pebbles	Ghiaia fine
4 ÷ 2	-2 ÷ -1	Granules	Ghiaia molto fine - (granuli)
2 ÷ 1	-1 ÷ 0	Very coarse sand	Sabbia molto grossolana
1 ÷ 0,5	0 ÷ 1	Coarse sand	Sabbia grossolana
0,5 ÷ 0,25	1 ÷ 2	Medium sand	Sabbia media
0,25 ÷ 0,125	2 ÷ 3	Fine sand	Sabbia fine
0,125 ÷ 0,063	3 ÷ 4	Very fine sand	Sabbia molto fine
0,063 ÷ 0,031	4 ÷ 5	Coarse silt	Limo (silt) grossolano
0,031 ÷ 0,016	5 ÷ 6	Medium silt	Limo (silt) medio
0,016 ÷ 0,008	6 ÷ 7	Fine silt	Limo (silt) fine
0,008 ÷ 0,004	7 ÷ 8	Very fine silt	Limo (silt) molto fine
0,004 ÷ 0,002	8 ÷ 9	Coarse clay	Argilla grossolana
0,002 ÷ 0,001	9 ÷ 10	Medium clay	Argilla media
0,001 >	10 >	Fine clay	Argilla fine

N.B. La traduzione dei termini inglesi non è strettamente letterale, ma è stata adattata in modo utilizzare i termini italiani che nell'uso comune descrivono i granuli delle diverse dimensioni.

I sedimenti analizzati hanno dimensioni variabili da 3,26 phi (0,10 mm - Sabbia Molto fine) a -3,38 phi (10,44 mm - Ghiaia Media).

Le **dimensioni del 1° percentile** (dimensione corrispondente all'1% dei granuli analizzati ed ordinati in senso decrescente) sono spesso considerate espressione dell'energia del moto ondoso in grado di mobilizzare i vari materiali.

I sedimenti analizzati presentano dimensioni del 1° Percentile variabili tra -5,09 (34,06 mm) e 2,22 phi (0,21 mm).

La **classazione (σ)** dei sedimenti è un parametro inversamente proporzionale all'ampiezza dello spettro granulometrico del campione; graficamente essa è direttamente proporzionale alla pendenza della curva cumulativa mentre algebricamente essa viene calcolata con la formula:

$$\text{Classazione } (\sigma) = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6,6}$$

In tabella 2.3 viene riportata la classificazione di Folk & Friedman che suddivide i sedimenti in sette classi di classazione.

Tabella 4 - Classificazione di Folk & Friedman

σ	Sedimento
0 – 0.36	<i>Estremamente Classato</i>
0.36 – 0.5	<i>Ben Classato</i>
0.5 – 0.71	<i>Discretamente Classato</i>
0.71 – 1.0	<i>Moderatamente Classato</i>
1.0 – 1.41	<i>Poco Classato</i>
1.41 – 2.0	<i>Scarsamente Classato</i>
2.0 – 2.8	<i>Non Classato (estremamente assortito)</i>

La **percentuale di frazione fine (<0,0625 mm)** contenuta nei sedimenti analizzati varia da 0% a 33,79%.

Elaborazione dati Side Scan Sonar

L'elaborazione dei dati SSS, esportati in formato .xtf, sono stati mosaicati con il software Hypack che ha consentito di creare dei geotiff delle immagini acquisite che ha portato alla creazione di una carta morfologia con la mappatura delle caratteristiche litologiche dei fondali.

L'intera area rilevata è costituita da sedimenti sabbiosi dove non è stata rilevata presenza di posidonia oceanica.

