

Regione Sicilia  
Assessorato Turismo Trasporti e Comunicazioni  
Autorità Portuale di Palermo

P.O.R. Sicilia 2000 - 2006 mis. 4.20  
Convenzione del 12 dicembre 2002 per la realizzazione  
del Porto Turistico di S. ERASMO

PORTO DI PALERMO  
COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA  
DELLA DARSENA TURISTICA DI S. ERASMO

Contratto di concessione per la progettazione definitiva ed esecutiva -  
costruzione - infrastrutturazione - arredo e gestione della darsena turistica

PROGETTO DEFINITIVO

All. b.1.2.1 - Indagini geognostiche - Relazione

Palermo: 27 - 02 - 2007

L'impresa:



RESEARCH S.p.A. ENGINEERING

RESEARCH S.p.A.  
L'Amministratore Unico  
Direttore Tecnico  
Salvatore Bisanti

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:  
IL DIRIGENTE DELL' AREA TECNICA  
(Ing. Bartolomeo Salvo)

L'AUTORITA' PORTUALE:



Redatto da:

RESEARCH S.p.A. ENGINEERING

RESEARCH S.p.A.

L'Amministratore Unico  
Direttore Tecnico  
Salvatore Bisanti

SIGMA S.r.l. INGEGNERIA



Con la collaborazione:

consulenza strutturale  
consulenza bati-stratigrafia  
consulenza geologica  
consulenza geotecnica  
impianti tecnologici  
sicurezza cantiere  
ingegneria marittima  
studio impatto ambientale  
studio incidenza ambientale

Ing. Achille Orlando  
Dott. Giuseppe Di Grigoli  
Dott. Oreste Adelfio  
Prof. Ing. Calogero Valore  
Ing. Mario Scaduto  
Ing. Giuseppe Marineo  
SIGMA s.r.l. INGEGNERIA  
SIGMA s.r.l. INGEGNERIA  
C.I.S.A.C. Università degli Studi di Palermo

# REGIONE SICILIA

---

ASSESSORATO TURISMO E TRASPORTI E COMUNICAZIONI  
AUTORITÀ PORTUALE DI PALERMO

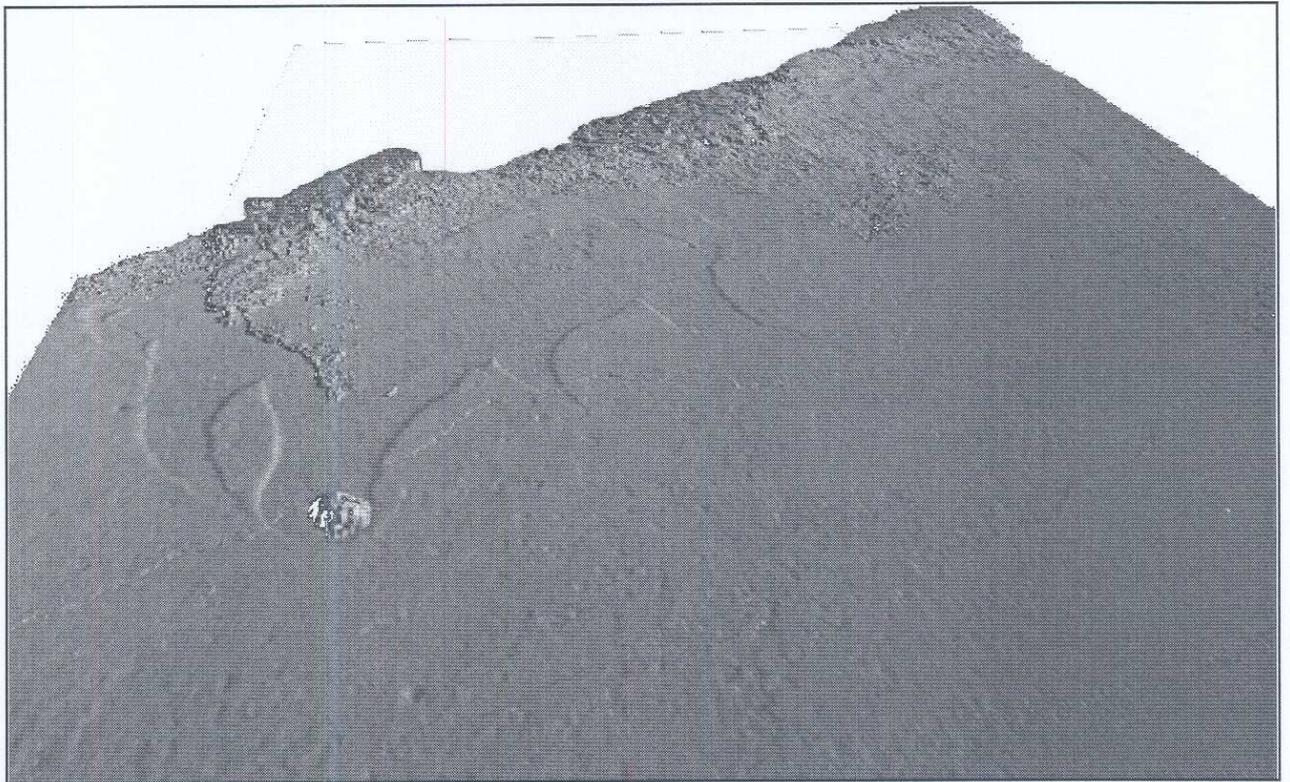
---

**PORTO DI PALERMO**  
COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA  
DELLA DARSENA TURISTICA DI S. ERASMO

---

## RELAZIONE TECNICA:

RELAZIONE INDAGINI SISMOSTRATIGRAFICHE E  
MORFOBATIMETRICHE, ATTRAVERSO SISTEMI DI SUB-BOTTOM  
PROFILER E MULTIBEAM ECHOSOUNDER



REDATTA DA:

SIGMA s.r.l. Ingegneria  
Con la collaborazione  
Dott. Geol. Giuseppe Di Grigoli

## INDICE

PREMESSA .....	1
UBICAZIONE GEOGRAFICA E PIANO DI MONITORAGGIO .....	1
1. METODOLOGIE D'INDAGINE .....	3
1.1 POSIZIONAMENTO .....	6
1.2 SISTEMA SES 2000 INNOMAR, RILIEVO SISMOSTRATIGRAFICO .....	8
1.3 SISTEMA SEABAT 8125 RESON, RILIEVO MORFOBATIMETRICO.....	11
2. ELABORAZIONE DATI .....	13
2.1. ELEBORAZIONE E RAPPRESENTAZIONE DEI DATI SBP DELL'AREA D'INDAGINE .....	13
2.2. ELEBORAZIONE E RAPPRESENTAZIONE DEI DATI MBES DELL'AREA D'INDAGINE .....	14
3. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E SEDIMENTOLOGICO DEL SETTORE MARINO DEL GOLFO DI PALERMO.....	16
4. RISULTATI E CONCLUSIONI.....	17

## ALLEGATI:

### ALLEGATO A.

#### SPECIFICHE TECNICHE:

- RTK, TRIMBLE 5700;
- SES 2000 COMPACT, INNOMAR;
- MULTIBEAM RESON SEABAT 8125, OPERANTE ALLA  
FREQUENZA DI 455 KHZ (MB);

## PREMESSA

La presente relazione illustra le metodologie ed i risultati conseguiti dalla elaborazione ed interpretazioni delle indagini geofisiche eseguite sul fondale interessato dall'opere di difesa della darsena turistica di S. Erasmo.

Lo scopo delle indagini è stato quello di realizzare uno studio finalizzato ad illustrare i principali lineamenti morfologici, sedimentologici del fondale marino e la stratigrafia dell'immediato sottosuolo.

È doveroso marcare che le indagini effettuate sono di tipo indiretto, quindi il miglior modo d'agire è quello di calibrare i risultati sismoacustici con indagini geognostiche di tipo diretto e campionamenti.

Le indagini sismoacustiche sono state effettuate mediante l'utilizzo di due natanti sui quali sono stati installati in uno un ecoscandaglio radiale multifascio (MultiBeam Echo Sounder) e in un altro un profilatore acustico ad altissima risoluzione (Sub-Bottom Profiler).

Il contributo della ditta SIGMA S.r.l. Ingegneria Palermo è stato quello di effettuare i rilievi acustici e di mettere a disposizione dello scrivente i software necessari per l'elaborazione, la rappresentazione grafica della mappatura morfobatimetrica, dei profili sismoacustici, la realizzazione degli allegati e la stesura della relazione in oggetto.

In allegato del presente elaborato sono riportati:

- A. le specifiche tecniche della strumentazione utilizzata per il posizionamento e per le indagini sismo-acustiche, sistema RTK, sistema MultiBeam Echo Sounder ed al sistema di Sub-Bottom Profiler.

