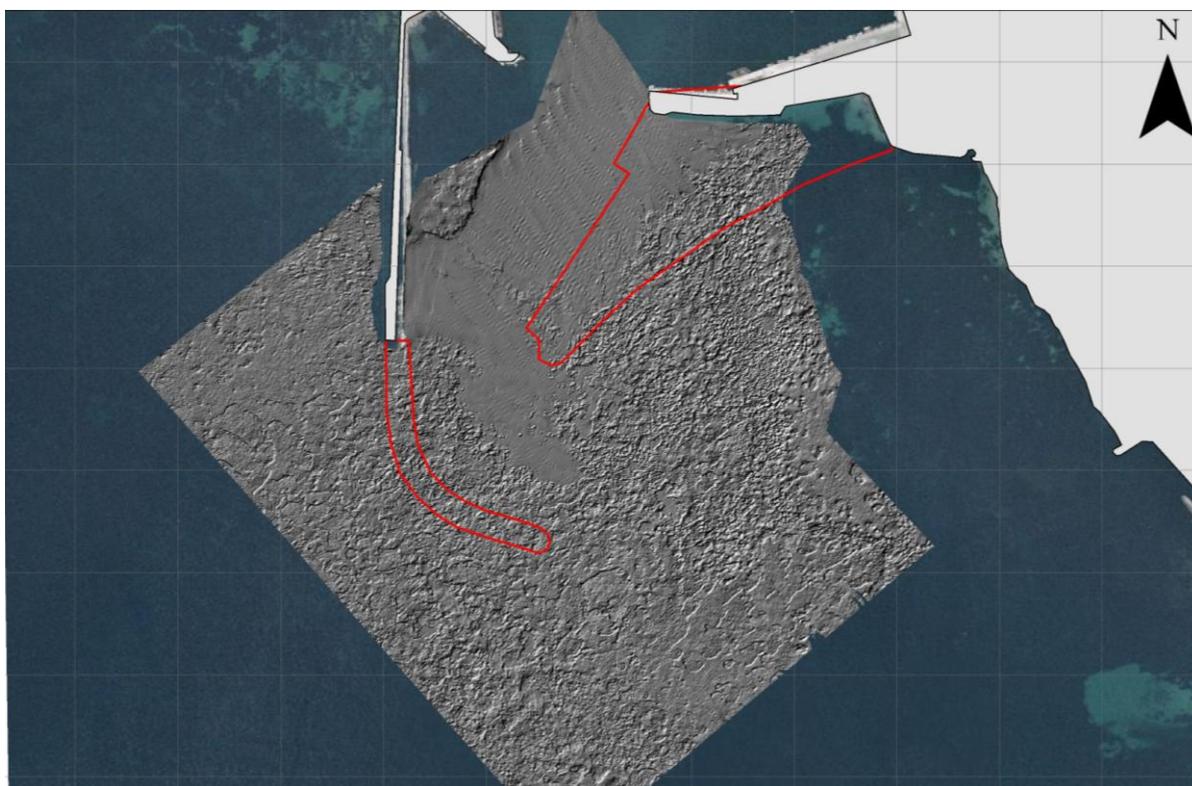




Indagini strumentali, mediante sistemi sonar ad alta risoluzione (Multibeam, Side Scan Sonar e Sub-Bottom Profiler), finalizzate all'individuazione di eventuali emergenze di carattere antropico di possibile interesse culturale sui fondali antistanti il porto di Marsala (Trapani).



Gennaio 2013

INDICE:

Introduzione	1
1. Metodi.....	2
1.1 Area di studio	2
1.2 Rilievi acustici	4
1.3 Rilievi batimetrici.....	6
1.4 Rilievi morfometrici.....	12
1.5 Rilievi sismo acustici	15
2. Risultati e considerazioni finali	18
Allegati	23

Introduzione

In data 12/12/2012 Il comune di Marsala ha data incarico alla Biosurvey srl, *spin-off* dell'Università degli Studi di Palermo, di effettuare indagini geofisiche mediante sistemi acustici ad alta risoluzione. L'obiettivo del presente lavoro è di individuare elementi di natura antropica, eventualmente presenti nei fondali direttamente interessati dalle attività in progetto, che possano essere successivamente associati ad emergenze di carattere archeologico/culturale. Le opere in progetto consistono, sinteticamente, nella realizzazione di: una barriera di sopraflutto, che si estende per circa 426m con una larghezza di circa 38m ed una superficie totale di 15.741m²; ed una barriera di sottoflutto con una estensione di 600m, una larghezza massima di 200m ed una superficie complessiva di 85.250m². Al fine di raggiungere gli obiettivi oggetto del presente rapporto sono stati utilizzati, nelle more delle caratteristiche dei fondali investigati, i seguenti sistemi acustici ad alta risoluzione:

- Multibeam Echosounder (MB-SSS) per le indagini batimetriche;
- Side Scan Sonar (SSS) per le indagini morfologiche;
- Sub-Bottom Profiler (SBP) per i rilievi sismo acustici.

Nel presente rapporto e nella cartografia allegata vengono riportati i risultati delle indagini condotte.

1. Metodi

1.1 Area di studio

Le indagini condotte (Figure 1.1; 1.2) hanno interessato il tratto di mare antistante l'imboccatura dall'attuale porto del comune di Marsala (Trapani). I fondali si presentano di natura essenzialmente rocciosa, con una densa prateria di *P. oceanica* che li colonizza in gran parte. I fondali interni all'esistente opera portuale, invece, sono essenzialmente di natura sabbiosa/limosa.

