

## **AUTORITA' PORTUALE DI MARINA DI CARRARA**

**Indagine Geofisica ad alta definizione Sub Bottom Profiler  
e Morfologica Side Scan Sonar delle aree antistanti  
imboccatura del Porto di Marina di Carrara**





**Geocoste snc**  
Via Ugo Corsi, 19  
50141 Firenze

P.IVA/CF: 05397900480

---

## **Indice**

Premessa

Rilievo Geofisico SBP

Rilievo Morfologico SSS

Risultati

Conclusioni

---

## **Premessa**

La società Geocoste snc è stata incaricata d Autorità Portuale di Carrara di effettuare una indagine geofisica superficiale ad alta risoluzione tramite strumentazione acustica Sub Bottom Profiler e Side Scan Sonar, al fine di verificare l'assetto stratigrafico superficiale e morfologico dell'area marina antistante le coronelle dell'imboccatura, interessate da future opere infrastrutturali.

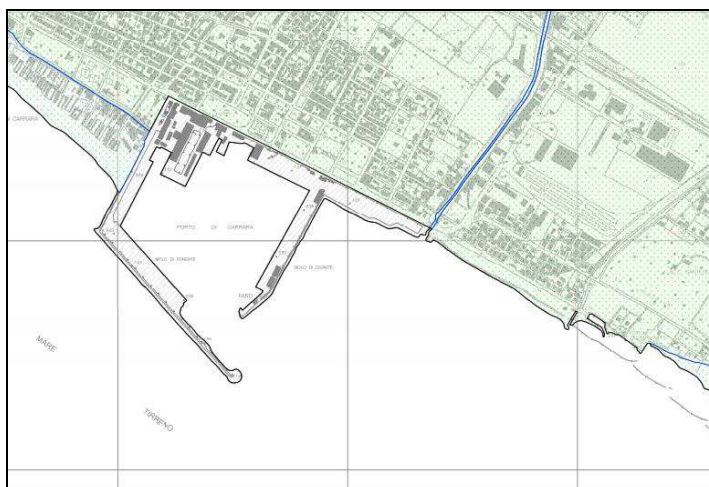


Fig. 1 – Planimetria area marina interessata dai rilievi geofisici e morfologici

I rilievi sono stati eseguiti in due fasi :

1. Rilievo Morfologico Side Scan Sonar per la mappatura dei massi della coronella in effettivo appoggio sul attuale fondale;
2. Rilievo Geofisico Sub Bottom Profiler nella giornata del 14.04.2015 per identificazione di eventuali target semisepolti e sepolti antistante l'attuale piede della coronella.

Tutti i dati acquisiti sono stati poi processati/ elaborati ed interpretati presso i nostri uffici di Sarzana (SP) con il fine di restituire una cartografia tematica dove si evidenzia la parte in affioramento dal fondale ed eventuali target SBP di materiale semi-sepolto e addirittura sepolto.

### Rilievo Geofisico Sub Bottom Profiler

La stratigrafia dei fondali dell'area investigata è stata esaminata per mezzo di un sistema Sub Bottom Profiler di nuova generazione Edge Tech mod. 3100P a tecnologia "Chirp"(Fig.3). Questo sistema consente di identificare, tramite la produzione di immagini ad alta risoluzione (<15 cm), sia le sequenze litostratigrafiche al di sotto del fondale, sia l'eventuale presenza di oggetti sepolti.

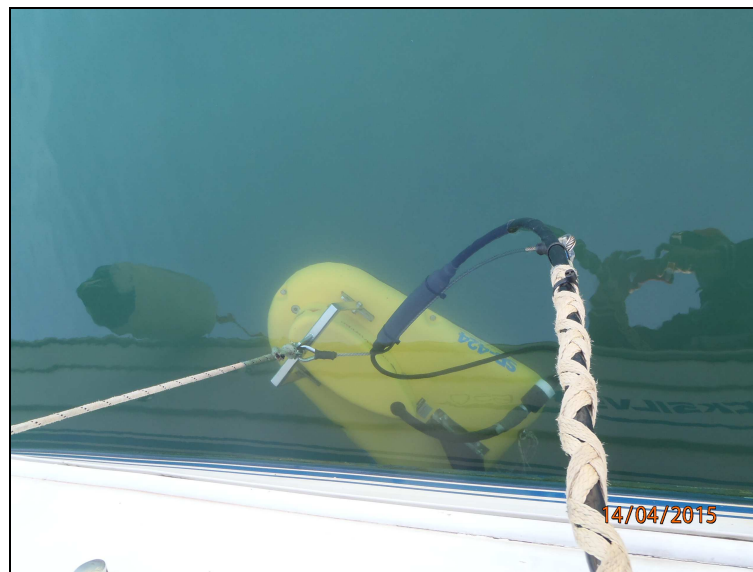


Fig.2 - Sistema di Acquisizione SBP a fianco della pilotina Geocoste V

Il funzionamento è basato sui principi fisici dell'acustica e in particolare sulla diversa velocità di propagazione del suono all'interno dei materiali (es.: acqua, sabbia, limo, argilla, rocce, ecc.) quando vengono attraversati da un evento acustico.

La penetrazione dei materiali e la loro riflessione dipendono sia dalle loro proprietà fisiche, sia dalla potenza e frequenza del segnale trasmesso (Fig. 2).

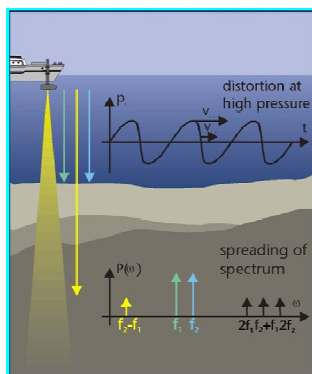


Fig. 3 – Principi di funzionamento SBP



Fig. 4 – Hardware e Towfish 4-24 (trasduttore) SBP

Lo strumento permette di selezionare principalmente:

- range di frequenza ( 4-24 kHz / 4-20 kHz / 4-16 kHz / 4-12 kHz );
- la potenza tra 1 e 2 kW;
- la velocità di sparo in millisecondi ;
- il guadagno acustico (gain) in decibel .

Gli impulsi acustici vengono trasmessi da un mono-trasduttore e ricevuti (streamer), mentre il segnale elettrico risultante viene evidenziato sul monitor ed eventualmente registrato su carta da un registratore grafico.