## **UBICAZIONE GEOGRAFICA E PIANO DI MONITORAGGIO**

Lo specchio acqueo nel quale ricade l'opera in oggetto è antistante la città di Palermo, in particolare le operazioni di rilevamento sono state condotte nell'area situata lungo il litorale della città a circa 500 m a Nord-Ovest dalla foce del Fiume Oreto (fig.1). Nel fondale marino compreso tra la linea di costa e la batimetrica dei 20 m, nei luoghi in cui è stato possibile il passaggio del natante, in questo sono stati acquisiti 27 profili di Sub-Bottom Profiler per una lunghezza di linea di circa 10.180 m per un'estensione di circa 50 ha ed una copertura morfo-batimetria completa su un'area di circa 65 ha (vedi allegati), il tutto ad una velocità media d'acquisizione di circa 3 nodi.

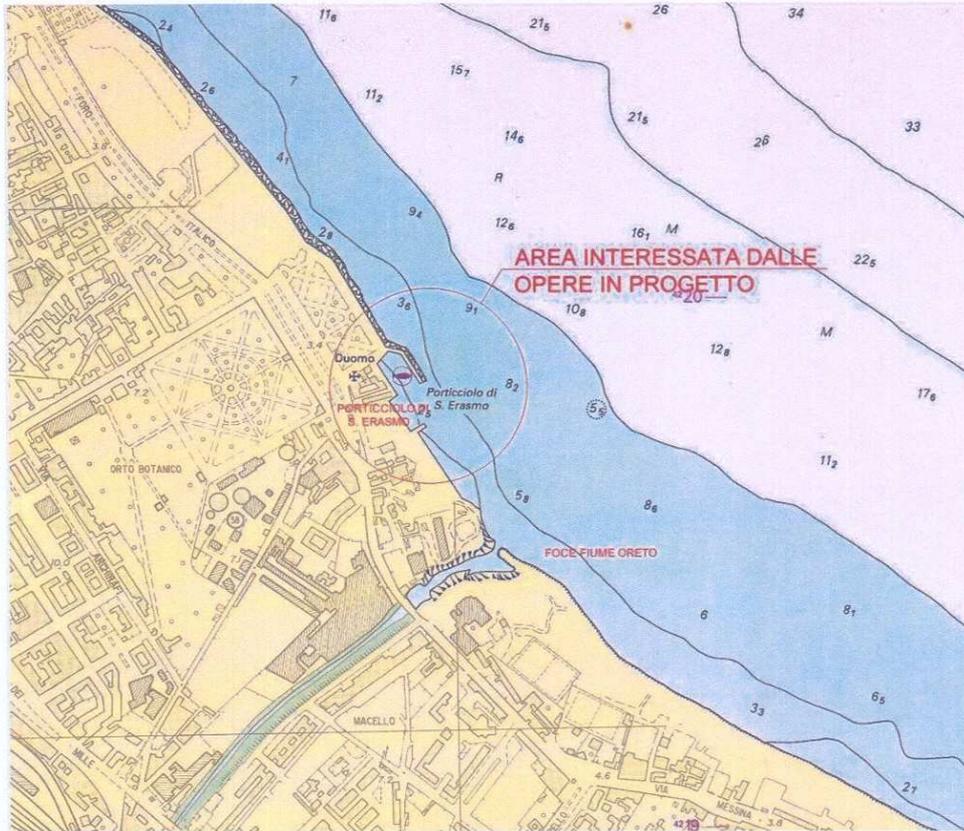


Figura 1: Ubicazione dell'area indagata.

Si noti che le summenzionate indagini di MultiBeam Echosounder (MBES) sono state eseguite al fine di ottenere una copertura totale del fondale in esame, quindi tale da avere una sovrapposizione dei dati adiacenti; per quanto riguarda i profili sismoacustici di Sub-Bottom Profiler (SBP) sono tutti ricadenti all'intero e nei dintorni dell'area interessata dall'opera in oggetto ed espliciti formando una griglia di profili paralleli e perpendicolari tra loro, aventi direzione NE-SO e SE-NO; in maniera da ricavare dei profili paralleli e perpendicolari alle batimetriche, nonché alla linea di costa. Oltre a ciò si è cercato di condurre la navigazione in modo tale che la distanza tra un profilo e l'altro sia di circa 100 m.

Il criterio di navigazione adottato è indispensabile per uno studio completo della morfologia del fondale marino e per la valutazione dello spessore e delle caratteristiche geometriche delle sequenze sedimentarie dei primi metri al di sotto del complesso litostratigrafico.

I rilievi di SBP e MBES sono stati georeferenziati con l'ausilio di un sistema di posizionamento RTK connesso contemporaneamente ad un software di navigazione ed acquisizione di dati batimetrici (PDS 2000, Reson) ed ad un software per l'acquisizione di dati di sismoacustici (ISE, Innomar).

## 1 METODOLOGIE D'INDAGINE

Il rilevamento geologico della porzione marina del settore studiato è stato eseguito avvalendosi delle più recenti metodologie sismoacustiche normalmente utilizzate nei rilievi geofisici di aree inshore e offshore. L'indagine sismoacustica permette di mostrare i diversi contenuti all'interno di uno studio di geologico marino, come: le unità stratigrafiche, i lineamenti tettonici e morfologici, le facies sedimentarie attuali e le principali biocenosi.

Il notevole progresso delle tecniche di acquisizione, con il passaggio dai metodi analogici a quelli digitali e l'avvento del sistema di posizionamento satellitare dinamico ha consentito di migliorare sensibilmente la precisione del posizionamento in mare e l'elaborazione dei segnali acustici utilizzati nell'interpretazione geologica dei fondali e del sottofondo.

La sismica è una tecnica di misura indiretta, che si fonda nel registrare in superficie degli echi provenienti dalla propagazione nel sottosuolo di un'onda sismica generata artificialmente. Questi echi sono generati dal contrasto d'impedenza acustica (prodotto della velocità del suono per la densità del mezzo) all'interno del sottosuolo attraversato. Quindi il passaggio di un'onda acustica attraverso un'interfaccia caratterizzata da un contrasto di densità andrà a tradursi in una riflessione che si intercetterà sulle registrazioni. Questa interfaccia chiamata "riflettore" in genere si rifà a livelli stratigrafici presenti all'interno del complesso litologico e naturalmente all'interfaccia acqua fondale. Quindi misurando il tempo d'arrivo dell'eco si può localizzare la posizione di un'interfaccia nello spazio.

Per eseguire i rilievi sismostratigrafici, in oggetto, si è fatto uso di un profilatore sismoacustici (Sub Bottom Profiler) ad altissima risoluzione (3.5 a 15 kHz), capace di illustrare in modo analitico la morfologia del fondale e la stratigrafia del sottofondo marino investigato.

Per il rilievo morfobatimetrico è stato adoperato un ecoscandaglio radiale multifascio (MultiBeam EchoSounder) secondo il piano di lavoro predisposto, si tratta di un sistema adatto per indagini in shallow water e caratterizzato da un'accuratezza nelle misure compatibile con gli standard I.H.O. (International Hydrographic Office).

Il sistema multibeam è un sistema innovativo che consente di avere una mappatura di alta definizione del fondale marino investigato.

Con lo scopo di georeferenziare e di registrare digitalmente i dati acquisiti durante il rilievo ci si è serviti di strumenti e software installati a bordo dei due natanti appositamente attrezzati.

In particolare, in entrambe le campagne oceanografiche sono stati utilizzati gli strumenti di seguito elencati

- Multibeam RESON Seabat 8125, operante alla frequenza di 455 kHz (MB);
- Sonda per il profilo della velocità nel suono nell'acqua, Reson SVP/15;
- Sistema MAHRS SURFACE PRODUCT con girobussola e sensore di moto tridimensionale (MRU) integrato;
- Sub-Bottom Profiler multiparametrico digitale, SES 2000 Compact, Innomar;
- Sistema di posizionamento RTK, 5700 Trimble;
- Software per la navigazione e per l'acquisizione di dati morfobatimetrici PDS 2000, Reson;
- Software per l'acquisizione di sismoacustici Seswin, Innomar.

Come già accennato precedentemente per l'acquisizione dei dati morfobatimetrici (MBES) e per i rilievi sismostratigrafici (SBP) sono state adoperate due imbarcazioni differenti.

Nelle seguenti figure (fig. 2, 3, 4, 5 e 6) è presente lo schema generale delle interfacce degli strumenti, la pianta d'installazione della strumentazione a bordo dei diversi natanti, le corrispettive tabelle con gli offset della strumentazione e le foto mostranti le imbarcazioni utilizzate per i rilievi.

