



**Arena Sub** s.r.l.  
Diving and Marine contractor



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare di Sicilia Occidentale

## Relazione illustrativa dei rilievi TOPOGRAFICI, BATIMETRICI e BIOCENOTICI

eseguiti nell'ambito del Progetto esecutivo per il  
COMPLETAMENTO DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO  
DEL PORTO DELL'ARENELLA (PALERMO)



R.O.V. & MARINE  
CONTRACTOR  
COMMERCIAL DIVING  
GEOTECHNICAL



Certifications:  
- NDT  
- In-water Survey  
- Service Supplier & Industry



OCEANOGRAPHIC SURVEY  
GEOPHYSICAL SURVEY  
VESSEL





## **Relazione illustrativa dei rilievi TOPOGRAFICI, BATIMETRICI e BIOCENOTICI**

eseguiti nell'ambito del Progetto esecutivo per il  
**COMPLETAMENTO DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO  
DEL PORTO DELL'ARENELLA (PALERMO)**

### Elenco revisioni

10.02.2023	1	Agg. layout progetto, correzioni riferimenti errati	MORFEA F.A.	
19.08.2021	0	Prima emissione	MORFEA F. A. GIORDANO. G.	ARENA G.
Data	Rev.	Descrizione	Redatto	Approvato
Emissione				

A TERMINI DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO DOCUMENTO CON DIVIETO DI RIPRODURLO ANCHE IN PARTE, O DI RENDERLO NOTO A TERZI

# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
1.1 AREA D'INDAGINE.....	6
<b>2. ATTREZZATURE RILIEVI TOPO-BATIMETRICI.....</b>	<b>7</b>
2.1 MEZZO NAUTICO .....	7
2.2 ATTREZZATURE PER I RILIEVI MARINI .....	7
2.2.1 Ecoscandaglio Multibeam RESON SeaBat 7125.....	8
2.2.2 Sensore di Navigazione Inerziale APPLANIX POS MV WAVEMASTER .....	8
2.2.3 Software di navigazione e acquisizione dati batimetrici.....	9
2.2.4 Sonda profilatrice delle velocità del suono VALEPORT Swift SVP .....	9
2.2.5 Side Scan Sonar EDGETECH 4125 (400-900 kHz) .....	9
2.3 ATTREZZATURE PER IL RILIEVO TOPOGRAFICO DELLE AREE EMERSE .....	10
2.3.1 Sistema UAV multirottore PARROT- ANAFI.....	10
2.3.2 GPS RTK TOPCON GR3.....	10
<b>3. METODOLOGIE INDAGINI TOPO-BATIMETRICHE.....</b>	<b>11</b>
3.1 DATUM GEODETTICO.....	11
3.2 METODOLOGIA DEL RILIEVO BATIMETRICO .....	11
3.2.1 Geometria e configurazione strumenti a bordo .....	11
3.2.2 Posizionamento e riferimento altimetrico.....	12
3.2.3 Calibrazioni.....	13
3.2.4 Esecuzione del rilievo .....	14
3.3 METODOLOGIA DEL RILIEVO SIDE SCAN SONAR .....	15
3.4 IL RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO .....	17
3.4.1 Principi metodologici .....	17
3.4.2 Pianificazione dei voli.....	18
3.4.3 Rilievo topografico dei punti di appoggio.....	19
3.4.4 Acquisizione dei dati (volo drone).....	19
<b>4. ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DATI .....</b>	<b>20</b>
4.1 ELABORAZIONE AEROFOTOGRAMMETRICA.....	20
4.2 ELABORAZIONE DATI BATIMETRICI .....	22
4.3 ELABORAZIONE DATI SIDE SCAN SONAR .....	24
<b>5. INDAGINI DELLE COMUNITÀ BIOLOGICHE DEI FONDI MOBILI.....</b>	<b>26</b>
5.1 GENERALITÀ.....	26
5.1.1 Macrozoobenthos ed indagini ambientali .....	26
5.2 ATTIVITÀ DI CAMPO .....	28
5.3 ATTIVITÀ DI LABORATORIO.....	29
<b>6. RISULTATI .....</b>	<b>31</b>
6.1 CARATTERIZZAZIONE DEI FONDALI E DELLE PRINCIPALI BIOCENOSI PRESENTI.....	31
6.2 IMMAGINI ACQUISITE SUI FONDALI OGGETTO DELLE INDAGINI.....	33
6.2.1 Transetto 1 .....	33
6.2.2 Transetto 2 .....	36
6.2.3 Transetto 3 .....	39
6.2.4 transetto 4.....	42
6.3 STIMA DEGLI IMPATTI SULLE PRINCIPALI FITOCENOSI PRESENTI .....	45
6.4 INDAGINI COMUNITÀ MACROZOOBENTONICA.....	46
6.4.1 Qualità dell'ambiente.....	47
6.4.2 Conclusioni.....	50
6.5 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA BIOLOGICA .....	50
<b>7. ALLEGATI.....</b>	<b>51</b>

# 1. Introduzione

La scrivente società ARENASUB Srl con sede in Messina ha ricevuto l'incarico da parte dell'Autorità di Sistema Portuale del mare di Sicilia Occidentale, di svolgere dei rilievi specialistici negli specchi acquei circostanti il porto dell'Arenella di Palermo a supporto della progettazione esecutiva dei lavori di completamento della diga foranea del porto dell'Arenella a seguito dell'approvazione del nuovo Piano Regolatore Portuale che ha modificato la sagoma della testata rispetto al piano previgente.