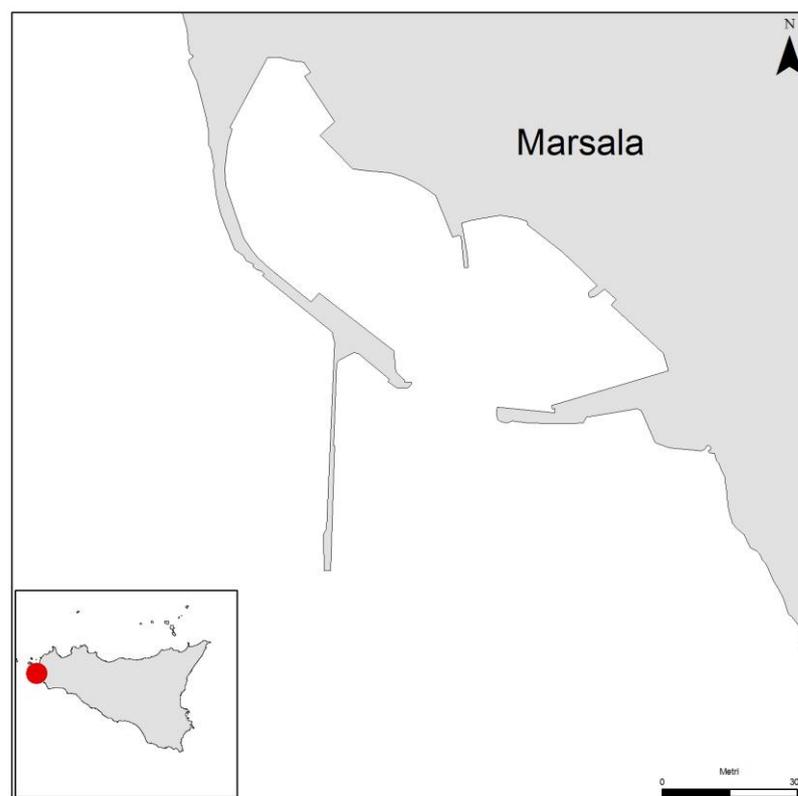


Figura 1.1 – Area di studio.

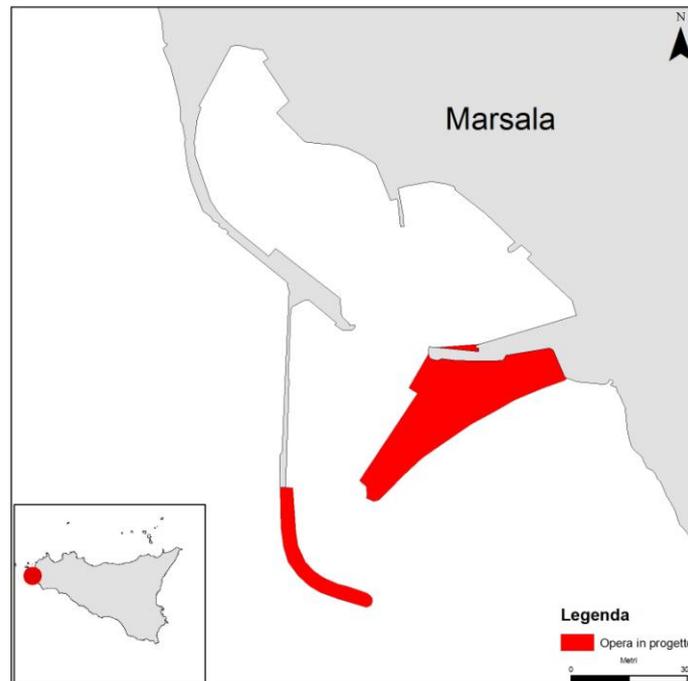


Figura 1.2 – Area interessata dalle indagini finalizzate all’individuazione di elementi di valenza antropica/culturale, in rosso le opere in progetto.

1.2 Rilievi acustici

I rilievi acustici ad alta risoluzione sono stati effettuati nel tratto di mare antistante l'imboccatura del porto, con particolare attenzione rivolta ai fondali direttamente interessati dalle opere in progetto.

A tal fine è stata utilizzata un'imbarcazione locale, fornita dal committente, su cui è stata installata la strumentazione necessaria allo svolgimento delle attività in oggetto (Figure 1.3; 1.4).



Figura 1.3 – Parte della strumentazione installata nell'imbarcazione utilizzata.



Figura 1.4 – Sistema di fissaggio del sensore in paratia.

In particolare, la strumentazione acustica impiegata durante i rilievi comprende:

- Sistema Multibeam RESON Seabat 8125, operante alla frequenza di 455 kHz;
- Side Scan Sonar Klein 3900;
- Sub-Bottom Profiler INNOMAR SES-2000 Compact;
- Sistema TSS-MAHRS girobussola/sensore di moto tridimensionale (MRU) integrato;
- Sonda per il profilo della velocità nel suono nell'acqua, RESON SVP/15;
- Sonda per la velocità del suono al trasduttore;
- Sistema di posizionamento RTK Topcon GRS-1;
- Software per rilievi idrografici RESON PDS 2000.

1.3 Rilievi batimetrici

Il sistema acustico Multibeam utilizzato (Figura 1.5; Tabella 1.1) permette di raccogliere precise informazioni e misure sulla batimetria del fondale, attraverso l'emissione di un fascio acustico avente ampiezza di 120° ed una risoluzione verticale di 6mm.

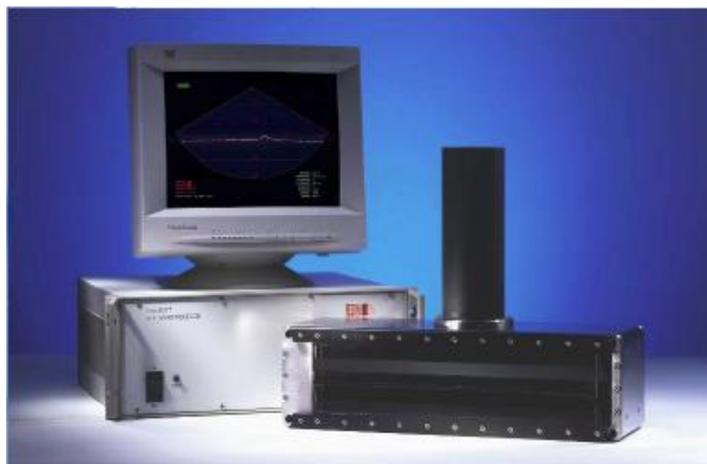


Figura 1.5 – Sistema integrato MultiBeam-SSS RESON Seabat 8125.

Tabella 1.1 – Caratteristiche del sistema MB-SSS RESON 8125.