Per l'indagine è stata utilizzata una frequenza variabile da 4 kHz a 20 kHz , velocità di sparo di 10 msec, e velocità di acquisizione della imbarcazione < 3 nodi, ottenendo penetrazioni al di sotto del fondale variabili da circa 1,00 m a circa 5,00 m, con risoluzione di 0,20/0,30 m. E' da considerare che le penetrazioni del segnale acustico durante i rilievi in acque marino-costiere sono generalmente piuttosto basse e dipendono sia dal battente d'acqua e sia dalla diversa tipologia del materiale attraversati (sabbie/ghiaie/limi).

Gli offset strumentali della giornata di acquisizione sono riportati in Tab. I.

**Tab. 1 - Offset Strumentali in metri**

Posizione strumenti	X (trasversale)	Y (longitudinale)	Z (altezza/profondità)
DGPS	0.00	0.00	+ 2.00
SBP	- 1.00	- 1.00	- 1.00
SSS	- 1.00	- 5.00	- 3.00

Per il rilievo SBP sono state realizzate per ciascuna delle due coronelle n. 8 sezioni eseguite in andata e ritorno con interasse l'una dall'altra di circa 3 metri :

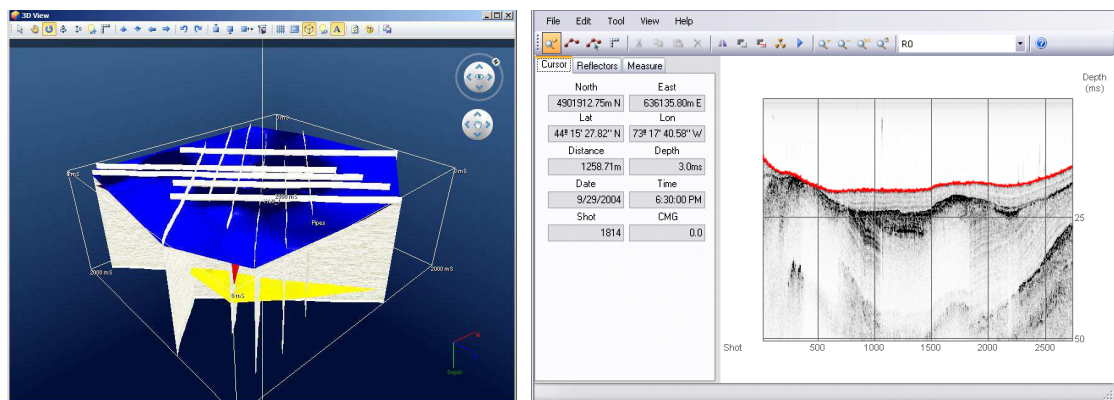
- Linea 1 a 3 metri dalla coronella affiorante;
- Linea 2 a 6 metri dalla coronella affiorante;
- Linea 3 a 9 metri dalla coronella affiorante;
- Linea 4 a 12 metri dalla coronella affiorante;
- Linea 5 a 15 metri dalla coronella affiorante;
- Linea 6 a 18 metri dalla coronella affiorante;
- Linea 7 a 21 metri dalla coronella affiorante;
- Linea 8 a 24 metri dalla coronella affiorante.

### ***Elaborazione e processing dei dati SBP***

Per l'elaborazione dei dati acquisiti mediante SBP è stato utilizzato il software della casa olandese "GeoSuite 3D/All Works" (fig.5) che permette di:

- caricare digitalmente(SEG-Y) i dati memorizzati per ogni linea acquisita;
- applicare differenti algoritmi di elaborazione/processing ai dati acquisiti;
- applicare eventuali correzioni di marea;
- digitalizzare i riflettori,;
- effettuare correlazioni con eventuali carotaggi;
- stampare profili;
- estrarre i dati in diversi formati;
- ricostruzioni 3D dell'assetto stratigrafico.

È inoltre possibile individuare, stampare e memorizzare immagini dei singoli target e evidenziare i principali riflettori acustici, digitalizzarli al fine di creare diverse tipologie di carte tematiche, carte di profondità o carte degli spessori delle unità sismiche.



*Fig.5 – Esempio di alcune finestre utilizzate nel software di elaborazione dati SBP*

### **Rilievo Morfologico Side Scan Sonar**

Al fine di avere una migliore rappresentazione morfologica del fondale e quindi il reale limite di appoggio sul fondale dell'attuale coronella sono state realizzate alcune linee interne al canale e antistanti alle due testate con strumentazione acustica a scansione laterale (Side Scan Sonar) ad alta frequenza (450Khz). Il sistema acustico Side Scan Sonar viene utilizzato al fine di identificare le diverse litologie ed oggetti presenti sul fondale marino, (sabbie, ghiaia, roccia, fango, Posidonia, Cymodocea, relitti, etc) al fine di realizzare una carta morfologica.

Il sistema side scan sonar utilizzato si avvale di tecnologia digitale a doppia frequenza (450/1250 Khz) per produrre immagini del fondale ad alta risoluzione sulla base della diversa risposta acustica che danno i diversi litotipi (fig. 6).

Il sistema emette onde acustiche laterali ed in funzione del ritorno delle stesse (tonalità di grigi) produce immagini del fondale georeferenziate con la possibilità quindi di mappare, attraverso accurata interpretazione, le litologie ed gli oggetti presenti sul fondale.

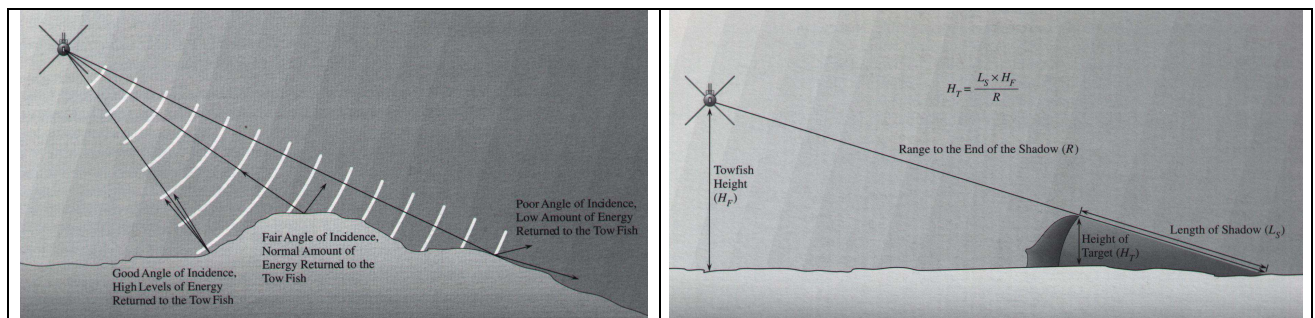


Fig. 6 – Principi acustici del sistema a scansione laterale “Side Scan Sonar”