In particolare il progetto di sviluppo dell'attuale porto prevede la messa in sicurezza ed il potenziamento delle attività per la nautica attraverso l'allungamento della porzione terminale della diga foranea. Tale soluzione determinerà la creazione di nuovi posti barca e servizi adeguati alle esigenze della nautica da diporto, nonché il mantenimento delle attività pescherecce già presenti.

L'opera in progetto si estenderà per circa 140 m, partendo dall'attuale molo presente ed interesserà una porzione di fondale pari a circa 1.66 ha. Di questi 0.27 ha sono già occupati da strutture artificiali riconducibili all'attuale molo stesso, le restanti superfici sono invece interessate da fondi mobili e non.

Le attività descritte nel presente documento sono state eseguite tra l'11 giugno e il 7 luglio 2021 e riguardano le metodologie, le attrezzature ed i risultati conseguiti a seguito dei rilievi topografici con APR, batimetrici con Multibeam Echosounder, biocenotici con Side Scan Sonar e successivo campionamento eseguiti in accordo con le specifiche tecniche stabilite nell'All. 1 – Piano Indagini Integrative del 16 ottobre 2020.

## 1.1 Area d'indagine

La aree d'indagine si articolano in funzione del tipo di rilievo richiesto e riguardano gli specchi acquee indicati in Figura 1- A, B, C, rispettivamente per i rilievi batimetrici (0.085 km<sup>2</sup> davanti la spiaggia della Vergine Maria e 0.6 km<sup>2</sup> per il porto dell'Arenella), per il rilievo topografico APR della testata (circa 1 ha) e per l'aggiornamento della carta biocenotica la cui superficie si estende per circa 25 ha nella porzione di fondale prospiciente l'attuale sopraflutto del porticciolo dell'Arenella (C) in tale porzione di fondale è anche rappresenta l'impronta dell'opere in progetto di cui il presente studio è il principale supporto per le successive valutazioni progettuali e di supporto allo studio di valutazione ambientale e del rischio archeologico.

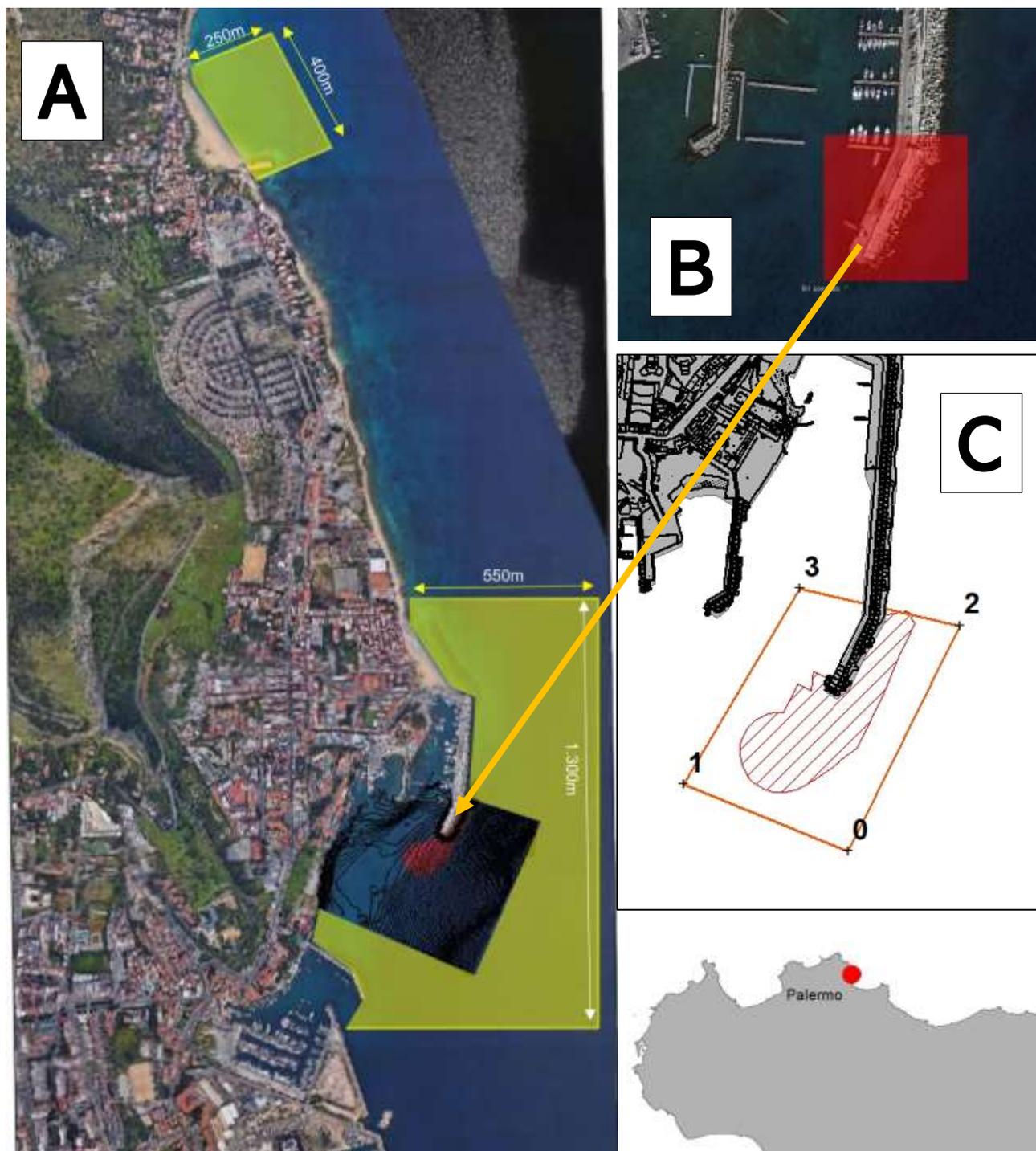


Figura 1. Aree dei rilievi batimetrici (A), topografici con APR (B), Biocenotici (C)