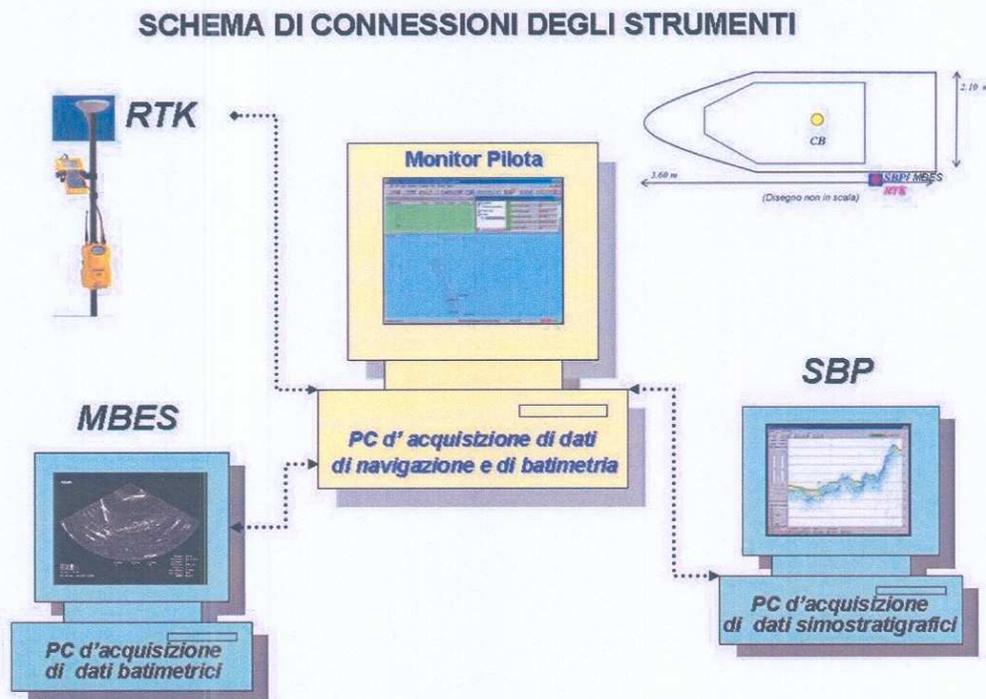


Figura 2: Schema di connessioni degli strumenti.

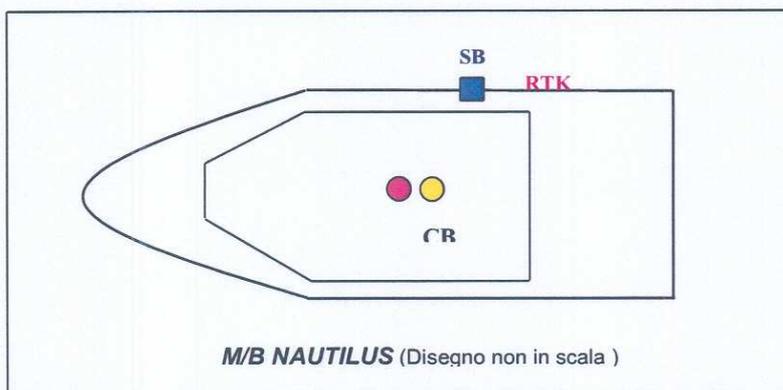


Figura 3: Posizione degli strumenti a bordo dell'imbarcazione utilizzata per i rilievi di SBP.

TABELLA 1: Offset degli strumenti riferiti al centro barca (CB), vedi figura 3.

STRUMENTO	ASSE X (m)	ASSE Y (m)	ASSE Z (m) Rispetto alla superficie marina
SBP	1.57	1.70	-0.65
RTK	1.57	1.50	3.10



Figura 4: Foto dell'imbarcazione Nautilus utilizzata per i rilievi sismoacustici SBP.

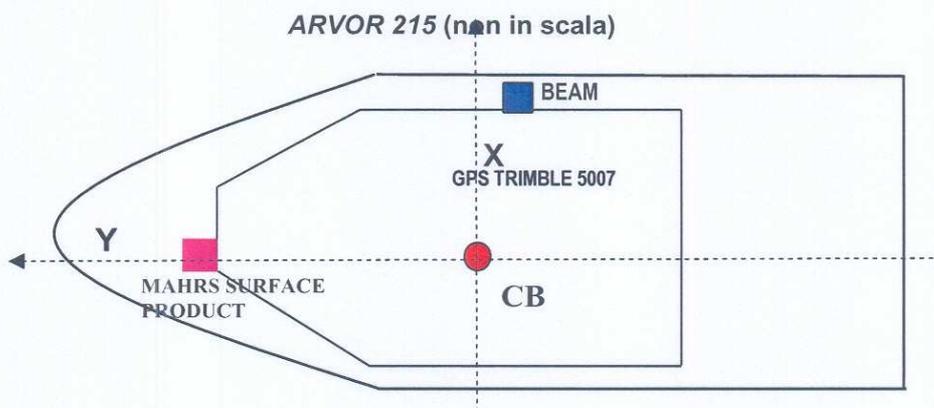


Figura 5: Posizione degli strumenti a bordo dell'imbarcazione utilizzata per i rilievi di MBES.

**TABELLA 2:** Offset della strumentazione rispetto all'antenna GPS, vedi figura 5.

STRUMENTO	Asse X (m)	Asse Y (m)	Asse Z (m) (Rispetto superficie marina)
RTK TRIMBLE 5700	0,00	0,00	2.45
Multibeam	0,00	0,00	-0,73
TSS MAHRS	-1,10	1,03	-0.50



Figura 6: Foto dell'imbarcazione ARVOR 215 utilizzata per i rilievi MBES.

## 1.1 POSIZIONAMENTO

La georeferenziazione dei dati è stata eseguita avvalendosi della tecnologia GPS, con l'utilizzo per il posizionamento planimetrico ed altimetrico di superficie di sistemi satellitari con metodologia Real Time Kinematic (RTK), mediante acquisizione di dati integrati con la strumentazione di bordo (ricevitore Rover) e di terra in real-time (tecnologia OTF).

Il metodo RTK (5700 Trimble, vedi allegato) si avvale di un collegamento radio per la trasmissione di dati ricevuti dai satelliti dal ricevitore di riferimento (fig. 7) al ricevitore Rover (fig. 8), inoltre le misure non sono influenzate dalle variazioni di marea, poiché sia il rilievo di mare che di terra è univocamente riferito allo 0,00 IGM.

Tale tecnica consente il calcolo delle coordinate in tempo reale, mentre si esegue il rilievo, con le caratteristiche di seguito elencate:

- un errore di posizionamento medio di 2 cm;
- dati con RTK/OTF in tempo reale;
- fino a 10 posizioni acquisite ad ogni Hz;
- latenza fino a 20 ms circa.

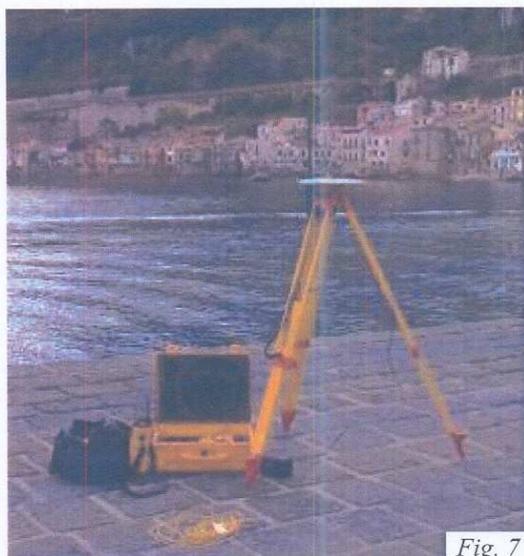


Fig. 7



Fig. 8

Figura 7, 8: Foto mostranti una stazione di riferimento e di antenna installata a bordo del natante.

Il ricevitore a bordo dell'imbarcazione è stato interfacciato con il software di navigazione PDS-2000 e con il software d'acquisizione dei rilievi sismoacustici, Seswin Innomar. Questo è stato realizzato nel sistema di coordinate WGS84, con proiezione nel sistema UTM 33.

Uno schema riassuntivo dei parametri geodetici adoperati è presentato nella Tabella 3.