Il sistema S.S.S. si avvale di due componenti principali (fig. 7 ):

- 1) Unità di acquisizione e registrazione delle immagini;
- 2) Unità portatata a traino in mare “Tow fish” 450/1250 Khz

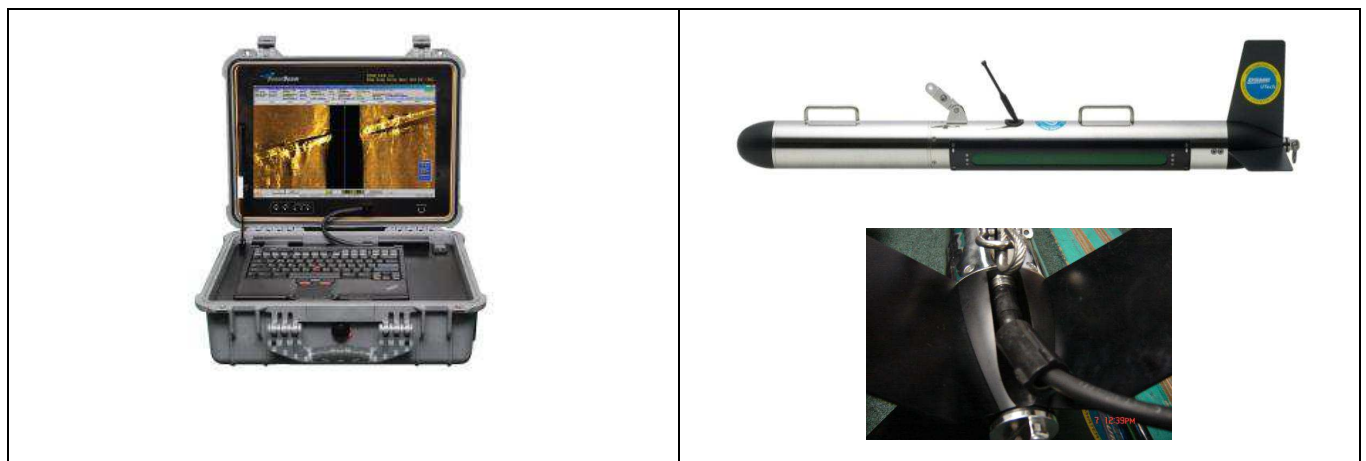


Fig. 7 – Componenti principali del sistema Side Scan Sonar.

## **ELABORAZIONE E PROCESSING DATI**

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.

Il calcolo della posizione effettiva dei trasduttori viene eseguito in tempo reale dal software di acquisizione sulla base della lunghezza del cavo "filato", della velocità dell'imbarcazione e degli offset strumentali misurati a bordo dell'imbarcazione.

In fase di processing il software Hypack permette di smussare la navigazione, di rimuovere la colonna d'acqua e regolare i guadagni e i contrasti dell'immagine oltre ad applicare molteplici filtri.

Una volta eseguiti tutti i passaggi è possibile esportare dei geotiff di ogni singola linea o un mosaico complessivo di tutte le linee acquisite.

## **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 2: Datum orizzontale di acquisizione*

## **Software di Navigazione**

Il sistema di acquisizione dati e di navigazione utilizzato per il SBP ed il SSS è il noto software idrografico NAVPRO 6.30, eseguibile su qualsiasi piattaforma di ultima generazione: WsXP, WsNT. Il programma assembla, in un unico pacchetto, le funzioni attinenti al ciclo di produzione dei rilievi idrografici: programmazione e progettazione del rilievo; navigazione e acquisizione dati; filtraggio ed elaborazione dati; editing e stampa dei dati; interfaccia con altre piattaforme software. Il centro di controllo costituisce il cuore del programma: in esso vengono impostati tutti i dati di configurazione del progetto ed eseguiti i vari moduli di cui è costituito il software.

Il processo che porta alla creazione di un nuovo progetto è composto da una serie di passaggi successivi attraverso i vari menù di configurazione (geodesia, disegno della nave e offset, linee di navigazione, registrazione dati, etc.)(fig.8).

Richiamando i vari menù di configurazione è anche possibile apportare eventuali modifiche che potrebbero essere necessarie nel progetto. Nella preparazione del progetto è possibile impostare determinate condizioni di qualità alle quali devono rispondere i dati registrati durante il rilievo. Nella fase successiva di acquisizione il sistema verificherà automaticamente tali condizioni ed informerà in tempo reale l'operatore di eventuali anomalie dei dati in input.

Con questo modulo viene gestita la navigazione sulle linee teoriche impostate precedentemente e sono controllati i dati provenienti da tutti i sensori connessi al sistema. Può essere attivata la memorizzazione dei dati o di singoli eventi, nonché la registrazione di commenti inerenti l'esecuzione dei rilievi. Nello stesso modulo è possibile selezionare i profili attivi di navigazione o di singoli waypoint con un semplice click del mouse.