## 2. Attrezzature rilievi topo-batimetrici

I rilievi sono stati eseguiti con la strumentazione di seguito descritta, si rimanda alle schede tecniche allegate per le specifiche e i dettagli prestazionali dei singoli strumenti.

### 2.1 Mezzo nautico

L'imbarcazione utilizzata è un cabinato con doppia motorizzazione entro bordo denominata "Valerio" avente lunghezza di 10 m. Il mezzo, di proprietà della ditta Arena Sub Srl, è iscritta al registro delle navi minori e galleggianti della Capitaneria di Porto di Messina con destinazione d'uso "Servizi speciali oceanografici".

Il mezzo bimotores consente grande manovrabilità e, grazie al pescaggio contenuto, è adatta alle operazioni sotto costa e in ambito portuale. E' inoltre dotata di ampi spazi per la strumentazione ed una gruetta per la movimentazione ed il varo di attrezzature più pesanti. Particolare importante è che la barca ha il palo per l'installazione del MultiBeam (o altri strumenti) in posizione fissa (ma basculante) e la posizione (offset) di tutti i sensori è già stata misurata staticamente a secco tramite teodolite per cui non necessitano nuove misure ad ogni rilievo riducendo drasticamente i tempi di setup.

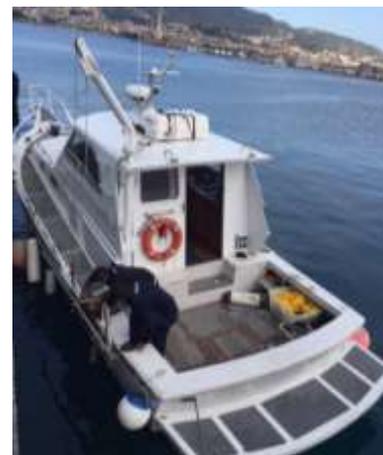


Figura 2. La Motobarca "Valerio"

### 2.2 Attrezzature per i rilievi marini

Le attrezzature utilizzate sono elencate di seguito:

	Strumentazione
Sistema di Navigazione Inerziale (INS)	APPLANIX POS MV Wavemaster
Ecoscandaglio MultiBeam (MBES)	TELEDYNE-RESON Seabat 7125 (200-400 kHz)
Sonda profilatrice della velocità del suono (SVP)	VALEPORT SWIFT SVP
Sonda per la misura in situ della velocità del suono (SVS)	VALEPORT Mini SVS
Software di navigazione e acquisizione/elaborazione dati batimetrici	TELEDYNE PDS
Sonar a Scansione Laterale (SSS)	EDGETECH 4125

Tabella 1. Elenco attrezzature per i rilievi marini

### 2.2.1 Ecoscandaglio Multibeam RESON SeaBat 7125

I dati batimetrici sono stati acquisiti tramite l'utilizzo di un ecoscandaglio multifascio (*Multibeam*) RESON SEABAT 7125 funzionante a doppia frequenza 200-400 kHz.

Il sistema Multibeam 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 fino a 160°), fino a 5 volte la profondità di lavoro. Il modello utilizzato, inoltre, ha un'altissima risoluzione e permette di ricavare batimetrie molto dettagliate.

Il trasduttore è stato montato a palo lungo la fiancata sinistra dell'imbarcazione. Il sistema è gestito da una sistema integrato Hardware-Software che gestisce la parte dei controlli sul sonar e l'acquisizione dati tramite il software TELEDYNE PSD® che si occupa di gestire il flusso di dati dai vari sensori (compreso IMU e sonda SVP), gestire la navigazione, visualizzare e registrare i dati georiferiti secondo il datum geografico preimpostato.

Il software PDS è interfacciato con il sensore di navigazione inerziale e assetto ed effettua la correzione dinamica dei movimenti di rollio, beccheggio, heave e orientamento.

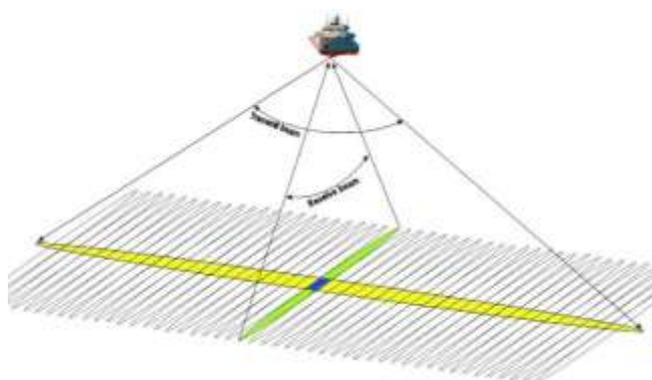
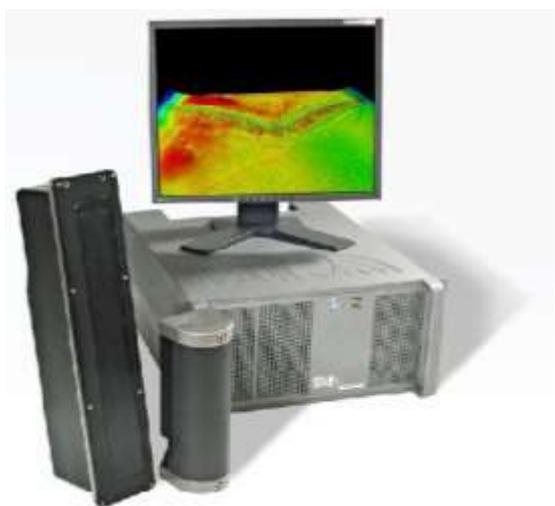