Frequenza	455 Khz
Risoluzione in profondità	6 mm
Copertura spazzata	120°
Operatività massima	120 m
Numero di Beam	240
Apertura anteriore del singolo Beam	1°
Apertura laterale del singolo Beam	0.5°

Il trasduttore è stato fissato sulla murata dell'imbarcazione mediante palo in acciaio; tale soluzione assicura una perfetta stabilità del sensore limitando le possibilità di errore nella fase di acquisizione.

Le correzioni necessarie per compensare i movimenti dell'imbarcazione rispetto al fondale e la corretta direzione rispetto al nord geografico, sono affidate al sensore di moto/girobussola TSS-Mahrs (Figura 1.6). Tale sistema, dotato di una serie di

accelerometri, garantisce un'elevata accuratezza nel fornire indicazioni circa la posizione relativa del mezzo permettendo una correzione in tempo reale dei dati batimetrici acquisiti.



Figura 1.6 – Sensore di moto/Girobussola TSS-Mahrs.

Al fine di una ottimale acquisizione dei dati, è stato effettuato un profilo della velocità del suono. In particolare la raccolta dei dati relativi alla velocità del suono è stata affidata a due differenti sonde: una fissa al trasduttore del sistema MB-SSS, che in tempo reale raccoglie informazioni relative al primo strato d'acqua; ed una seconda sonda mobile, RESON SVP/15 (Figura 1.7), che è stata utilizzata nell'area d'indagine al fine di ottenere un profilo della velocità del suono relativo a tutta la colonna d'acqua.



Figura 1.7 – Sonda di Velocità del suono RESON SVP/15.

Il posizionamento è stato affidato ad un sistema satellitare RTK Topcon GRS-1 (Figura 1.8). Tale sistema riceve contemporaneamente segnali sia dalla costellazione satellitare americana GPS, che dalla costellazione russa GLONASS. Tali informazioni vengono intergrate con le correzioni inviate dalla rete di stazioni permanenti NetGEO, permettendo così di ottenere precisioni sub-centimetriche.



Figura 1.8 - Ricevitore Topcon GRS-1.

Tutti i sistemi sopra elencati sono stati interfacciati con il software di navigazione/gestione RESON PDS 2000, che permette in tempo reale la visualizzazione, la georeferenziazione e la correzione dei dati acquisiti. L'acquisizione dei dati e la successiva restituzione cartografica sono state effettuate nel sistema di coordinate WGS84, con proiezione nel sistema UTM secondo i parametri della Tabella 1.2.

Tabella 1.2 – Parametri di acquisizione e restituzione cartografica.

Datum	WGS84
Vertical Datum	MSL
Emisfero	Nord
Proiezione	UTM Zona 33
Origine	Lat = 0°; long = 15° Est; Falso Est = 500000; Nord = 0
Fattore di scala	0.9996

Preliminarmente alla fase di acquisizione dei dati sono state effettuate le operazioni di calibrazione della strumentazione, in particolare del sensore di moto e del sistema MB-SSS.

Il sensore di assetto è stato calibrato mediante apposito software (DMS View) per il controllo delle misure degli angoli di rollio e beccheggio.

La calibrazione del sistema Multibeam è stata preceduta dal rilevamento della velocità del suono lungo la colonna d'acqua. A tale scopo nell'area d'indagine, in una porzione di fondale avente idonee caratteristiche per le suddette operazioni, sono state effettuate delle "strisciate" preliminari per raccogliere le informazioni utili alla corretta calibrazione dello strumento. Dall'analisi dei dati acquisiti sono stati calcolati i valori di correzione per:

- *pitch* (errore verticale del sensore secondo la direzione dell'imbarcazione);
- *roll* (errore verticale del sensore secondo la perpendicolare alla direzione dell'imbarcazione);
- *heading* (correzione dell'allineamento del trasduttore con l'asse dell'imbarcazione).



Dopo la fase di calibrazione dello strumento, e dopo aver effettuato le dovute correzioni, è iniziata la fase di acquisizione dei dati nell'area d'indagine.

Al termine delle operazioni di acquisizione i dati sono stati controllati direttamente a bordo, prima della demobilizzazione della strumentazione, e salvati su supporto digitale per le successive fasi di elaborazione da effettuare in laboratorio. La procedura di elaborazione dei dati è stata poi eseguita tramite fasi successive così definite:

- *editing* dei valori batimetrici e correzione di eventuali errori di acquisizione (Figura 1.9);
- *editing* delle linee di navigazione per eventuali problemi connessi a salti del sistema di posizionamento o ad errori del sistema Multibeam (Figura 1.10);
- correzione dell'escursione di marea durante il periodo del rilievo;
- controllo dei filtri applicati ed eventuale uso di altri filtri;
- creazione del modello digitale del terreno;
- tracciamento delle isobate ad intervalli regolari di profondità;
- creazione di modelli tridimensionali del fondo.

Infine, i dati raccolti sono stati trattati in ambiente GIS (ESRI ArcGis 9.3) per la fase di restituzione e d'interpretazione cartografica.