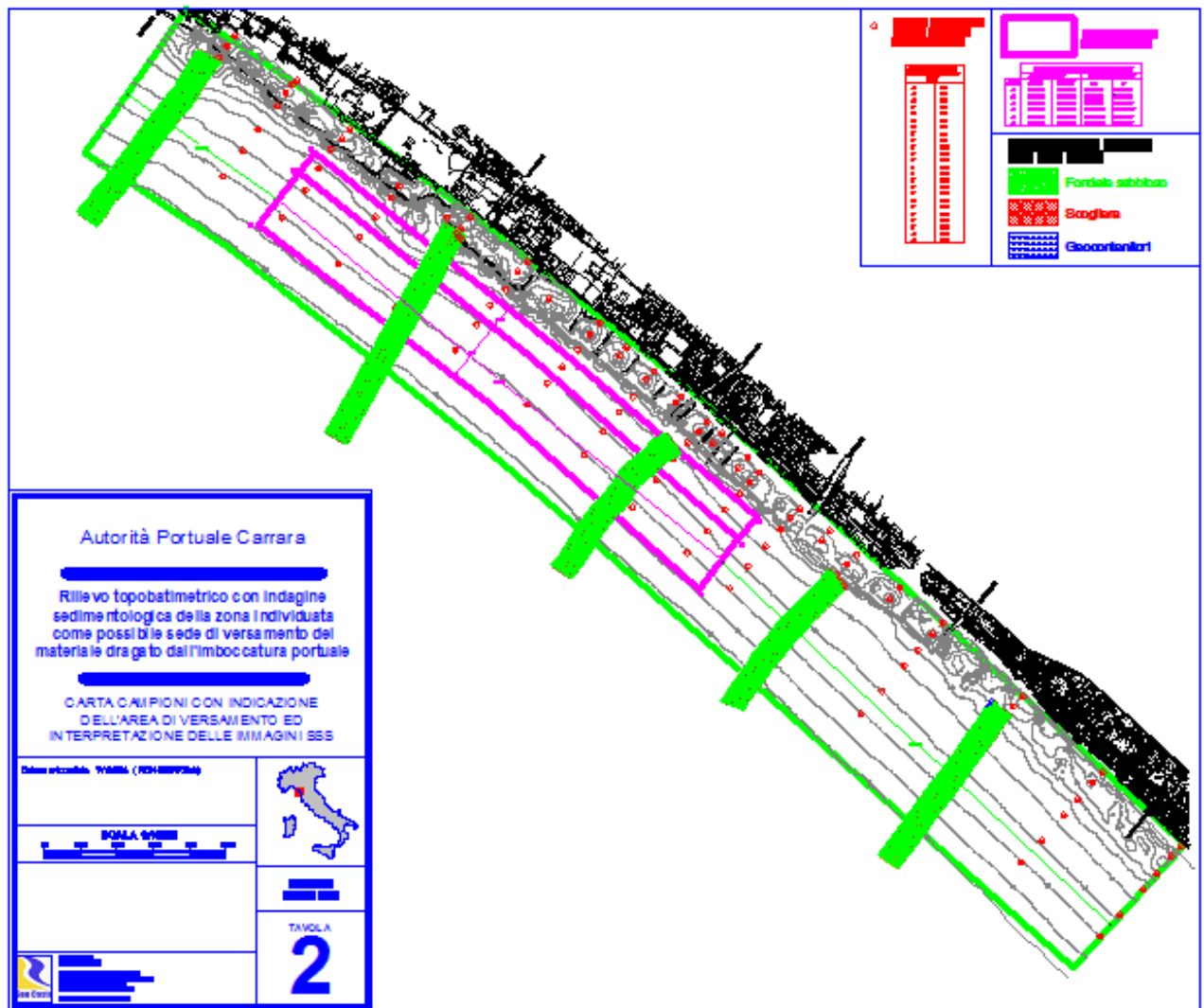


Fig. 5 - Carta campioni con indicazione dell'area di versamento ed interpretazione delle immagini SSS

Allegati:

Allegato A) Schede riassuntive delle caratteristiche granulometriche dei campioni

Allegato B) Foto dei campioni analizzati

Tavola 1) Carta batimetrica dell'area rilevata

Tavola 2A) Carta campioni con indicazione dell'area di versamento ed interpretazione delle immagini

SSS – Area Settentrionale

Tavola 2B) Carta campioni con indicazione dell'area di versamento ed interpretazione delle immagini

SSS – Area Meridionale