**TABELLA 3:** Dati geodetici utilizzati per la georeferenziazione dei dati.

<b>Datum:</b>	<b>WGS84</b>
<b>Proiezione:</b>	<b>UTM 33</b>
<b>Meridiano Centrale:</b>	<b>15°00.000' E</b>
<b>Falso Est:</b>	<b>500000</b>
<b>Fattore di scala:</b>	<b>0.9996</b>

## 1.2 SISTEMA SES 2000 INNOMAR, RILIEVO SISMOSTRATIGRAFICO

Per ottenere informazioni sulle caratteristiche morfologiche e sismostratigrafiche dei primi metri al di sotto del fondale marino, si è utilizzato il Sub-Bottom Profiler modello SES 2000 Compact dell' Innomar. Si tratta di un Sub-Bottom Profiler con sistema parametrico che utilizza due alte frequenze, le quali inviate in acqua ad alta pressione interferiscono fra loro dando origine ad un secondo gruppo di frequenze.

Il sistema, al di sotto del fondale concede riflessioni secondarie, generate dalle onde acustiche che ad ogni variazione di impedenza acustica ( $R = \rho c$ ) del mezzo in cui si propagano vengono riflesse descrivendo qualitativamente la geometria deposizionale ed indirettamente la natura dei sedimenti attraversati. Questo tipo di sistema di elettroacustico permette attraverso l'uso di frequenze parametriche, di assolvere contemporaneamente alle funzioni di ecoscandaglio e di Sediment profiler.

In particolare, le alte frequenze, intorno ai 100 kHz, hanno il compito di captare le prime riflessioni del fondale marino dando quindi informazioni sulla batimetria, di contro le basse frequenze (comprese fra 3.5 ed 15 kHz) generate hanno la capacità di penetrare i sedimenti al di sotto del fondale, dando origine a riflessioni secondarie, e di garantire un'ottima risoluzione degli strati superficiali.

I campi d'onde riflessi, così generati, vengono captati dal trasduttore ed inviati al processore (fig. 9) posto a bordo dell'imbarcazione in cui verranno registrate e sottoposte al trattamento di *signal processing*.

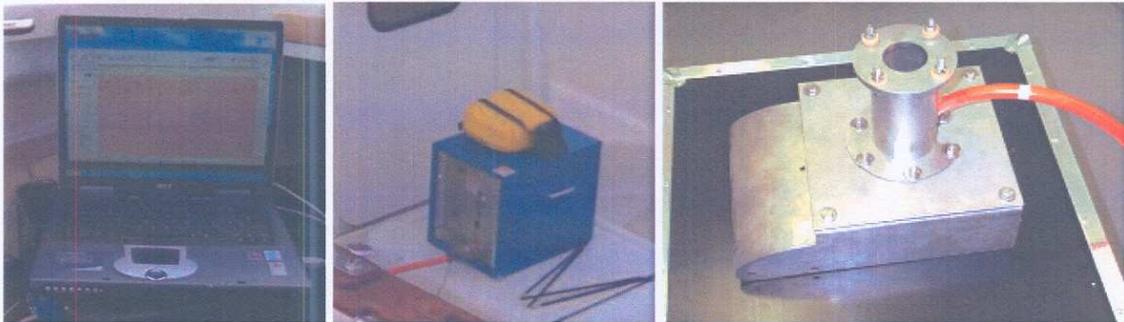


Figura 9: Sistema SES da sinistra verso destra sono raffigurati il LapTop, il processore e trasduttore.

La procedura vuole che i dati acquisiti sono visualizzati in tempo reale dal computer d'acquisizione ed immagazzinati in formato digitale, i quali saranno sottoposti ad elaborazioni successive di editing e post processing.

Il design compatto prevede l'uso solo del trasduttore e di una unità di superficie di 50 cm, così da permettere installazioni facili ed agevoli. La accuratezza delle misure di

profondità rispettano gli standard dell'International Hydrographic Organization (IHO). Le basse frequenze permettono di ottenere risoluzioni sensibilmente maggiori rispetto a qualunque altro sistema lineare in commercio. La risoluzione verticale può arrivare fino a 6 cm in dipendenza dalla frequenza in uso e dalla lunghezza d'impulso impostata (per le specifiche tecniche della strumentazione si veda l'allegato).

Nel caso in questione è stata utilizzata una velocità media del suono di 1530 m/s e le frequenze di 8, 10, 12 e 15 kHz, ritenuta le più idonee per il tipo di fondale indagato.

Il trasduttore del sistema è stato fissato ad un palo sul lato della barca ed immerso a circa 81 cm al di sotto della superficie marina come si evince dalla figura (fig. 10).

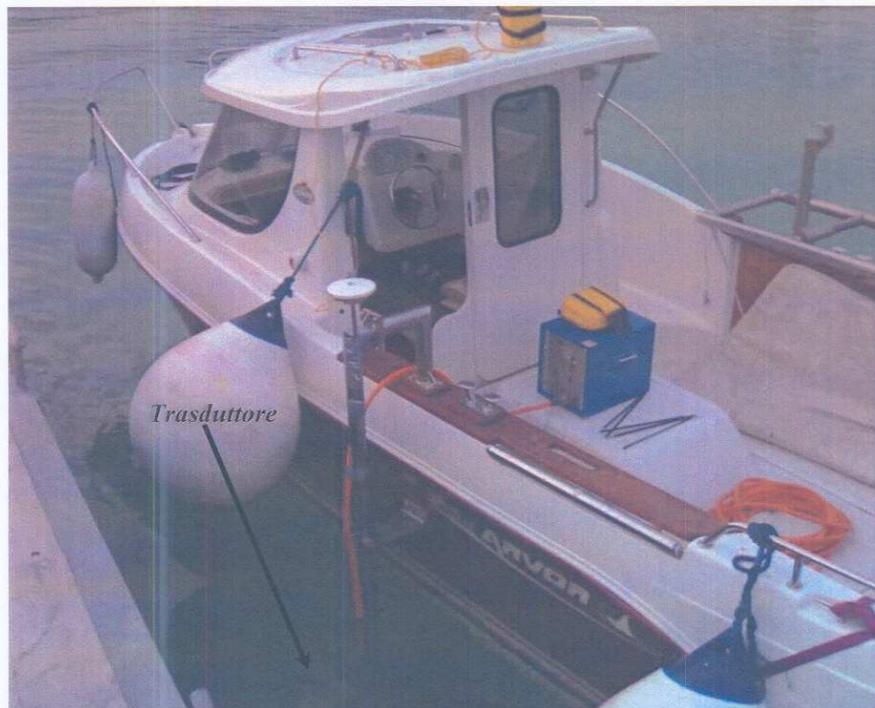


Figura 10: Esempio di installazione del trasduttore "montato a palo".

I footprint (area insonificata dal campo dell'onda acustica), che stanno ad indicare la risoluzione superficiale del sistema, variano da un minimo di circa 0.12 m a basse profondità ad un massimo di circa 0.65 m per profondità più elevate.

Rispetto ai Sub-Bottom Profiler ed Single-Beam Echo Sounder tradizionali che operano utilizzando il principio di propagazione lineare di una singola frequenza in acqua, il sistema parametrico, utilizzato, è caratterizzato da:

- un trasduttore di piccole dimensioni che genera un fascio acustico con apertura di fascio stretto, di  $3.6^\circ$ , indipendente dalle frequenze generate. Cio' permette di lavorare anche in acque poco profonde (anche meno di 1 m) e di evitare l'effetto di

*ringing* (in condizioni di campo vicino) durante la trasmissione del segnale. La qualità dei dati ottenuti ha, quindi, un elevato rapporto segnale/rumore;

- una trasmissione del segnale con direttività costante senza lobi laterali anche per le frequenze secondarie;
- un sistema con alta ampiezza di banda e breve lunghezza dell'impulso, permettendo così un alto grado di penetrazione del segnale con un elevato grado di risoluzione dell'ordine del centimetro;
- un sistema che permette di impostare alti *ping rate* (fino a 50 ping al secondo) favorendo anche l'individuazione di piccoli oggetti sepolti come condotte, relitti, ecc.

Per le specifiche tecniche del Sub-Bottom Profiler multiparametrico digitale, Innomar SES 2000 si rimanda all'allegato.

### 1.3 SISTEMA SEABAT 8125 RESON, RILIEVO MORFOBATIMETRICO

Il rilievo morfobatimetrico ha interessato lo specchio di mare interessato dalla realizzazione delle opere in progetto, per un'area di circa 65 ha. I dati batimetrici sono stati acquisiti tramite l'utilizzo di un ecoscandaglio multifascio (multibeam) della RESON, modello Seabat 8125 funzionante ad una frequenza di 455 kHz (fig. 11).