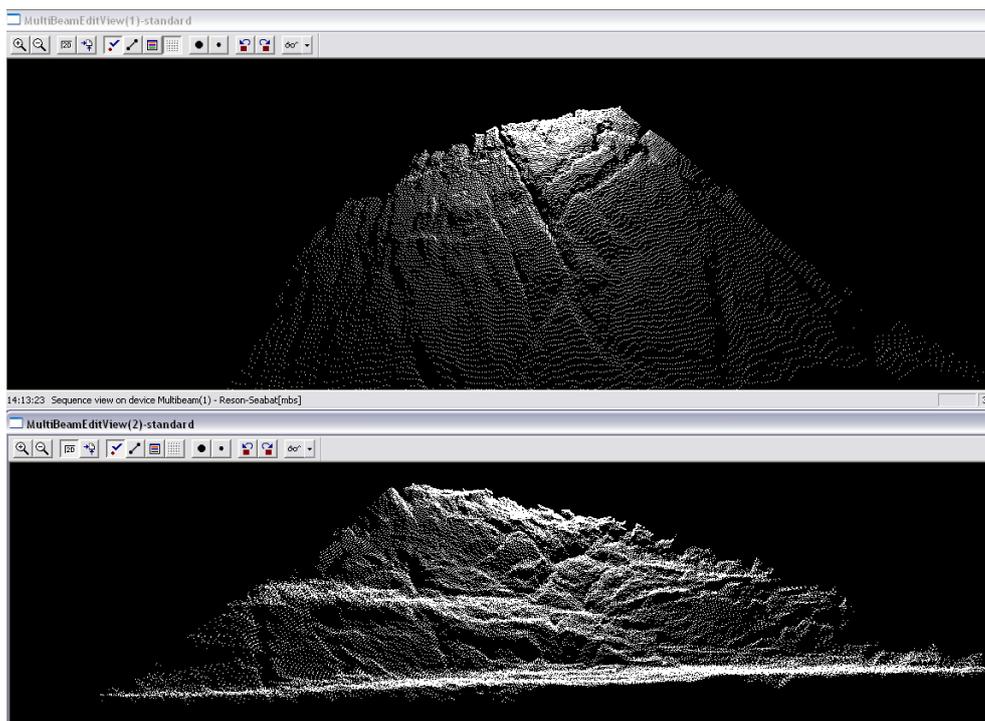


Figura 1.9 - Esempio di *editing* e correzione dei dati acquisiti.

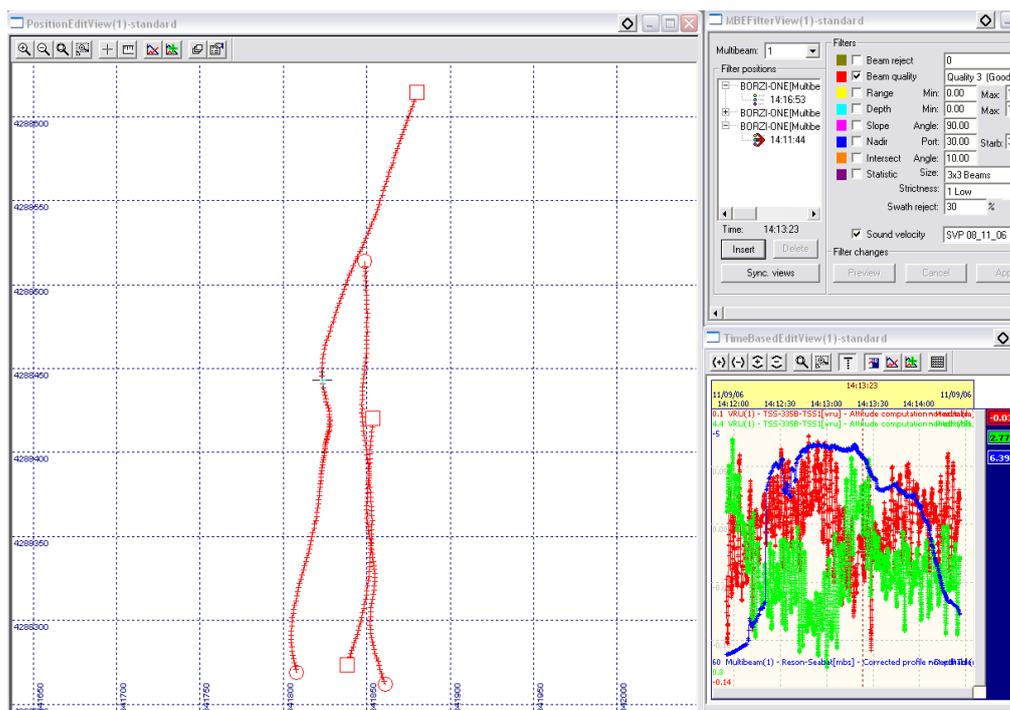


Figura 1.10 - Esempio di *editing* delle rotte, controllo filtri e parametri sensore di moto.

1.4 Rilievi morfometrici

I rilievi morfometrici sono stati effettuati, mediante un sistema Side Scan Sonar ad alta frequenza, nello specchio acqueo antistante il porto di Marsala (Trapani) all'interno di una superficie complessiva di 75.4ha (Figura 1.11), secondo quanto indicato nelle prescrizioni contrattuali.