Figura 3. A sx Multibeam RESON SEABAT 7125 (Trasduttori TX-RX, Sonar Processor/Computer e e Display). In alto schema di funzionamento.

### 2.2.2 Sensore di Navigazione Inerziale APPLANIX POS MV WAVEMASTER

Per il posizionamento e la misura di assetto dell'imbarcazione è stato utilizzato un sensore di navigazione inerziale APPLANIX POSMV WAVEMASTER. La serie POS (*Position Orientation System*) è costituita da sensori che rappresentano lo stato dell'arte per la navigazione inerziale *Tactical Grade* e per la correzione dinamica di sistemi di misura multi-punto quali Multibeam Echosounder o Laser Scanner dinamici. La versione MV (Marine Vessel) è specificamente indicata per imbarcazioni incorporando la funzione True Heave per la misura del movimento verticale (heave) dell'imbarcazione dovuto all'onda.

Il sistema misura con estrema precisione la posizione, i movimenti angolari (Rollio, Beccheggio) le accelerazioni nei tre assi fornendo una soluzione a 6 gradi di libertà del mezzo in movimento.

Il sensore è costituito da una coppia di antenne con funzione di posizionamento e GAMS (*GPS Azimuth Measurement Subsystem*) per la misura dell'angolo rispetto al Nord, un sensore di moto (IMU) dotato di accelerometri allo stato solido per la misura delle accelerazioni angolare ed orizzontali e di una unità di elaborazione dei dati la quale viene interfacciata con il software di acquisizione dati e il Multibeam. Il sistema funge anche da orologio di sincronizzazione dei dati con il tempo UTC in maniera rigorosa e precisa.



Figura 4. Applanix posmv wavemaster. (imu, pcs e antenne gps)

### 2.2.3 Software di navigazione e acquisizione dati batimetrici

Per la navigazione è stato usato il software TELEDYNE-RESON ® PDS. Il programma consente di effettuare la navigazione con guida in linea e segnalazione del fuori rotta, permette di disegnare linee di navigazione, rotte, poligoni oltre che utilizzare cartografia di sfondo. Esso può essere interfacciato con moltissimi strumenti (GPS, ecoscandagli, magnetometri, girobussole, MultiBeam ecc.) e registrarne i dati. Consente la trasformazione di coordinate in tempo reale, il calcolo di tutti i parametri di navigazione e prevede una serie di visualizzazioni grafiche complesse di tutti i parametri di acquisizione e il controllo di qualità in tempo reale.

### 2.2.4 Sonda profilatrice delle velocità del suono VALEPORT Swift SVP

Le sonde Valeport Swift SVP e Mini SVS sono del tipo a misura diretta (non derivata da altri parametri). Si basano sul principio acustico e utilizzano un trasduttore e relativa contropiastra per la misura diretta della velocità del suono (tipo ecoscandaglio). La SwiftSVP ha inoltre un sensore di temperatura e di pressione per determinare la profondità cui riferire le varie misure ed un ricevitore GPS per geolocalizzare le misure e un datalogger interno dal quale scaricare i dati da importare sul software di acquisizione dati.

La MiniSVS è interfacciata direttamente con il Sonar Processor del Multibeam e viene usata per il Beam Steering dei dati..



Figura 5. Sonde VALEPORT Swift SVP (sopra) e MiniSVS (sotto)

### 2.2.5 Side Scan Sonar EDGETECH 4125 (400-900 kHz)

Il Side Scan Sonar Edgetech 4125 appartiene alla famiglia dei sonar a scansione laterale ad altissima risoluzione. Il modello utilizzato opera in doppia frequenza simultanea (400/900 kHz) con impulso acustico a tecnologia CHIRP la quale fornisce immagini ad altissima risoluzione con un incremento del range laterale di oltre il 50% rispetto ai sonar ad impulso non-CHIRP (*continuous wave*). Il sistema è leggero e facilmente operabile da una sola persona. La risoluzione angolare è di  $0.46^\circ$  @ 400 kHz e  $0.28^\circ$  @ 900 kHz, che si traduce in una risoluzione spaziale (*across track*) di 2.3 cm @400 kHz e di 1.5 cm @ 900 kHz, con range massimo di 150m @400 kHz e 75 m @900 kHz.