Figura 11: Processore, trasduttore e monitor del sistema MBES 8125

Rispetto alle classiche metodologie di rilievo batimetrico con un normale ecoscandaglio, questa tecnica si caratterizza per la notevole mole di dati misurati nella stessa unità di tempo (rapporto minimo di 1 a 60 per piccoli multibeam). Sostanzialmente, tale strumento, non è altro che un ecoscandaglio il quale, anziché misurare una sola profondità ne misura 60, 100 o 240 contemporaneamente (a seconda della sua apertura angolare). Oggettivamente l'utilizzo di un sistema multibeam aumenta di un fattore 100 le potenzialità di un singolo ecoscandaglio.

Il sistema multibeam, in oggetto, permette di scandagliare i fondali lungo un fascio di ampiezza variabile, a seconda della profondità di utilizzo e dell'angolo di apertura del trasduttore, in questo caso 120°. L'utilizzo di tale strumento, alle basse profondità dell'area di lavoro, ha permesso di ricavare una batimetria molto dettagliata, dalla quale è stata ricavata una griglia DTM (Digital Terrain Model) di 45 x 45 cm.

Il trasduttore è stato montato a palo sulla fiancata della ARVOR 215 immerso a circa 73 cm al di sotto della superficie marina ed interfacciato con: il software di navigazione (per la visualizzazione e la georeferenziazione in tempo reale dei dati acquisiti), il sensore di moto (per la correzione dei movimenti di rollio, beccheggio e deriva) e la girobussola (per l'orientamento).

Prima dell'inizio del rilievo lo strumento è stato calibrato per gli "errori di attitudine" statici dovuti al non perfetto allineamento del palo di supporto del trasduttore rispetto alla verticale.

Un'ulteriore calibrazione strumentale è stata eseguita mediante la misurazione del profilo di velocità del suono lungo la colonna d'acqua (effettuata mediante l'uso di una sonda Reson SVP/14). Questo profilo consente di settare la corretta interpretazione delle onde acustiche e, quindi, di ottenere un'altissima precisione sulla misurazione dei dati batimetrici. Questo profilo consente di individuare con elevata accuratezza e risoluzione la profondità d'acqua. Il sistema infatti è così in grado di correggere la profondità e la geometria delle onde acustiche lungo la colonna d'acqua tenendo conto delle variazioni di velocità di propagazione delle onde acustiche nei differenti strati d'acqua. La misura di profondità ottenuta è quindi di altissima precisione sia in verticale che in orizzontale.

Il rilievo MBES è stato eseguito avendo cura di assicurare un'adeguata fascia di sovrapposizione tra record adiacenti, pari ad almeno il 30% del range laterale. La restituzione dei dati rilevati è stata eseguita sia su supporto cartaceo ad opportuna scala grafica sia su supporto informatico in file con estensione \*.dwg.

Per le specifiche tecniche del MultiBeam EchoSounder, Seabat 8125 Reson si rimanda allegato alla relazione.

## 2 ELABORAZIONE DATI

Al termine delle operazioni di rilevamento, i dati acquisiti sono stati controllati a bordo prima della demobilizzazione degli strumenti e poi salvati su supporto digitale per le successive fasi di elaborazione effettuate in ufficio.

I software d'immagazzinamento (Seswin e PDS 2000) dei dati digitali simostratigrafici e morfobatimetrici hanno permesso di interfacciare tutti i sistemi salvando i dati in un unico data file il quale successivamente è stato sottoposto ad elaborazioni.

Per l'acquisizione, l'elaborazione e la restituzione dei dati morfobatimetrici e sismostratigrafici acquisiti durante il survey sono stati adoperati i seguenti software:

- Seswin e ISE, Innomar;
- PDS 2000, Reson;
- Surfer, Golden Software;
- AutoCAD, Autodesk.

Le rappresentazioni grafiche dei profili di SBP e dei rilievi di MBES sono state prima digitalizzate e poi restituite in formato \*.Jpg. Tuttavia le rappresentazioni grafiche delle rotte di navigazione sono state restituite in formato \*.dwg.

### 2.1 *Elaborazione e rappresentazione dei dati SBP dell'area d'indagine*

Durante la fase di restituzione dei dati svolta in ufficio il software (ISE, editor interattivo di sedimenti stratificati) è stato principalmente utilizzato per il postprocessing, l'interpretazione e, quindi, digitalizzazione dei riflettori.

Con l'utilizzo del modulo di Signal Processing è stato possibile effettuare correzioni sulla profondità della acqua, di interpolare le coordinate, di stabilire una soglia del rapporto segnale/rumore e più specificamente di agire direttamente sul segnale attraverso un TVG (Time Varied Gain) logaritmico ed un algoritmo di riduzione del rumore. Per elaborare i profili in questione sono stati adoperati filtri taglia basso, al fine di eliminare il rumore antropico, causato dal traffico navale e dalle vicinanze al porto e alla costa.

In particolare è stato possibile effettuare:

- un editing manuale delle linee di navigazione per evitare eventuali problemi connessi a salti di posizione;
- l'estrazione della navigazione in formato ASCII, per poi essere convertite in linee vettoriali tramite altri software;
- operazioni di signal processing, come guadagno, filtraggio del segnale;

- stacking delle tracce adiacenti;
- digitalizzare i riflettori;
- calcolare gli spessori;
- introdurre dati di corredo ai profili;
- dare una restituzione grafica ai profili di Sub-Bottom in formato Jpeg.

Per l'interpretazione dei profili sismoacustici si ammette che le superfici riflettenti si possano paragonare ai piani di strato, quindi, anche per le riflessioni sismiche sono valide le tecniche di interpretazione della stratigrafia classica per quanto riguarda la geometria e gli ambienti deposizionali.

Le rotte dei tracciati di navigazione e dei tracciati sismo-acustici sono stati rappresentati negli elaborati cartografici allegati.

Per quanto riguarda le classificazioni dimensionali dei sedimenti in questione si è fatto riferimento alla scala granulometria di Wentworth.

## 2.2 Elaborazione e rappresentazione dei dati MBES dell'area d' indagine

La procedura d'acquisizione (fig. 12) e di elaborazione dei dati batimetrici è stata eseguita tramite il PDS 2000. Si tratta di un software idrografico, sviluppato dalla RESON che in un pacchetto le funzioni attinenti al ciclo di produzione dei rilievi idrografici, quali: programmazione e progettazione del rilievo, navigazione ed acquisizione dati MBES, SBES, calcolo dei volumi, filtraggio ed elaborazione dati, presentazione 3D e plot dei dati, interfaccia con altre piattaforme software.

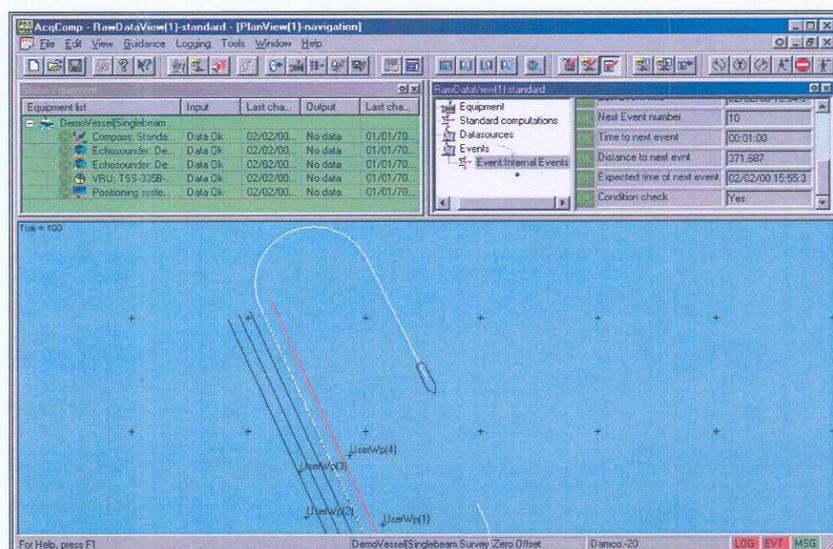


Figura 12: Esempio di schermata in fase d'acquisizione di PDS 2000.

Il Processing e la rappresentazione grafica dei dati di MBES sono stati realizzati con dei modelli, per la correzione e la presentazione dei dati grezzi acquisiti e poi successivamente elaborati tramite i seguenti moduli:

- ✓ Controllo dei valori di calibrazione e dei valori di velocità del suono;
- ✓ Controllo dei filtri applicati ed eventuale applicazione di altri;
- ✓ Correzione di tutti i dati batimetrici per l'escursione di marea, Apply tide;
- ✓ Editing delle linee di navigazione per eventuali problemi connessi a salti di posizione o errori del MBES, Position Editor;
- ✓ Editing dei profili, Editor Singlebeam;
- ✓ Tracciamento delle isobate, ad intervalli regolari di profondità, Plotting;
- ✓ Creazione del DTM (Digital Model Terrain), modello digitale del terreno, Editor del Grid Model;
- ✓ Creazione di modelli tridimensionali del fondale in 3D, Viewer.