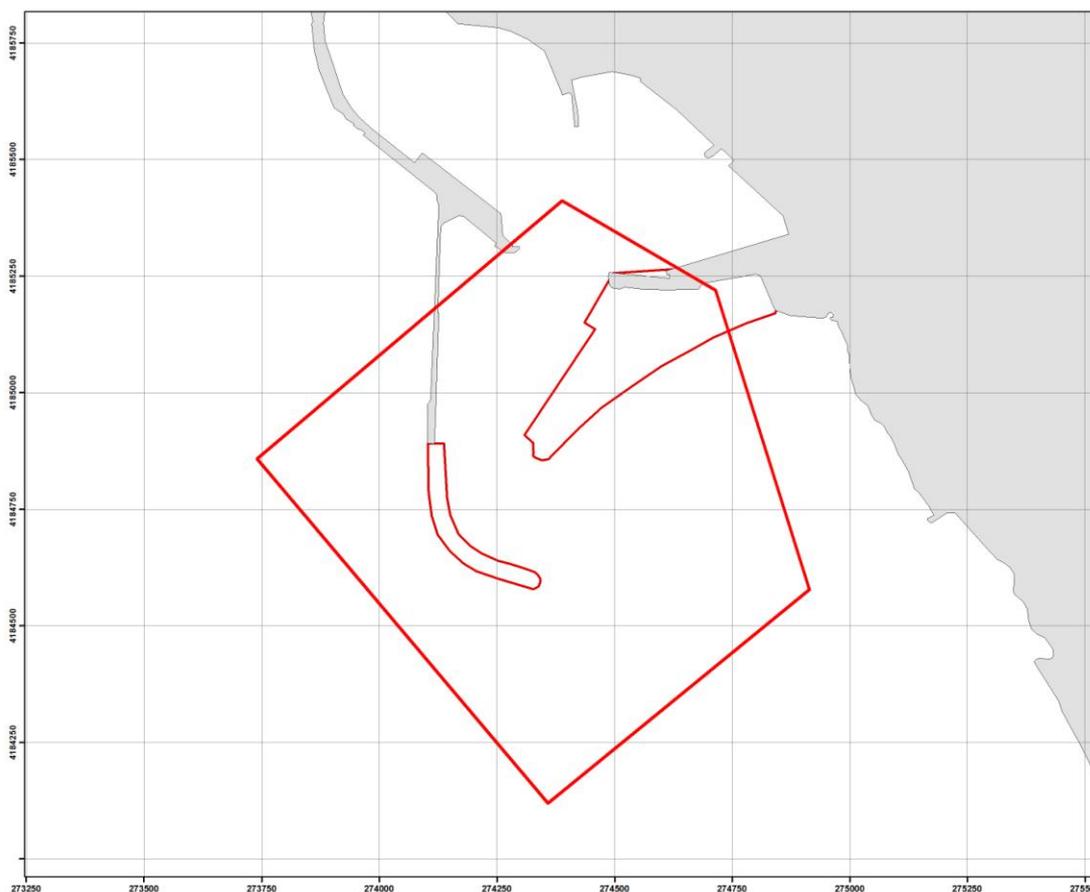


Figura 1.11 - Area interessata dai rilievi morfometrici effettuati mediante Side Scan Sonar.

In particolare durante i rilievi è stata impiegata la seguente strumentazione:

- ✓ Sistema Side Scan Sonar Klein 3900;
- ✓ Sistema di posizionamento RTK Topcon GRS-1;
- ✓ Software di acquisizione SONAR PRO III;
- ✓ Software per rilievi idrografici RESON PDS 2000.

Il Klein 3900 è un sonar a scansione laterale (Side Scan Sonar) equipaggiato con due trasduttori ad alta sensibilità e un sistema di amplificazione del segnale, che permette di minimizzare il rumore di fondo garantendo l'acquisizione di dati ad alta qualità e con elevata risoluzione lungo l'intera spazzata. Il sistema è composto da un "Tow Fish" (Figura 1.12) e da una "Unità Centrale" (TPU). Il software di gestione e controllo SONAR PRO permette, oltre l'acquisizione e la correzione dei dati sonar, anche di impostare e visualizzare la navigazione, lo stato di funzionamento dei sensori e degli strumenti interfacciati al Side Scan Sonar (Tabella 1.3).



Figura 1.12 – "Tow Fish" del sistema Side Scan Sonar Klein 3900.

Tabella 1.3 - Caratteristiche tecniche del Klein 3900.

Frequenze: 900/445 kHz
Ampiezza del range: 450 m -100 kHz; 150 m - 500 kHz.
Risoluzione trasversale: 3.75 cm -100 kHz, 1.875 cm - 500 kHz (across track)
Risoluzione longitudinale: 20 cm (along track)
Inclusi nel towfish standard: Sensori di rollio (roll), beccheggio (pitch) e bussola (heading).



Il posizionamento del Side Scan Sonar è stato affidato ad un sistema satellitare RTK Topcon GRS-1. Tale sistema riceve contemporaneamente segnali sia dalla costellazione satellitare americana GPS, che dalla costellazione russa GLONASS. Tali informazioni vengono integrate con le correzioni inviate dalla rete di stazioni permanenti NetGEO permettendo, così, di ottenere precisioni sub-centimetriche. Tutti i sistemi sopra elencati sono stati interfacciati con il software di navigazione/gestione RESON PDS 2000, che permette la visualizzazione, la georeferenziazione e la correzione dei dati acquisiti in tempo reale. L'acquisizione dei dati e la successiva restituzione cartografica sono state effettuate nel sistema di coordinate WGS84, con proiezione nel sistema UTM secondo i parametri della Tabella 1.2

I rilievi morfo-batimetrici sono stati condotti mediante rotte parallele, aventi tra loro una distanza media di 90m a fronte di un *range* utilizzato nel sistema SSS di 50/75m in alta risoluzione (900 kHz). Tale metodologia di acquisizione ha permesso di ottenere una copertura totale dell'area interessata dalle opere in progetto consentendo, inoltre, di avere una risoluzione adeguata al riconoscimento della composizione e della morfologia dei fondali.

I dati acquisiti sono stati corretti per la velocità di acquisizione e quindi esportati in formato Geotiff per essere importati su piattaforma GIS, che ne permette la visualizzazione ed il posizionamento spaziale, quindi la loro interpretazione.

1.5 Rilievi sismo acustici

Al fine di poter individuare eventuali elementi di carattere antropico, che possano essere successivamente associati ad emergenze di tipo archeologico/culturale, è stato ritenuto opportuno utilizzare un sistema sismo-acustico ad alta risoluzione come il Sub-Bottom Profiler parametrico (SBP). In particolare nel presente lavoro è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- ✓ Sistema Sub-Bottom Profiler INNOMAR SES-2000 Compact (Figura 1.13);
- ✓ Sistema di posizionamento Satellitare RTK Topcon GRS-1 a doppia frequenza;
- ✓ Sensore di moto/girobussola TSS-Mahrs;
- ✓ Sonda per la misura della velocità del suono RESON SVP/15;
- ✓ Software Innomar ISE.



Figura 1.13 – Sub-Bottom Profiler Innomar SES-2000 Compact.

Il sistema sismo-acustico parametrico “Innomar SES 2000 Compact” permette di raccogliere precise informazioni circa la stratigrafia e le strutture presenti al di sotto dell’interfaccia acqua-sedimento consentendo, così, l’individuazione degli eventuali *target* presenti.

Il principio di funzionamento del Sub-Bottom parametrico si basa sulla trasmissione simultanea di due segnali differenti: uno ad alta frequenza (100kHz) definito frequenza primaria; ed uno a bassa frequenza (4-15kHz) definito frequenza secondaria. La non lineare interazione del suono con la colonna d'acqua di fronte al trasduttore causa la generazione di una nuova frequenza. Quest'ultima è abbastanza bassa da penetrare nel fondo e fornire precise informazioni sulla composizione dei fondali e su eventuali oggetti presenti. La riflessione della frequenza primaria permette, invece, un'esatta determinazione delle profondità della colonna d'acqua.