Figura 6. SSS Edgetech 4125

## 2.3 Attrezzature per il rilievo topografico delle aree emerse

Per il rilievo aerofotogrammetrico sono stati utilizzati un Sistema UAV multirottore (drone) con software di programmazione e gestione del volo (Mission Planner), un GPS RTK per il rilievo dei punti di appoggio fotogrammetrici (GCP) e il software per l'elaborazione dei fotogrammi e la realizzazione di Ortofoto e DEM

- UAV (Drone) PARROT ANAFI
- GPS per rilievi topografici TOPCON GR3

### 2.3.1 Sistema UAV multirottore PARROT- ANAFI

Il PARROT ANAFI è un drone compatto equipaggiato con uno stabilizzatore a 3 assi e ricevitore GPS/Glonass integrato che permette al modello una grande stabilità. Il Radiocomando ha una portata di circa 4 km. L'autonomia di volo è di 25 min. Il pilotaggio avviene tramite app su dispositivo mobile (smartphone o tablet).

Il DJI Mavic 2 Pro è equipaggiato con una camera Sony professionale da 21MP, con sensore CMOS da 1/2.4" in grado registrare video fino alla risoluzione di 4096 x 2160 pixel @24 fps (4K cinema) ovvero 3840 x 2160 @ 24/25/30 fps (4K UHD) e di scattare foto in formato JPEG e DNG (RAW). La videocamera è montata su un gimbal a 3 assi ibrido che contribuisce a stabilizzare le immagini, con un FOV di 69° e un'apertura f/2.4.

- Sensore Sony® 1/2.4" 21MP CMOS\*
- Lente Grandangolare f/2.4 ASPH
- Lunghezza focale 35 mm equivalente: 23-69mm (foto), 26-78mm (video)
- Compatibile con Adobe DNG/RAW



Figura 7. ANAFI Parrot

### 2.3.2 GPS RTK TOPCON GR3

I rilievi topografici per l'acquisizione dei punti di appoggio fotogrammetrici sono stati condotti mediante rilievo GPS differenziale in modalità RTK (REAL TIME KINEMATIC) che garantiscono una precisione centimetrica delle coordinate planimetriche del punto rilevato. Il GPS utilizzato è il modello Topcon GR3, costituito da un ricevitore doppia frequenza integrato con l'antenna e da un controller per il settaggio delle impostazioni e l'archiviazione dei dati del rilievo (creazione del progetto di rilievo, impostazione della modalità di acquisizione, settaggio della geometria di acquisizione, ecc).

Nelle tabelle che seguono si riportano le caratteristiche tecniche del sistema:

Tabella 2. Principali dati tecnici del GPS RTK Topcon GR3

TOPCON GR3	
Tipologia ricevitore	Real Time (RTK/VRS) e postprocessing
Tecnologia di tracciamento	G3
Canali	72
Tipo di soluzione	Fixed/Float
Antenna	Integrata
GPS	L1, L2, L5
Glonass	L1, L2, L5
Galileo	Tutti i segnali
SBAS	WAAS/EGNOS
Precisione RTK	H: ± 10 mm + 1 ppm V: ± 15 mm + 1 ppm
Statica in post-elaborazione	H: ± 3 mm + 0.5 ppm V: ± 5 mm + 0.5 ppm



Figura 8. GNSS TOPCON GR3

## 3. Metodologie indagini topo-batimetriche

### 3.1 Datum geodetico

Tutti i rilievi sono stato inquadrati nel sistema di riferimento geodetico nazionale ETRF2000 ai sensi del D.M. 10 novembre 2011. Tale sistema è basato su una rete di stazioni permanenti, denominata RDN (Rete Dinamica Nazionale) facente parte del riferimento geodetico europeo ETRS89 e che ne rappresenta la materializzazione (cioè la determinazione delle coordinate) all'anno 2008 ma riferita al 2000 da cui ETRF2000(2008). Hai fini cartografici della scala del rilievo l'indicazione ETRS89 e ETRF2000 sono equivalenti. Le coordinate geografiche sono state convertite in coordinate piane con proiezione nel sistema UTM (*Universal Transverse Mercator*) fuso 33 i cui parametri sono riassunti nella tabella che segue.

Parametri Geodetici	
Datum	ETRF89
Ellissoide:	WGS84
	Semiassse maggiore: $a = 6\,378\,137$ m
	Semiassse minore: $c = 6\,356\,752,3142$ m
	Schiacciamento: $f = 1/298,257223563$
Proiezione:	UTM fuso 33 (Universal Transverse of Mercator)
Origine Longitudine:	15°00'00"
Falso Est:	500 000
Falso Nord:	0
Fattore di scala	0.9996

Tabella 3. Parametri geodetici e cartografici.

### 3.2 Metodologia del rilievo batimetrico

#### 3.2.1 Geometria e configurazione strumenti a bordo

La motobarca Valerio ha una configurazione fissa degli strumenti, con offset misurati per via topografica in cantiere a secco e pertanto non necessita di ulteriori misure in fase di installazione. Questo consente una maggiore rapidità di setup iniziale e migliora enormemente la qualità delle misure. L'installazione segue lo schema e gli interfacciamenti mostrati in Figura 9. In particolare la TopSide Unit che gestisce il Multibeam funge sia da Sonar Processor che da computer di navigazione/acquisizione dati mediate il software TELEDYNE PDS.