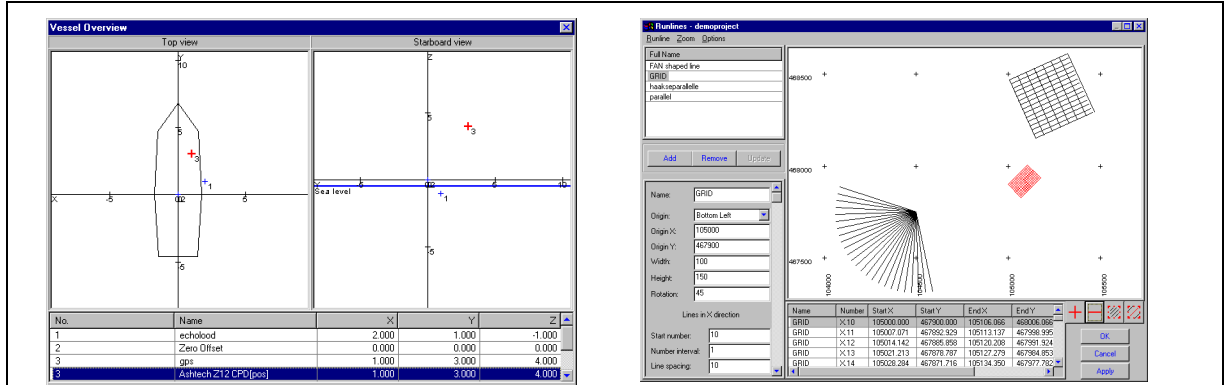
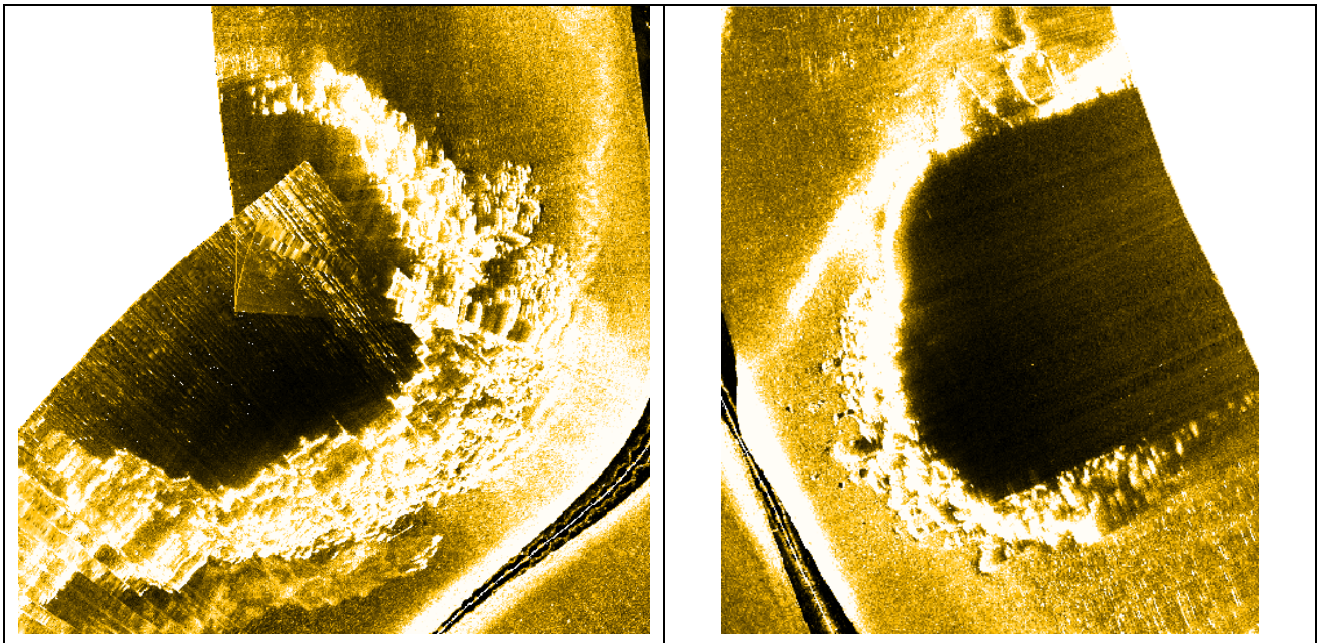


Fig. 8 - Configurazione geometrica della imbarcazione, offset strumentali e rotte di navigazione.

### **Risultati Indagine morfologica SSS**

Come detto la finalità dell'indagine Side Scan Sonar eseguita era quella di mappare il piede delle due scogliere poste a difesa delle due testate.

L'imboccatura portuale è caratterizzata dalla presenza di sedimenti sabbiosi. sui quali è stato possibile rilevare chiaramente il piede della scogliera.



*Fig.9 - Immagini SSS relative al piede delle scogliere poste a protezione del faro verde e del faro rosso*

L'ubicazione esatta del piede della scogliera è risultato molto utile per programmare le linee da rilevare con il SBP in modo da verificare la profondità di posa dei massi e l'eventuale insabbiamento degli stessi

## Risultati Indagine Geofisica SBP

L'indagine geofisica superficiale Sub Bottom Profiler e morfologica Side Scan Sonar ha fornito un'ottima qualità del dato dando una buona visione sia dell'assetto litostratigrafico che morfologico al piede della coronella e un discreto dettaglio delle anomalie/target riscontrati.

Essendo lo scopo del lavoro l'identificazione di eventuali target emersi e semisepolti al di sotto del fondale attuale ed al piede della coronella, si è cercato di ottenere la migliore risoluzione dal sistema SBP nei primi metri della penetrazione del segnale, o almeno fino al primo riflettore sismico con chiare caratteristiche erosive che identifica l'ultima fase deposizionale.

Purtroppo la presenza di materiale grossolano come ghiaia e pietrisco riscontrato al piede della coronella ha limitato molto la penetrazione della sorgente acustica emessa dallo strumento impedendo così una migliore definizione dei target.

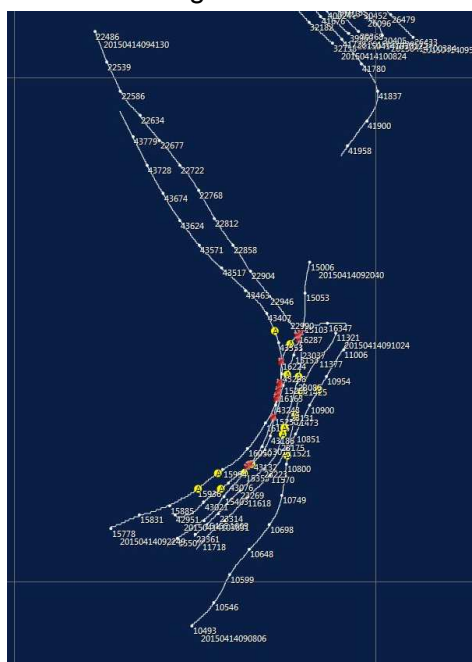
In base alla forma e alla risposta acustica si classificano i target come :

1. Target di origine sedimentaria (paleodune / paleoriviera / paleocanali);
2. Target di origine antropica (massi di scogliera)

Definendo target sedimentari i disturbi/anomalie acustiche nella geometria del deposito sedimentario dovuti a fenomeni di compattazione o per modifiche locali delle condizioni deposizionali; mentre target antropici quelle anomalie acustiche che mostrano una geometria ben marcata e definita tale da interrompere bruscamente le facies deposizionali.