L'acquisizione dei dati, completamente digitale, fornisce già durante la fase d'indagine risultati in tempo reale (Figura 1.14).

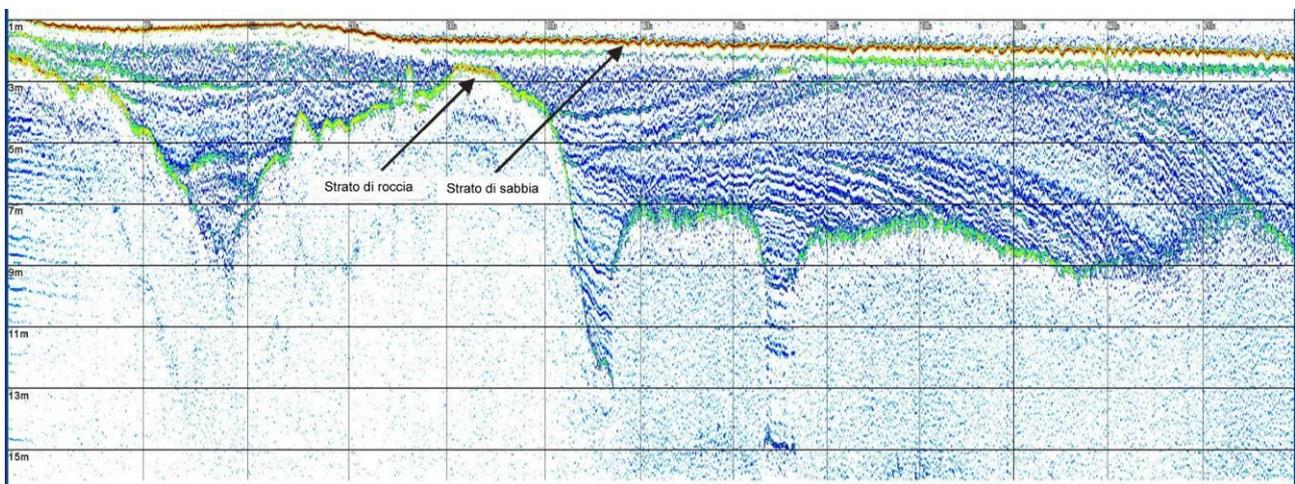


Figura 1.14 - Esempio di profilo ottenuto con Sub-Bottom Innomar SES 2000 Compact.

Attraverso i dati acquisiti è stato possibile ottenere:

- Accurata determinazione della profondità;
- Informazioni sulla morfologia del fondale e delle strutture sottostanti;
- Determinazione dei profili al di sotto del fondale, con profonda penetrazione ed alta risoluzione degli strati;
- Stima delle proprietà dei materiali con segnale multifrequenza;
- Individuazione di oggetti coperti dai sedimenti.



Al fine di un'ottimale acquisizione dei dati sono state raccolte informazioni circa la velocità del suono lungo tutta la colonna d'acqua mediante la sonda RESON SVP/15. È stato inoltre effettuato un controllo del sistema di posizionamento satellitare e sono stati svolti test sulla strumentazione acustica utilizzata.

Dopo la fase di controllo dei sistemi utilizzati, è iniziata la fase di acquisizione dei dati nell'area d'indagine. Tutti i sistemi utilizzati sono stati interfacciati con il software di navigazione RESON PDS 2000, che ha permesso in tempo reale la visualizzazione, la georeferenziazione e la correzione dei dati acquisiti.

In particolare, le acquisizioni strumentali sono state condotte lungo N°20 profili sismo-acustici nell'area interessata dalle due opere in progetto. I profili sono stati realizzati con una spaziatura adeguata alle finalità dell'indagine e nelle more delle caratteristiche dei fondali, garantendo una copertura superiore a quella realmente interessata dalle attività in progetto. Tutti i dati acquisiti sono stati riferiti al sistema di coordinate WGS84, con proiezione nel sistema UTM secondo i parametri della Tabella 1.2.

Al termine delle operazioni di acquisizione i dati sono stati controllati direttamente a bordo, prima della demobilizzazione della strumentazione, e salvati su supporto digitale per le successive fasi di elaborazione da effettuare in laboratorio. La procedura di elaborazione dei dati, condotte con l'ausilio del software ISE, è stata eseguita tramite fasi successive così definite:

- Controllo dei dati acquisiti e correzione di eventuali errori di acquisizione;
- *Editing* delle linee di navigazione per eventuali problemi connessi a salti del sistema di posizionamento;
- Analisi dei profili, definizione dei *layer* e marcatura di eventuali *target* presenti;
- Trattamento mediante piattaforma GIS (Esri ArcGIS 9.3) e restituzione cartografica.

2. Risultati e considerazioni finali

I rilievi batimetrici, condotti nelle aree direttamente interessate dalle impronte del progetto e nelle loro immediate vicinanze, mostrano come le opere ricadano rispettivamente: tra le batimetriche dei -5m e dei -7.5m per la diga di sopraflutto; e dalla linea di costa fino alla batimetrica dei -7.5m per quella di sottoflutto. La cartografia ottenuta, inoltre, evidenzia in dettaglio come i fondali che ospiteranno la diga di sopraflutto siano alquanto articolati e di natura rocciosa, nonché ricoperti in parte da *P. oceanica*. I fondali che verranno occupati dalla diga di sottoflutto, invece, risultano essere in gran parte di natura sabbiosa con ampie zone caratterizzate dalla presenza di emergenze rocciose. Dall'esame delle indagini batimetriche, e dalla loro successiva elaborazione (Figure 2.1; 2.2; 2.3; Tavola 1), non è stato individuato alcun elemento o morfologia ascrivibile a strutture di origine antropica.