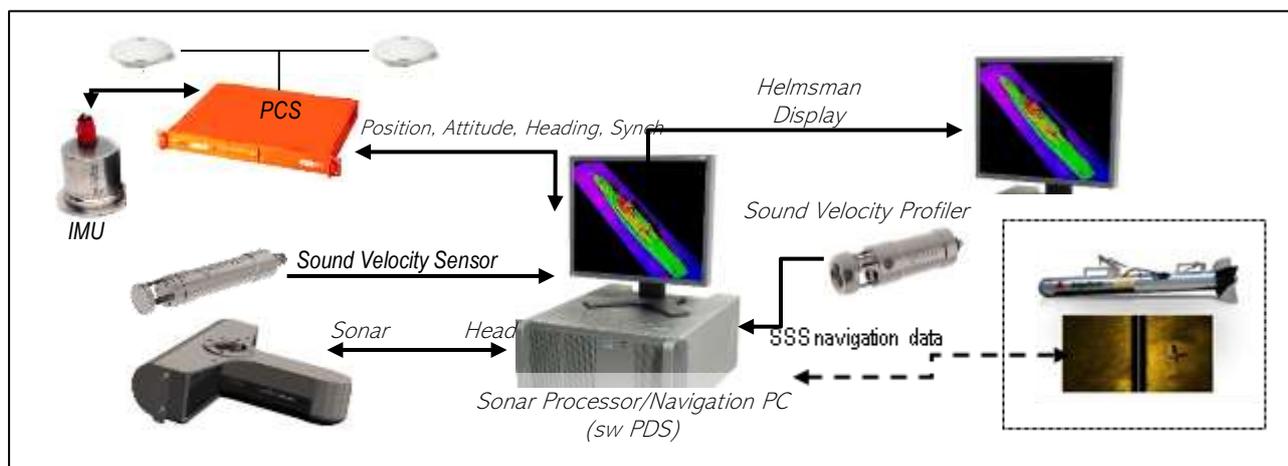


Figura 9. Layout delle connessioni strumentali

Il software PDS riceve e sincronizza i dati provenienti da tutti i sensori e li georiferisce in accordo alla posizione ricevuta dal sistema di navigazione inerziale.

Le due antenne GPS della piattaforma inerziale (INS) sono installate sul tetto dell'imbarcazione, allineate trasversalmente ad una distanza reciproca di circa 2m, tale da permettere l'accuratezza strumentale necessaria al corretto calcolo della direzione geografica. Il sensore di moto (IMU) è installato in prossimità del centro di gravità della barca.

Il sistema di navigazione (INS) fornisce anche l'informazione temporale (*Timestamp*) attraverso il segnale 1-PPS per la necessaria sincronizzazione dei dati. Il trasduttore MultiBeam è stato installato su palo sulla fiancata sinistra dell'imbarcazione in configurazione con testa inclinata (circa 20°).

Le geometrie e gli offset sono indicati in Figura 10.