Di seguito alcuni esempi dell'indagine Sub Bottom Profiler su coronella faro rosso:

Fig.10 – Schema Navigazione Coronella Faro Rosso



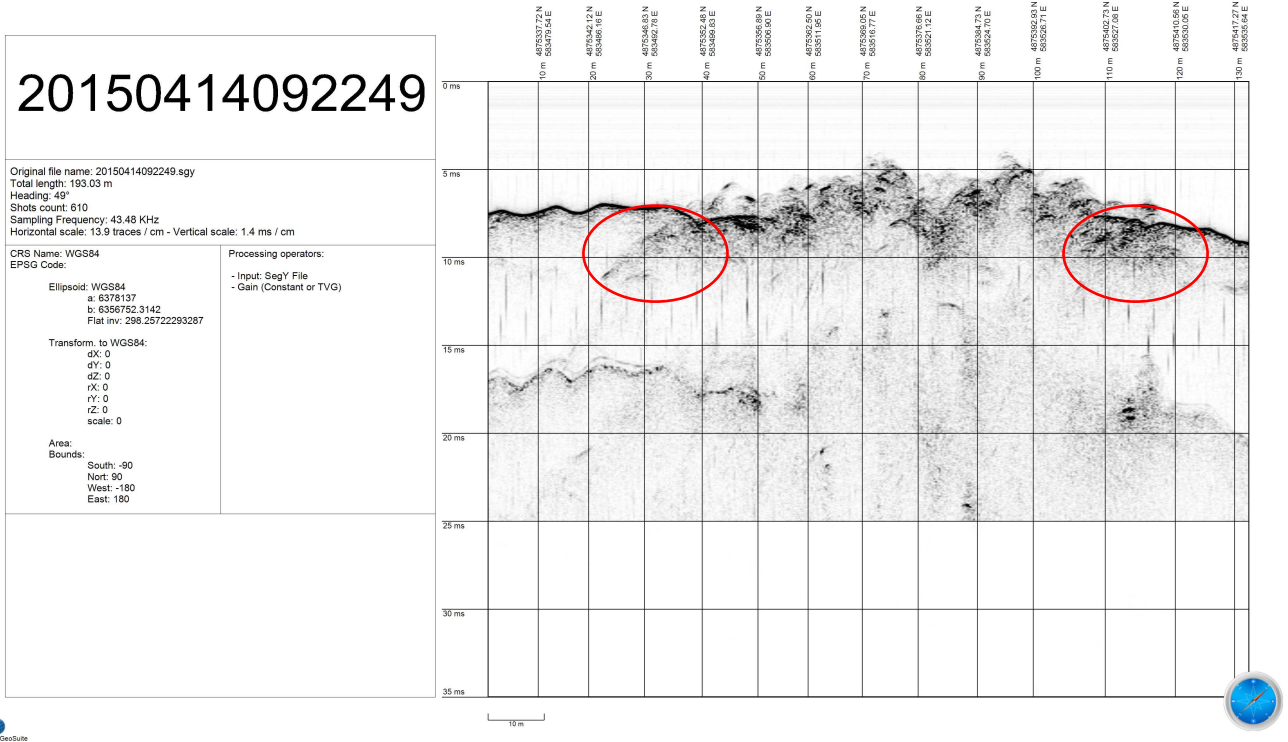


Fig. 11 – Linea SBP 2249

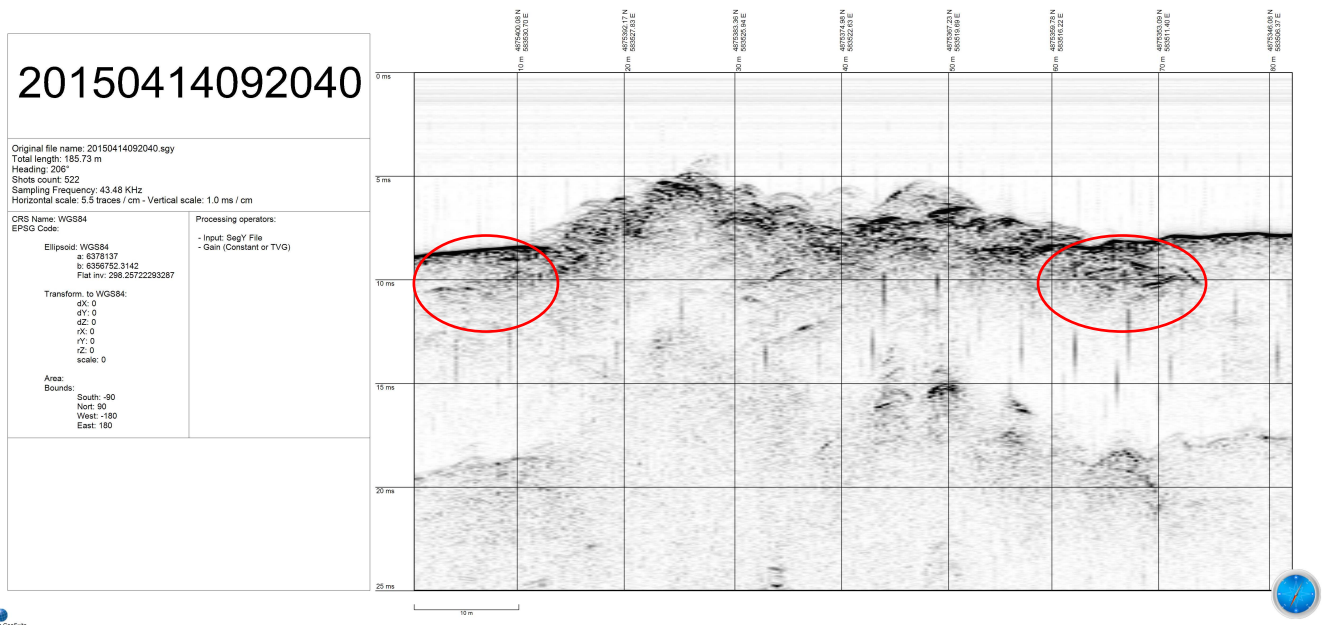


Fig. 12 – Linea SBP 2040