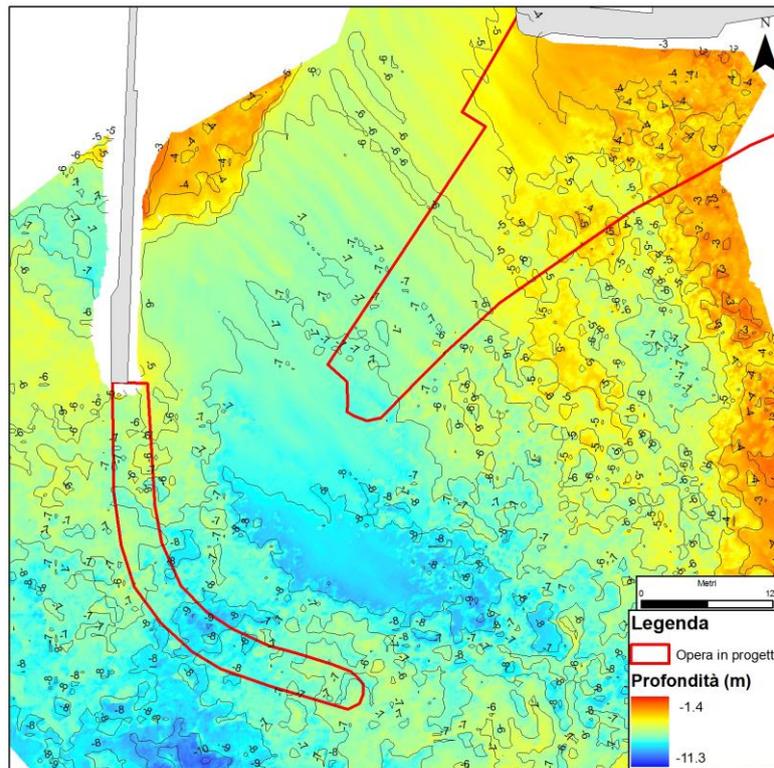


Figura 2.1 - Andamento batimetrico dei fondali investigati.

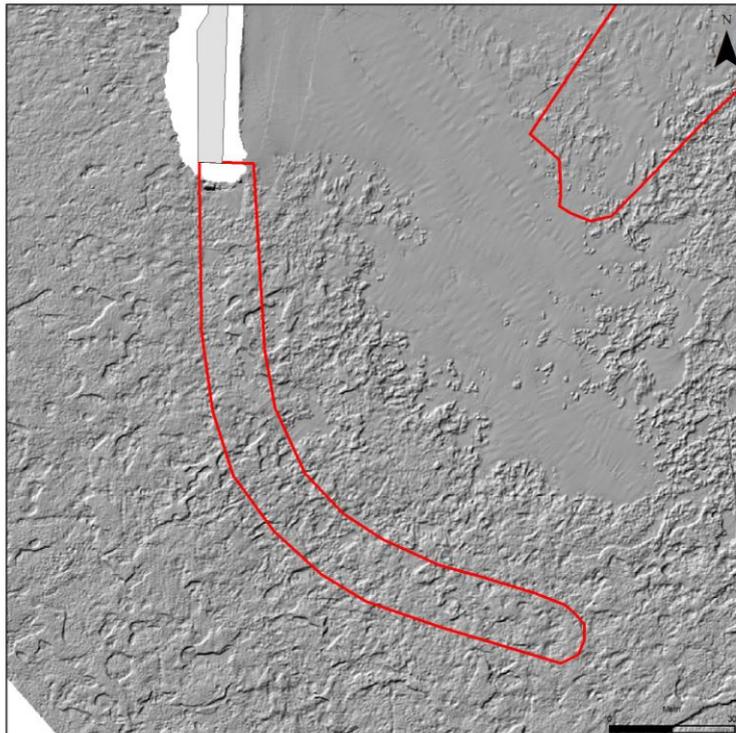


Figura 2.2 – Rilievo batimetrico effettuato mediante sistema Multibeam in corrispondenza del molo di sopraflutto.

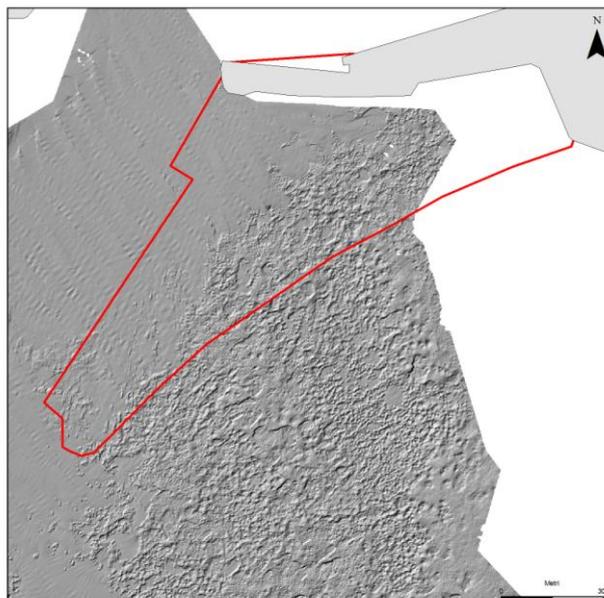


Figura 2.3 - Rilievo batimetrico effettuato mediante sistema Multibeam in corrispondenza del molo di sottoflutto.

I rilievi morfologici, effettuati mediante il sistema Side Scan Sonar, sono stati condotti in corrispondenza delle impronte delle opere in progetto e nelle loro immediate vicinanze, garantendo una copertura completa in relazione alle caratteristiche dei fondali. I dati raccolti non hanno evidenziato alcuna morfologia che possa essere ascrivibile alla categoria dei possibili elementi antropici, e vanno a validare i risultati ottenuti dall'analisi delle indagini batimetriche (Figura 2.4 e Tavola 1).