La fase di filtraggio offre la scelta d'impostazione dei filtri multibeam solo quando la sorgente dei dati è il "profilo corretto" dal momento che i filtri possono essere applicati ai calcoli e non ai dati grezzi.

Con l'utilizzo del "Create Model" è stato creato un modello DTM (fig.14) da file tipo ASCII XYZ.

L'Editor DTM un modulo che ha consentito di creare e modificare i DTM, quindi, si è proceduto alla interpretazione morfologica dei dati.

### 3 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E SEDIMENTOLOGICO DEL SETTORE MARINO DEL GOLFO DI PALERMO

Lungo il tratto costiero del Golfo di Palermo, oltre ai poco estesi depositi deltizi, sono presenti depositi di spiaggia ed accumuli di riporti e sfabbricidi prodotti prevalentemente negli ultimi cinquant'anni, in seguito all'asporto delle macerie belliche del secondo conflitto mondiale ed alla vertiginosa espansione edilizia dell'agglomerato urbano palermitano. In alcuni settori l'accumulo di questi depositi antropici ha determinato un avanzamento della linea di costa di oltre cento metri.

La piattaforma continentale del Golfo di Palermo si estende per circa 250 km<sup>2</sup>, e si sviluppa dalle aree costiere fino a profondità medie di circa 120 m. Dai dati bibliografici appare evidente come le sue caratteristiche varino notevolmente in relazione al settore in esame. E' possibile distinguere, all'interno di essa, due settori, che mostrano peculiari caratteristiche morfologiche e deposizionali. Da un punto di vista fisiografico si può riconoscere un'area, inquadrabile nel settore nord-occidentale del Golfo (in corrispondenza di M.te Pellegrino) ed in prossimità di Capo Mongerbino ad Est, che è caratterizzata da una piattaforma molto ristretta, con ampiezze medie di 2,5 km e valori di pendenza variabili tra i 5° ed gli 8°. Il settore centro-orientale del Golfo è invece caratterizzato da una piattaforma più estesa, con valori massimi di 7,5 km, e meno acclive, con valori medi di pendenza di 3°. Da un punto di vista morfologico il settore nord-occidentale sembra essere più articolato rispetto alla porzione di piattaforma centro-orientale.

Il settore centro-orientale del Golfo di Palermo appare essere più omogeneo e meno articolato. E' di rilevante importanza la presenza di un complesso sistema di paleoalvei, rilevato lungo la piattaforma interna in corrispondenza dei fiumi Oreto ed Eleuterio. Questi, colmati da depositi di probabile età tardo-quadernaria, attivi durante le fasi di stazionamento basso del l.m., probabilmente fungevano da raccordo tra le aree più interne e le valli marine più distanti dalla costa, che solcavano l'attuale margine di piattaforma e che ancora oggi risultano essere attive.

Nei sedimenti attuali il sottoambiente in cui si forma una facies tessiturale è direttamente osservabile dai dati sedimentologici di dati bibliografici.

Nell'area del golfo di Palermo sono stati distinti tre sub-ambienti deposizionali, ma due facies tessiturali, quella delle sabbie di spiaggia sommersa e quella delle peliti marine. In particolare la facies delle peliti marine risulta comune a due sub-ambienti contigui: facies pelitica di piattaforma e facies pelitica di scarpata. Ciascuna facies è sostituita, rispettivamente verso il largo e verso terra, da quella adiacente e sono temporalmente equivalenti l'una all'altra.

#### 4. RISULTATI E CONCLUSIONI

Le indagini effettuate (fig 14, 15 e 16) hanno permesso di fornire una ricostruzione dei fondali del porticciolo di S. Erasmo ed in particolare di delineare la morfologia, stratigrafia superficiale e la sedimentologia dell'area interessata dalle opere in progetto, attraverso la metodologia indiretta precedentemente discussa.

Al fine di tracciare i principali lineamenti morfologici dell'area sono stati utilizzati i risultati ottenuti dal rilievo MultiBeam EchoSounder invece per lo studio stratigrafico dei primi metri del fondale marino ci si è serviti dei profili di Sub-Bottom Profiler.

Con l'impiego della frequenza più alta (100 kHz) del sistema SBP di è stato possibile realizzare una carta batimetrica (fig. 13), dalla quale si evince una stretta somiglianza con il rilievo morfobatimetrico effettuato con sistema MBES.

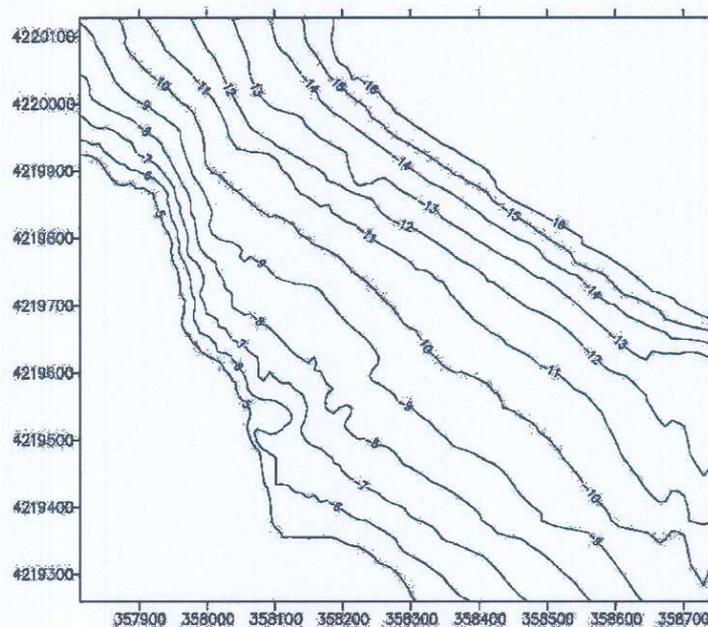


Figura 13: Carta batimetrica ricavata dal rilievo sismoacustici con sistema SBP.

L'elaborazione dei dati morfologici è sintetizzata nelle rappresentazioni grafiche in due diverse modalità sia in "rilievo ombreggiato" (fig. 14) che in modalità "tridimensionale" (fig. 15) le quali facilitano lo studio interpretativo del dettaglio della morfologia.

Le rappresentazioni ottenute sono sintetizzate nelle tavole tematiche inserite negli allegati.

La presenza del Fiume Oreto, di scarichi fognari limitrofi e di apporti detritici di natura antropica garantiscono una grande disponibilità di materiali inerti ed una facile deposizione degli stessi nei settori litoranei contigui, ma la debole pendenza del fondale non agevola la discesa dei detriti verso il largo, dando vita così ad una variabilità granulometrica che passa da sedimenti di taglia grossolana per i bassi fondali fino ad arrivare a sedimenti di taglia più fine all'aumentare della profondità.

Questo prisma deposizionale costiero si è formato durante l'attuale fase di stazionamento alto del livello marino relativo sotto l'azione combinata dei processi fluviali e dei processi marini. Infatti il moderno sistema di dispersione del sedimento è controllato dalla variabilità stagionale ed annuale del moto ondoso e del regime fluviale, che sono i due principali agenti idrodinamici

Notevole importanza hanno nella distribuzione granulometrica dei sedimenti e nella loro classazione le direzioni delle correnti e dei regimi meteo-marini. Le correnti lungo la costa settentrionale della Sicilia hanno un andamento prevalente da Ovest verso Est con articolazioni, nelle baie e nei golfi, orarie ed antiorarie (secondo le stagioni). I regimi meteo-marini ad alta energia a cui sono sottoposte le coste, provengono dai quadranti settentrionali, mentre sono riparate dai regimi provenienti dai quadranti meridionali, e quindi rispettivamente dai venti di Maestrale o di Grecale.

Dallo studio morfobatimetrico, in oggetto, si evince che la geomorfologia del settore del fondale sul quale sono stati effettuati i rilievi, come è evidente nelle figure di seguito mostrate, è strettamente legata all'azione dominante di diversi fattori quali:

- l'azione deposizionale da parte dell'apparato di foce del Fiume Oreto;
- l'effetto morfologico e sedimentologico delle manipolazioni antropiche;
- la presenza di una piattaforma d'abrasione quaternaria a composizione calcarenitica tipica di questo settore della Sicilia settentrionale;
- la presenza di una dinamica del moto ondoso con un orientamento a NE, (Maestrale e Grecale);
- la presenza di un trasporto longitudinale ossia parallelo alla riva ed altri fattori legati alla dinamica di zone inshore, orarie ed antiorarie (secondo le stagioni).