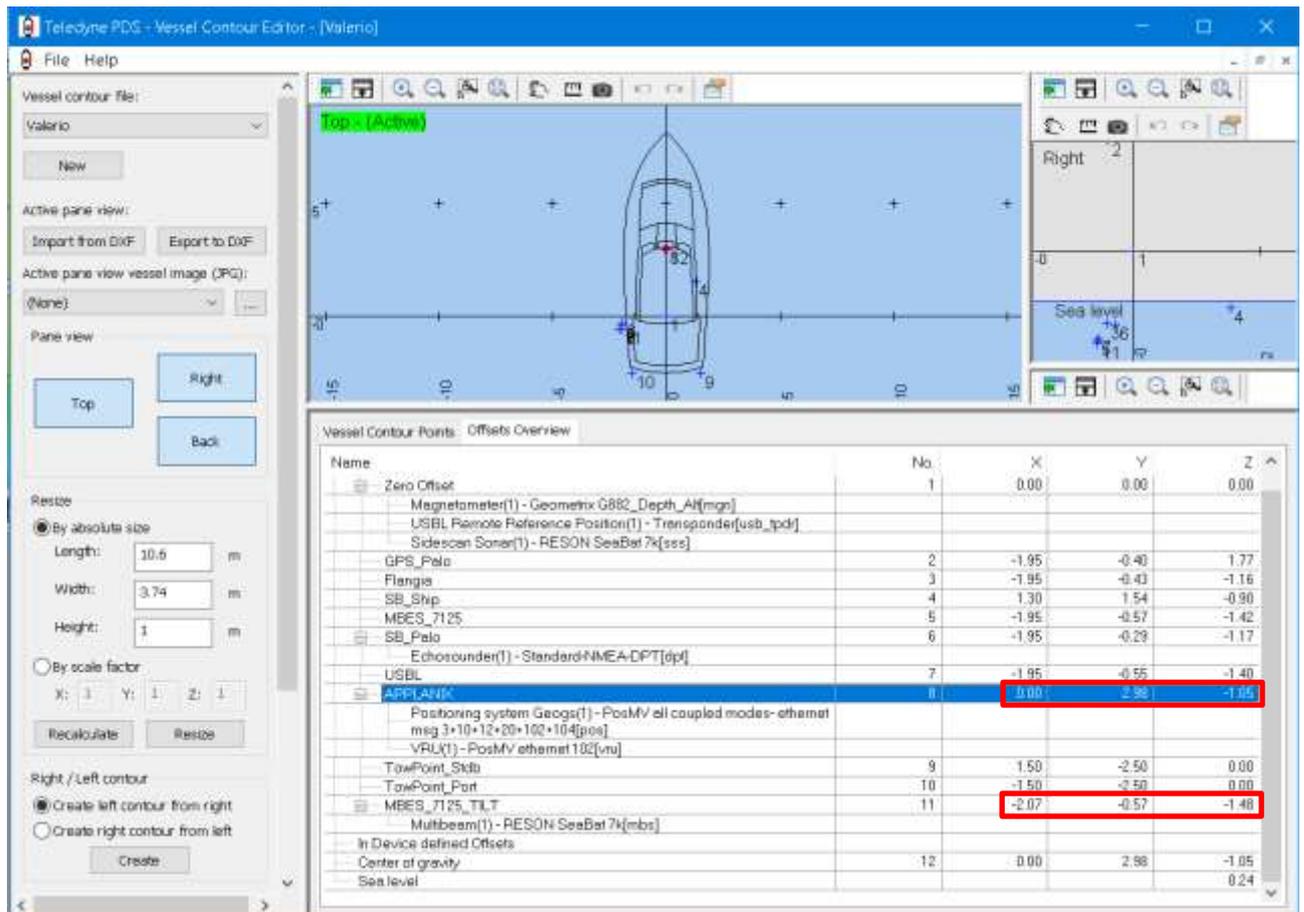


Figura 10. Vista in pianta degli offset strumentali a bordo dell'imbarcazione.

Infine, prima di procedere al rilievo sono stati verificati gli strumenti, gli interfacciamenti e la configurazione software (offset, piano di rotte ecc.), sono stati eseguiti quindi tutti i test di corretto funzionamento (*Quality check e Pre-survey check*).

### 3.2.2 Posizionamento e riferimento altimetrico

Il posizionamento dell'imbarcazione e, quindi, la georeferenziazione dei dati, è stata attuata mediante il sistema di navigazione inerziale Applanix POS MV Wavemaster (cfr § 2.2.2), dotato doppia antenna GNSS per la misura di Posizione, Heading con tecnica IARTK – *Inertial Aided Real Time Kinematic* con correzioni differenziali via protocollo NTRIP dalla rete di Stazioni Permanenti ITALPOS (certificata dall'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE) operata da LEICA GEOSYSTEM. Il sistema raggiunge una precisione centimetrica sia in planimetria che in quota. Come riferimento verticale in campo è stato utilizzato il livello del mare al quale sarà poi applicata (in post processing) la correzione di marea con i dati del mareografo di Palermo (mareografo della rete mareografica nazionale).



Figura 11. Schermata di controllo dell'APPLANIX con parametri di qualità sul posizionamento e assetto.

### 3.2.3 Calibrazioni

L'imbarcazione Valerio avendo una installazione fissa degli strumenti (MBES, INS, ANTENNE, ecc.) necessita soltanto di procedure di verifica e di controllo ad ogni rilievo. La prima operazione prima dell'avvio della calibrazione MultiBeam è stata la *Procedura di alignment dell'INS*, che si esegue percorrendo una rotta curvilinea al fine di verificare/raggiungere la massima accuratezza da parte dell'IMU, tenuto conto che l'apparato era stato acceso con largo anticipo la procedura ha dato subito esito positivo.

Preliminarmente alla calibrazione del Multibeam e all'acquisizione dati è stata registrata la velocità del suono lungo la colonna d'acqua tramite sonda SVP ed inserita nel software per il corretto calcolo della profondità (Figura 12 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

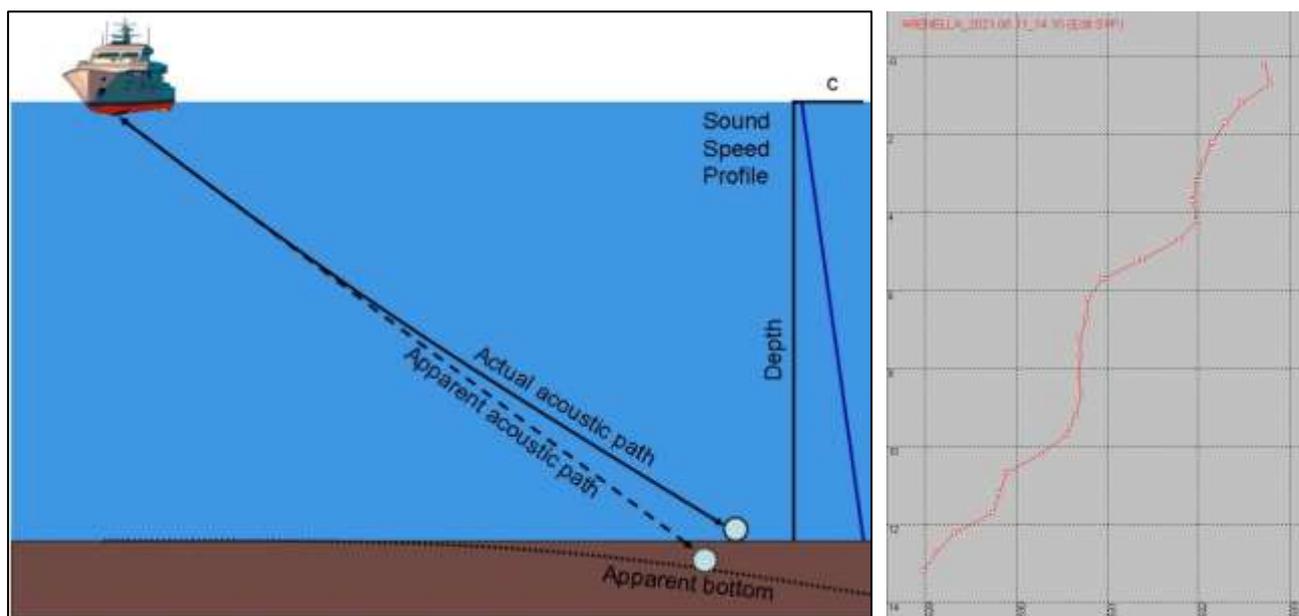


Figura 12. (sx) Percorso acustico in funzione della velocità del suono. (dx) Profilo registrato in area lavoro.