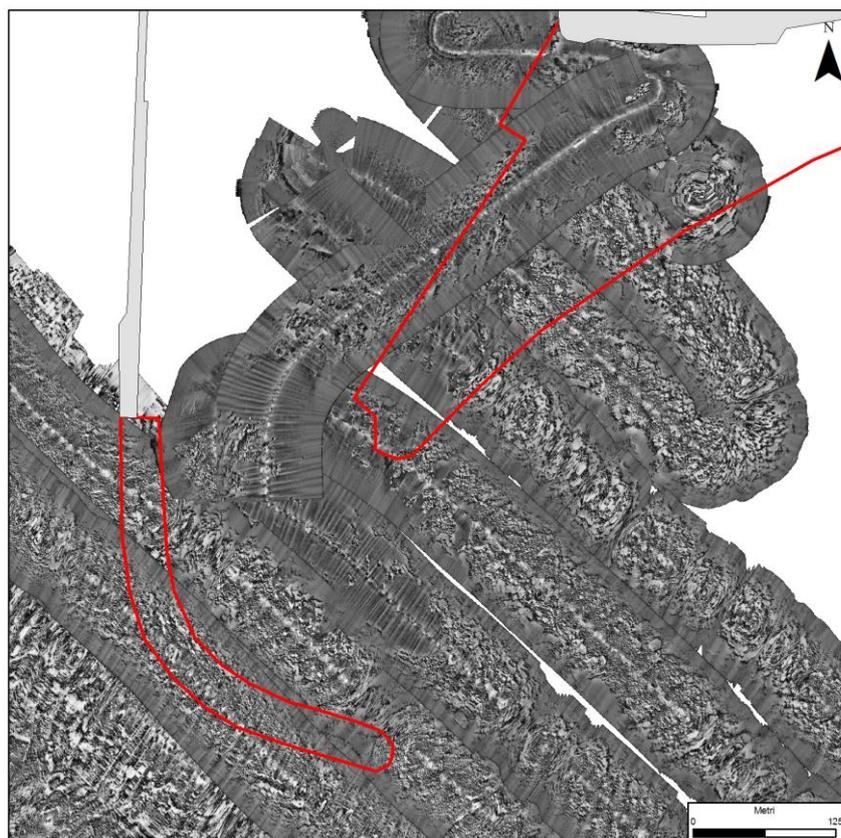


Figura 2.4 – Rilievo morfometrico effettuato mediante sistema Side Scan Sonar.

Infine sono state condotte indagini sismo-acustiche di dettaglio, mediante il sistema Sub-Bottom Profiler, in corrispondenza delle due aree che ospiteranno le opere in progetto. In particolare sono stati effettuati circa 7500m di rilievi sismo-acustici tra le batimetriche dei -0.5m e dei -7.5m (Figure 2.5; 2.6; Tavola 1), nelle more delle caratteristiche dei fondali.

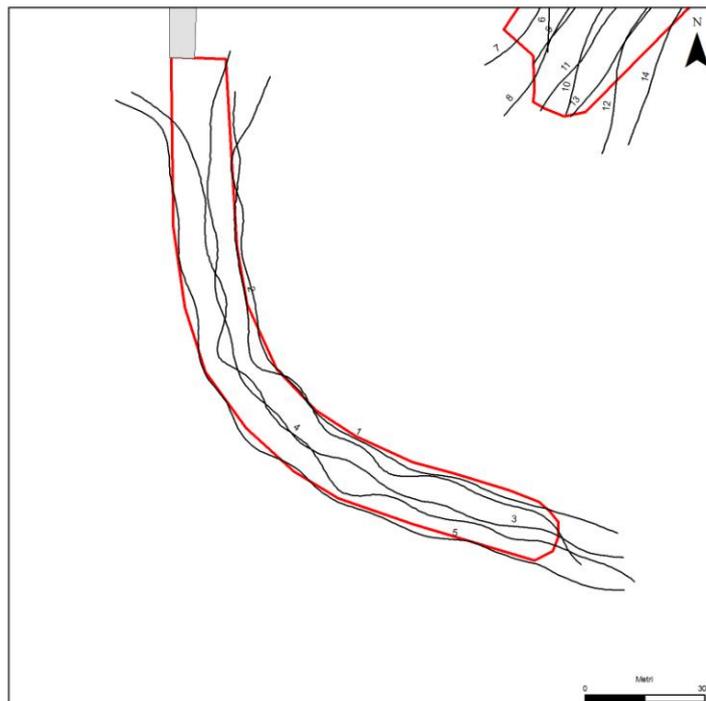


Figura 2.5- Profili sismo-acustici effettuati mediante Sub-Bottom Profiler in corrispondenza del molo di sopraflutto.

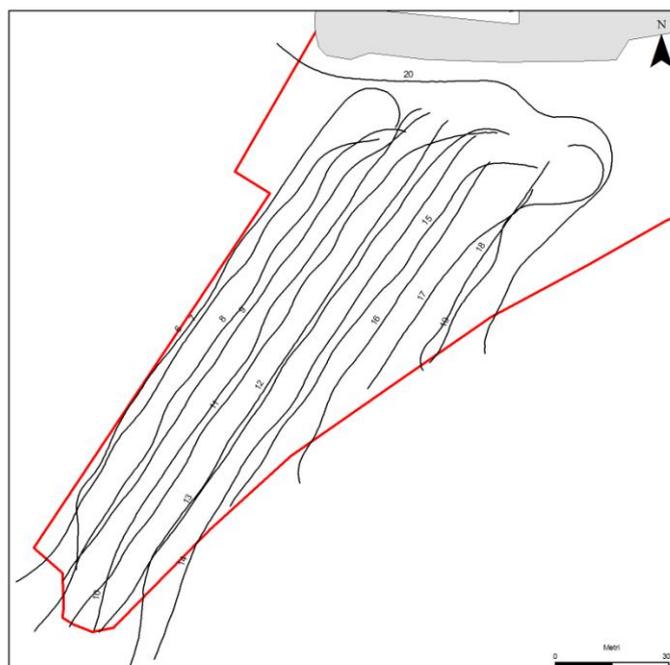


Figura 2.6- Profili sismo-acustici effettuati mediante Sub-Bottom Profiler in corrispondenza del molo di sottoflutto.



Dall'esame dei profili si evince come l'area investigata sia prevalentemente costituita da substrato roccioso, con ampie *patch* caratterizzate dalla presenza di sedimenti sciolti. I rilievi effettuati non hanno messo in evidenza la presenza, al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento, di riflettori che possano essere riconducibili ad elementi antropici.

Alla luce di quanto esposto è quindi possibile ipotizzare una mancanza di elementi di interesse antropico nell'area interessata della opere in progetto.



Allegati