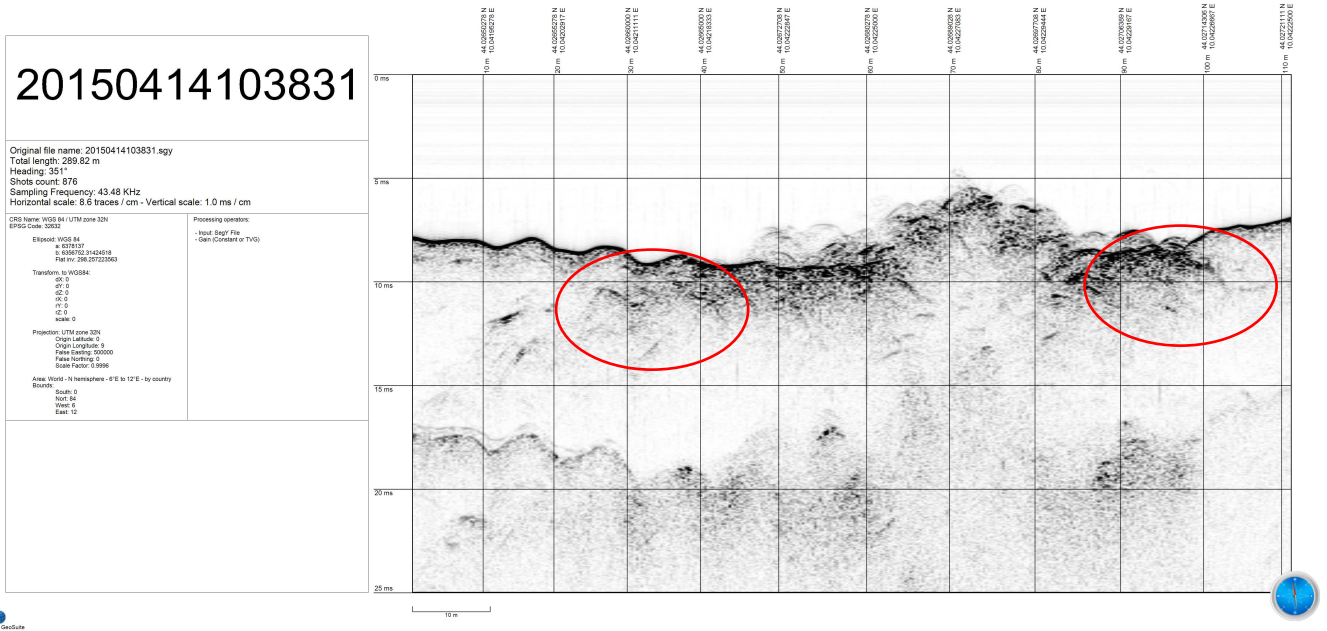


Fig. 13 – Linea SBP 3831

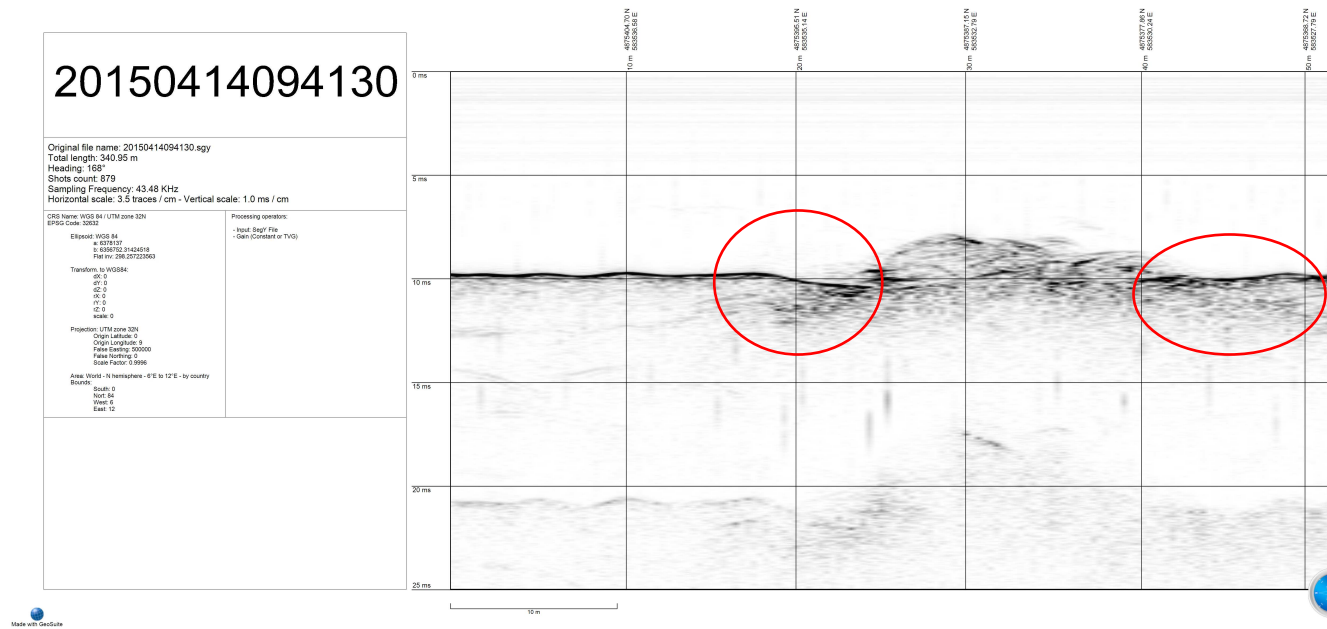


Fig. 14 - Linea SBP 4130

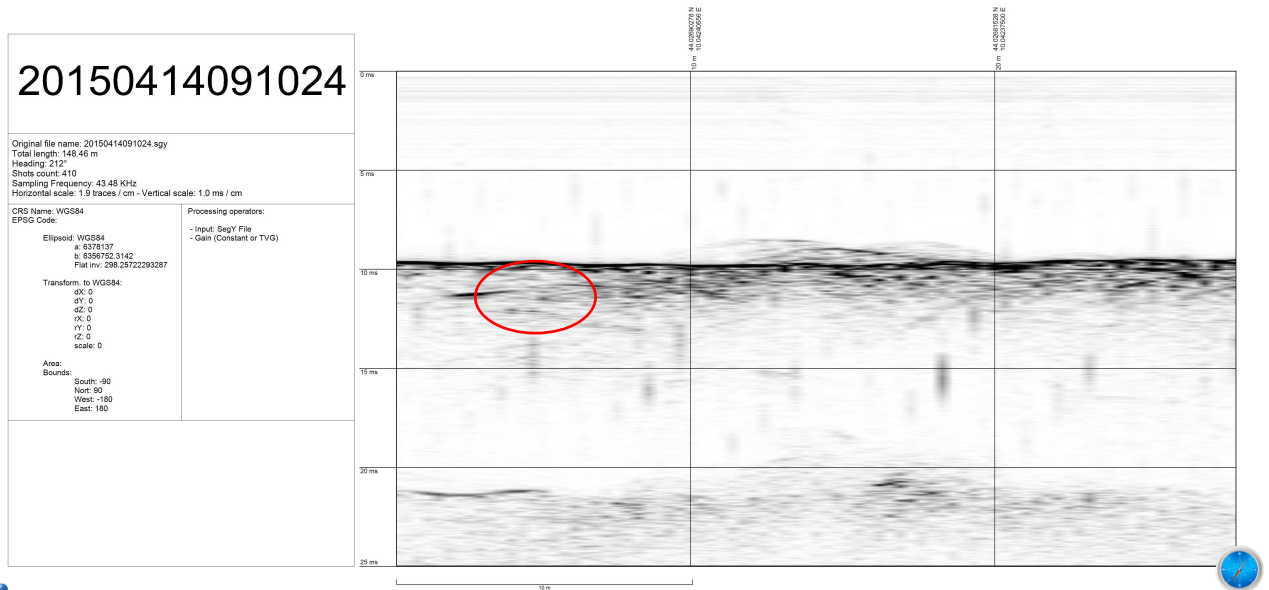


Fig. 15 – Linea SBP 1024

Elenco dei principali target : (Faro Rosso )