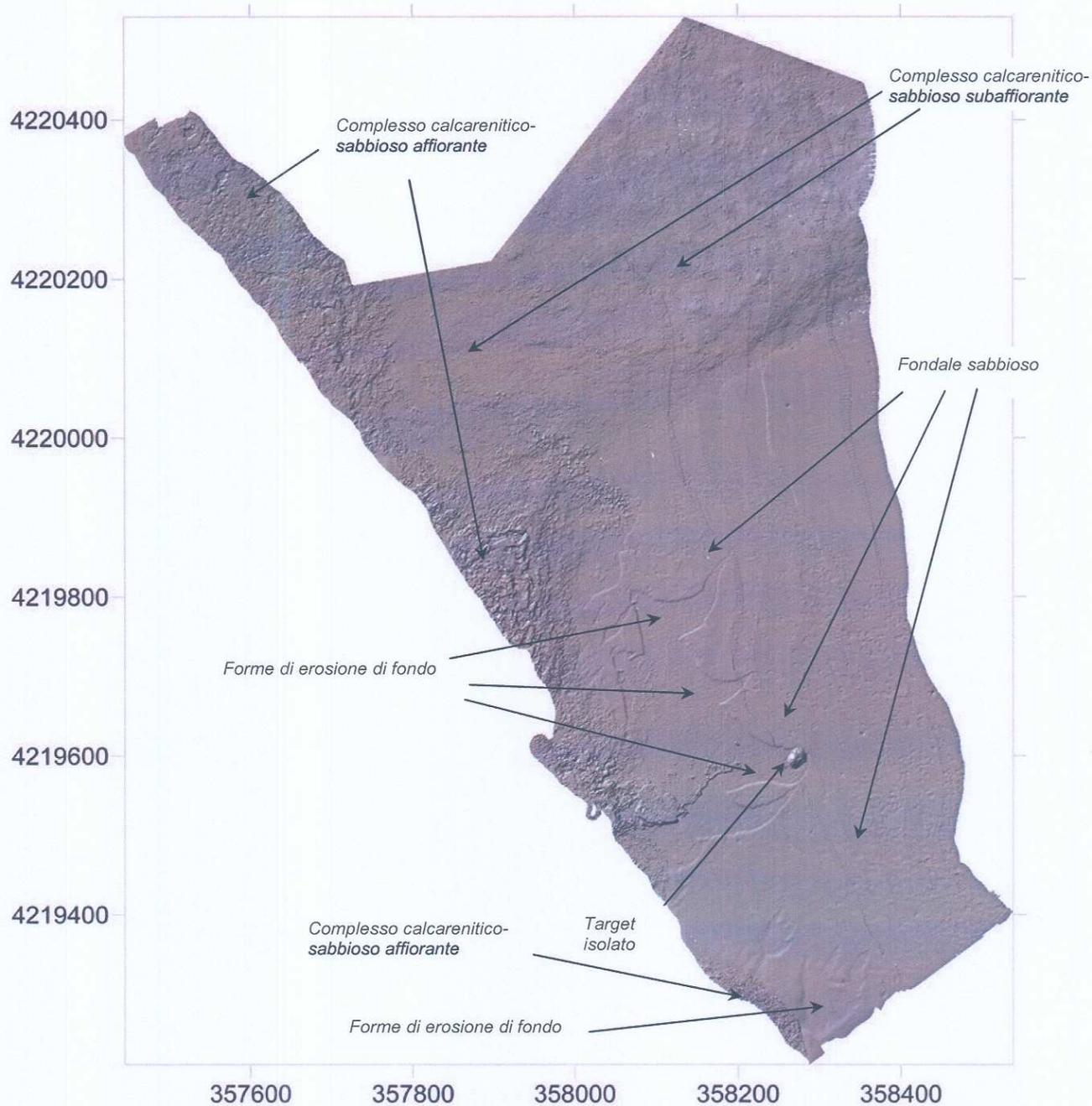


Figura 14: Rilievo ombreggiato, in scala di grigio, con identificazioni morfologiche e sedimentologiche.

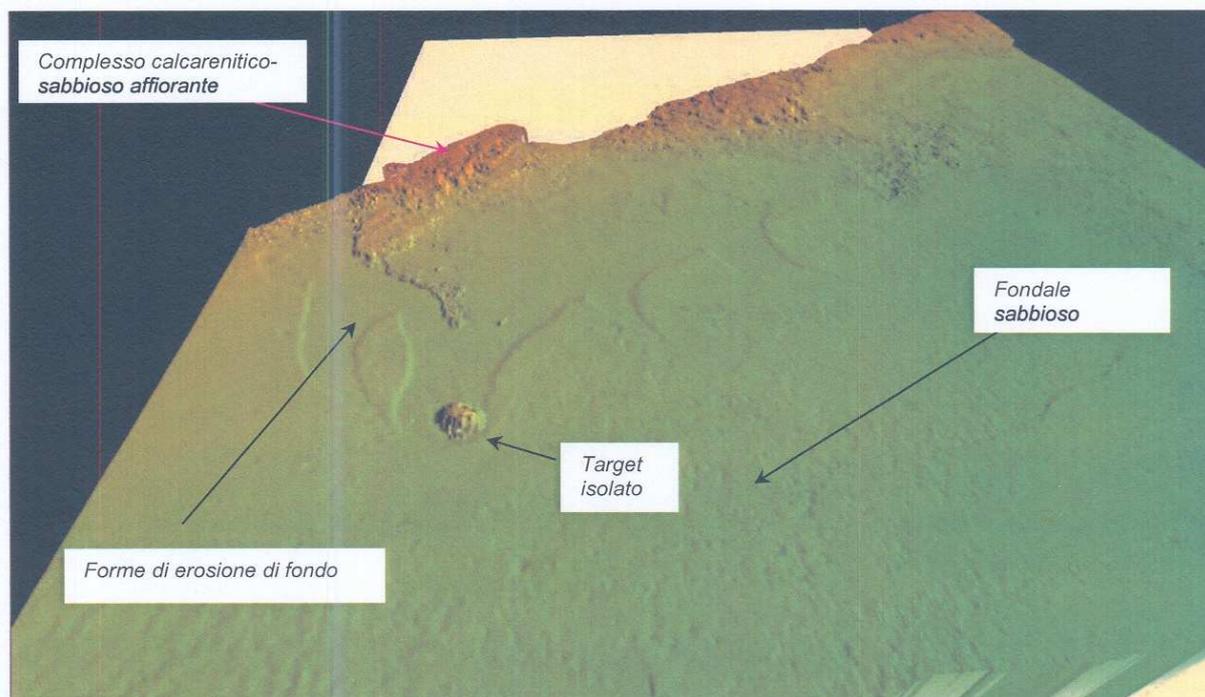


Figura 15: Particolare 3D del fondale con vista Est, ubicato nel settore interessato dalle opere.

Per l'interpretazione dei profili acustici sono stati utilizzati i dati di stratigrafia e di geomorfologia dei fondali, emersi da una campagna di indagini effettuata nel Maggio 2003, mediante carotaggi da pontone galleggiante (a circa 70 e 100 m a largo rispettivamente dal molo di sopraflutto esistente e dalla linea di litorale orientale al porticciolo) rilievi subacquei in tutto lo specchio d'acqua antistante, nell'ambito degli studi di supporto al Nuovo Piano Regolatore Portuale.

Mediante le indagini di prospezione sismoacustica, eseguite con il Sub-Bottom Profiler (SBP), è stato possibile risalire ad informazioni indirette sulle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche sugli immediati spessori sedimentari del sottofondo marino.

Durante il rilievo geoacustico sono state realizzate 27 linee di Sub-Bottom Profiler (fig. 16 e 17), nel settore interessato e nell'intorno dello specchio acqueo interessato dalle opere di difesa della darsena turistica di S. Erasmo, nei luoghi in cui è stato possibile il passaggio del natante, per una lunghezza di lineare di circa 10.180 m per una copertura del fondale marino e del sottofondo marino di circa 50 (vedi Allegati).

Nel settore marino sono state riconosciute facies sismostratigrafiche delle quali solo le più recenti (pleistoceniche ed oloceniche) sono state cartografate. Le superfici che delimitano inferiormente e superiormente queste unità sono superfici di discontinuità o superfici di concordanza ad esse correlabili. Pertanto queste unità assumono valenza di unità cronostatigrafiche geneticamente riferibili ai cicli di oscillazioni eustatiche del livello

marino (unità stratigrafico-sequenziali “a limiti inconformi”; Vail et alii, 1977). All'interno delle unità sismostratigrafiche si è cercato di distinguere associazioni di facies sismiche riconducibili a specifici sistemi deposizionali. I rapporti spaziali tra queste unità, le geometrie interne e le terminazioni laterali degli orizzonti contro le “superfici limite” consentono di ricostruire l'evoluzione sedimentaria dell'area in esame nel tardo-Quaternario.

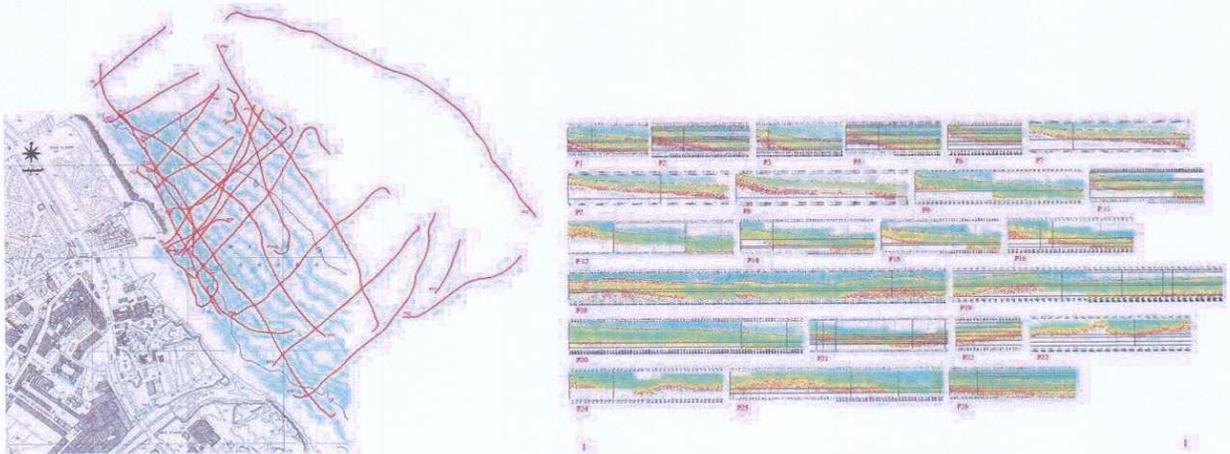


Figura 16: Carta della rotte di navigazione in rosso con a destra i profili di Sub-Bottom Profiler.

Dall'analisi dei rilievi si vede come l'area soggetta ai rilievi sia caratterizzata:

- nella parte più vicina a costa, da un fondale con forte riflessione acustica il quale produce, anche se con un footprint dell'ordine di qualche centimetro, riflessioni laterali lungo i riflettori, ciò è dovuto alla presenza di un substrato calcarenitico sabbioso caratterizzato da piccole irregolarità sul quale si impostano alghe fotofile. Inoltre questo settore del fondale è caratterizzato da una facies cosiddetta trasparente, che sta ad indicare la presenza di un sottile spessore di sedimento sciolto, dell'ordine di pochi centimetri, che sta sopra il substrato quaternario;
- sul fondale marino dalla batimetrica dei 3 m circa fino ad una profondità variabile arealmente dai 7 m ai 11 m circa, caratterizzato da elementi di taglia assimilabile a blocchi e brecce, i quali sono collegati agli apporti di natura antropica; è probabile che parte delle riflessioni laterali precedentemente discusse siano riconducibili ad un agglomerato di origine antropica presente sul fondale;
- ad una profondità variabile arealmente dai 7 m ai 11 m circa spingendosi fino al largo si evince un pacco di strati contrassegnati da una facies acustica trasparente con uno spessore medio che è variabile. Presumibilmente il pacco di depositi si può ricondurre ad una lente di sedimenti sciolti di granulometria varia da brecce a sabbie grossolane che spostandosi verso il largo passano a sabbie medie fini. Lo spessore di questa lente varia in tutta l'area da pochi centimetri a 2,0 metri circa. La presenza di questo è

giustificata dal notevole apporto sedimentario da parte del Fiume Oreto, che si evince in maniera netta nelle figure;

- da un riflettore, al disotto dei sedimenti sciolti fin qui descritti o anche senza essere associato ad essi, che appare contrassegnato da una forte riflessione con una geometria che tende ad essere subpianeggiante con una leggera immersione verso il largo. Questo riflettore si presenta con un alto grado di assorbimento del segnale acustico, al disotto del quale il segnale non riesce più a penetrare in maniera efficace non concedendo più riflessioni o concedendone solo in alcuni tratti.

Questo ultimo riflettore è probabilmente attribuibile al tetto della formazione di calcarenite bioclastica del Pleistocene superiore composta da clasti di origine sia organogena che clastica. Inoltre il riflettore rifacentesi a questa formazione si presenta a tratti poco lineare, fenomeno probabilmente scaturito dal fatto che la roccia in questione ha subito un'erosione di tipo chimico combinata con quella di tipo meccanico, a causa del rimaneggiamento continuo dei materiali prodotto dal moto ondoso, quindi anche quest'ultima ha contribuito alla formazione di sedimenti sciolti di taglia da grossolana a fine. Tutto ciò evidenzia la funzione di piattaforma d'abrasione che aveva durante il quaternario.

In generale dalle indagini geofisiche correlate con i dati di stratigrafia e di geomorfologia dei fondali nell'ambito degli studi di supporto al Nuovo Piano Regolatore Portuale, si può affermare che l'area in studio sia contraddistinta da un substrato roccioso subpianeggiante (rifacentesi ad una piattaforma d'abrasione lapideo calcarenitica – sabbiosa di età quaternaria, con plaghe di coperture detritiche ed alluvionali) che affiora o direttamente sul fondale marino o al disotto di una lente di sedimenti sciolti, di taglia mista da grossolana a fine, con spessore compreso tra pochi centimetri e 2 m circa.

Nella figura 18 è mostrato un profilo di SBP acquisito fissando una frequenza di 8 kHz, in questo si evincono gli elementi bati-stratigrafici che caratterizzano l'area delle opere in progetto della darsena turistica di S. Erasmo. Dall'analisi dei riflettori e delle facies acustiche del profilo P11 si può dedurre indirettamente la presenza di una lente di sedimenti a granulometria media fine, spesso poco meno di 1 m, presente dalle profondità di 8 m circa che si spinge lungo la zona inshore ed un sottile spessore di detrito di taglia grossolana assimilabile a blocchi e brecce nei pressi della costa. Rilevante è la presenza di un riflettore, con "forte" risposta acustica, con una geometria subpianeggiante ed una leggera immersione verso il largo. Quest'ultimo pacco litologico è probabilmente riconducibile alla presenza di un substrato roccioso, comparabile alla calcarenite del Pleistocene sup. che affiora vicino costa nella parte emersa. Più in basso si vede un riflettore, contrassegnato come "multipla" generato dal fenomeno di riflessione multipla.



Figura 17: Carta delle rotte, in rosso le rotte dei profili tutti e in bianco è evidenziata la rotta del P11.

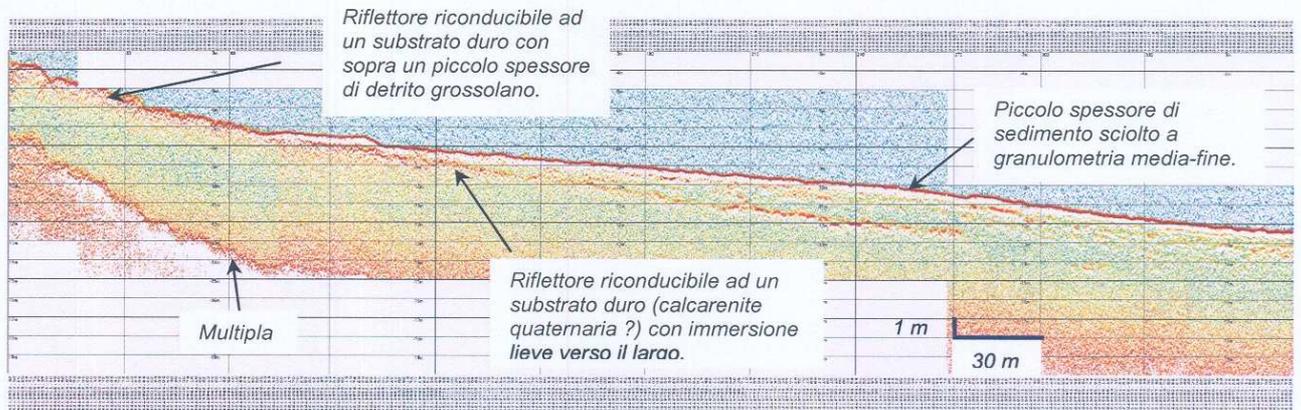


Figura 18: Profilo 11, vedi testo.