TARGET	Coord. N	Coord. E	Interpretazione
2249	4875343.07	583487.93	A masso scogliera
	4875350.59	583497.33	A' masso scogliera
2040	4875409.63	583529.32	B masso scogliera
	4875412.43	583531.14	B' masso scogliera
3831	4875406.27	583532.55	C masso scogliera
	4875397.91	583529.91	C' masso scogliera
4130	4875355.12	583513.38	D masso scogliera
	4875350.75	583509.87	D' masso scogliera
1024	4875345.56	583502.04	E masso scogliera
	4875366.02	583521.33	E' masso scogliera
3831	4875414.21	583525.33	F masso scogliera
	4875418.51	583523.71	F' masso scogliera
4130	4875400.30	583535.97	G masso scogliera
	4875395.20	583534.92	G' masso scogliera
1024	4875372.59	583528.86	H masso scogliera
	4875366.40	583527.00	H' masso scogliera
1024	4875394.31	583538.49	I masso scogliera
	4875389.97	583536.65	I' masso scogliera
1024	4875378.83	583534.01	L masso scogliera
	4875373.10	583532.86	L' masso scogliera

Di seguito alcuni esempi immagini Sub Bottom Profiler che individuano i target su coronella Faro Verde.

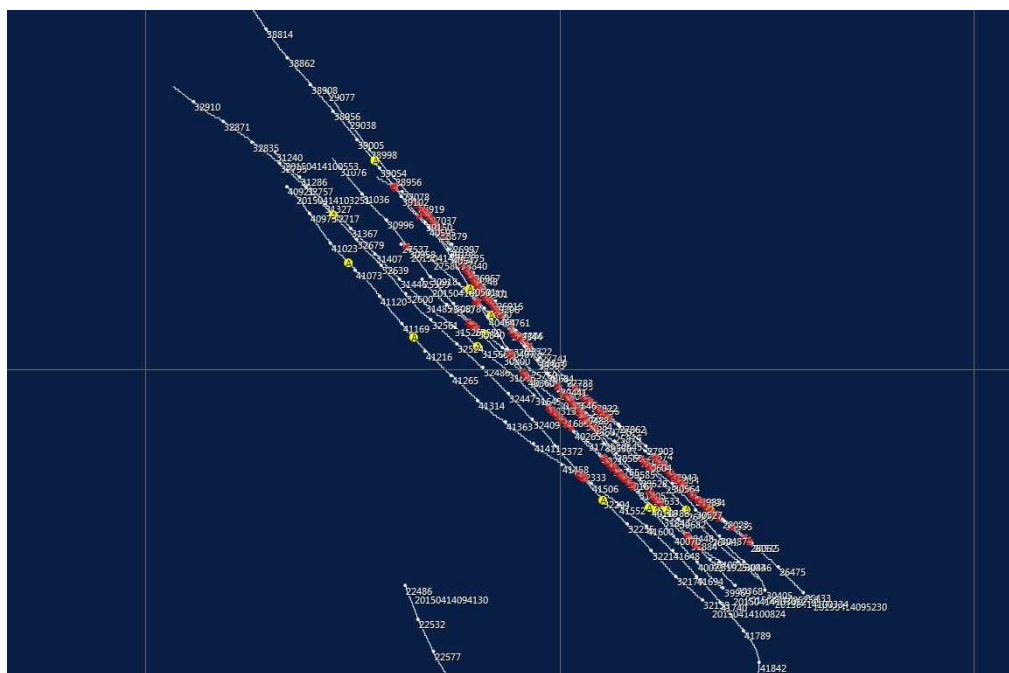


Fig. 16 - Schema Navigazione coronella Faro Verde

Elenco principali target:

TARGET	Coord. N	Coord. E	Interpretazione
5535	4875627.24	583509.94	1 masso scogliera
	4875656.73	583475.28	2 masso scogliera
2426	4875659.50	583475.03	3 masso scogliera
	4875644.23	583487.46	4 masso scogliera
5011	4875650.21	583472.47	5 masso scogliera
	4875641.42	583484.61	6 masso scogliera
	4875632.61	583495.96	7 masso scogliera
0334	4875650.17	583469.36	8 masso scogliera
	4875634.36	583488.03	9 masso scogliera
0553	4875648.27	583465.37	10 masso scogliera
	4875628.82	583488.55	11 masso scogliera



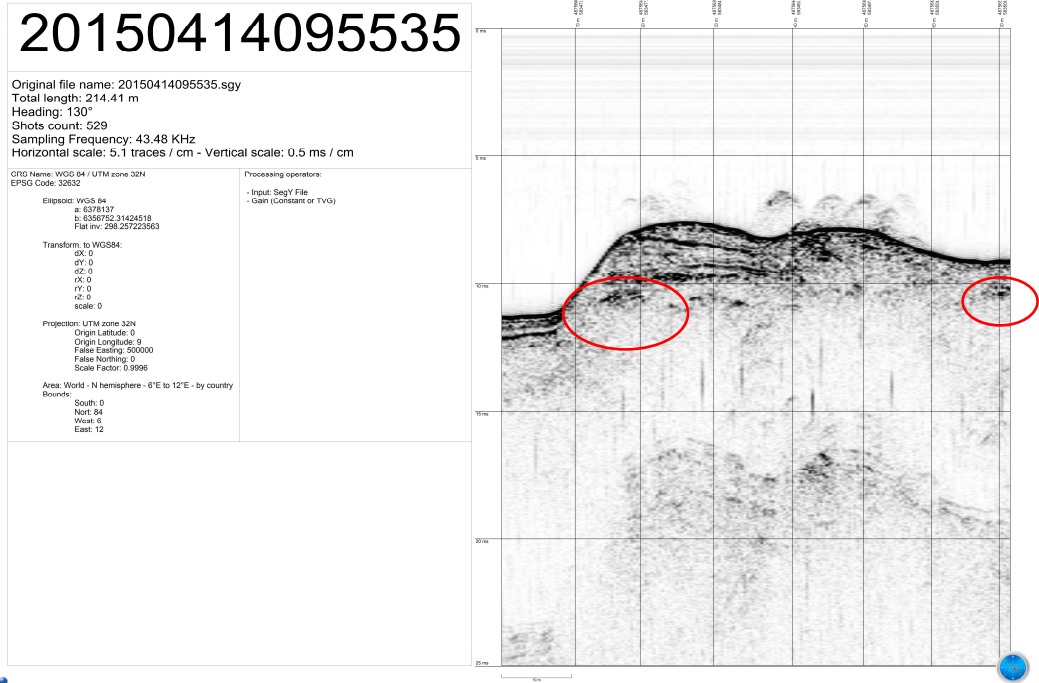



Fig. 17 – Linea SBP 5535

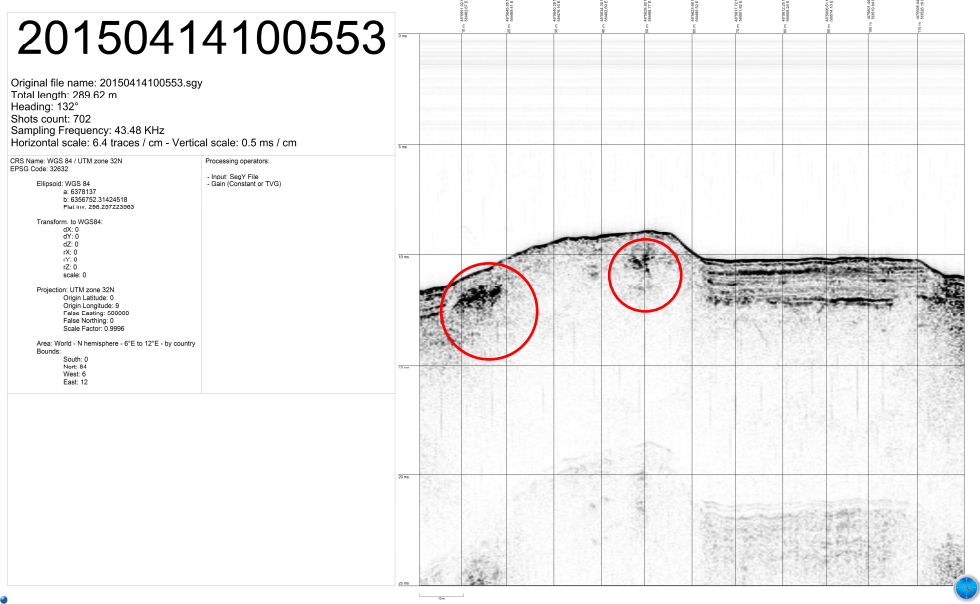


Fig. 18 – Linea SBP 0553

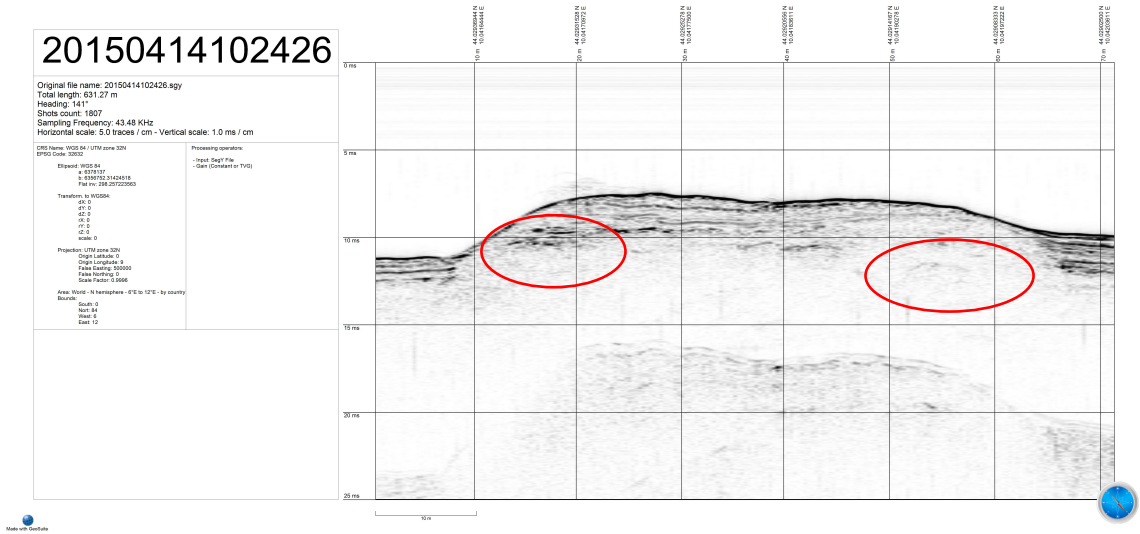


Fig. 19 – Linea SBP 2426



Fig. 20 – Linea SBP 5011



Fig. 21 – Linea SBP 0334

## **Conclusioni**

L'indagine geofisica Sub Bottom Profiler e morfologica side scan sonar ha permesso di avere le prime informazioni sulla morfologia del fondale e del piede della coronella utili alla prossima progettazione delle opere marittime previste.

I risultati evidenziano una buona regolarità del piede della coronella con tratti a pendenza più ripidi, testimonianza della buona tenuta dei materiali utilizzati, alternati a tratti più disagiati dove si presentano leggeri frammenti del materiale costituente la coronella stessa, con spargimenti areali del materiale fino anche piuttosto abbondanti.

L'indagine Morfologica Side Scan Sonar ha permesso di definire la pianta del piede della scogliera, informazione utile alla pianificazione del rilievo SBP.

L'indagine Geofisica ad alta risoluzione Sub Bottom Profiler ha messo in evidenza come su entrambi i lati della imboccatura alcuni target sepolti e semiseolti che rappresentano molto probabilmente alcuni massi facenti parte ancora del piede della coronella.

Quasi tutti i target mappati e riportati in cartografia sono collocati tra i 12msec. e 14 msec, equivalenti a circa 9-10 metri di profondità del attuale fondale.