La calibrazione MBES è stata quindi eseguita registrando alcune linee secondo lo schema raccomandato dalle buone pratiche (*due linee in verso opposto per Pitch e Roll e due linee parallele per l'heading*), al fine di determinare gli scostamenti angolari tra gli assi di riferimento del trasduttore e quelli del sensore di moto (Figura 13)

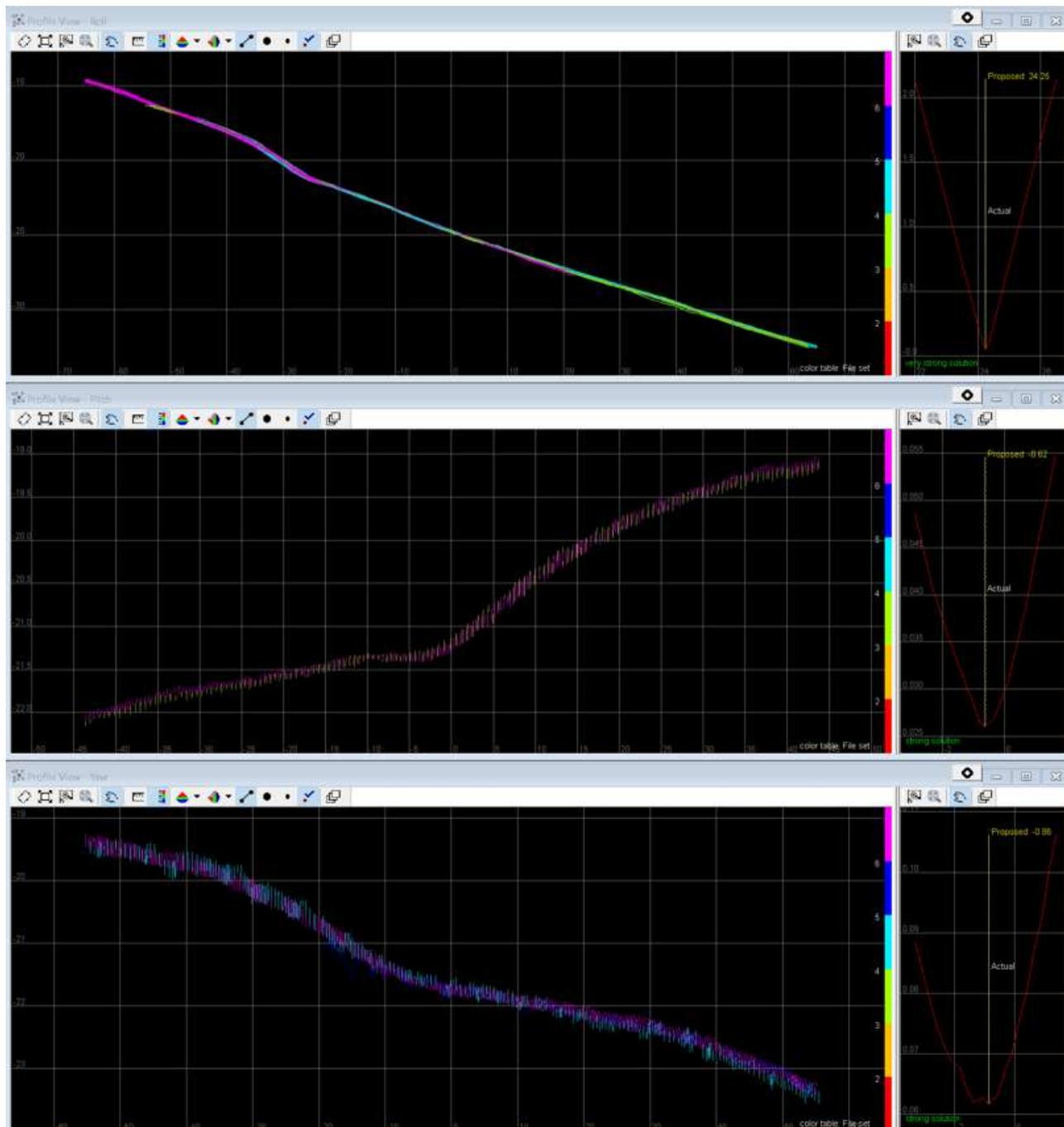


Figura 13. Modulo di calibrazione del Multibeam (Teledyne PDS)

### 3.2.4 Esecuzione del rilievo

L'esecuzione del rilievo è avvenuta in modo da coprire l'intera area d'indagine, secondo linee parallele e/o incrociate, tenendo conto che l'area ha la conformazione golfo con due lati limitanti con la costa e quindi con acque molto basse. La sovrapposizione minima ottenuta è di circa il 30%, mentre in molte parti del rilievo è pari al 100%.

Durante l'acquisizione sono stati applicati pochissimi filtri (*quality filter e flying objects filter*) per eliminare singoli dati spuri o che non raggiungono la soglia di qualità della risposta acustica attribuita dal sistema

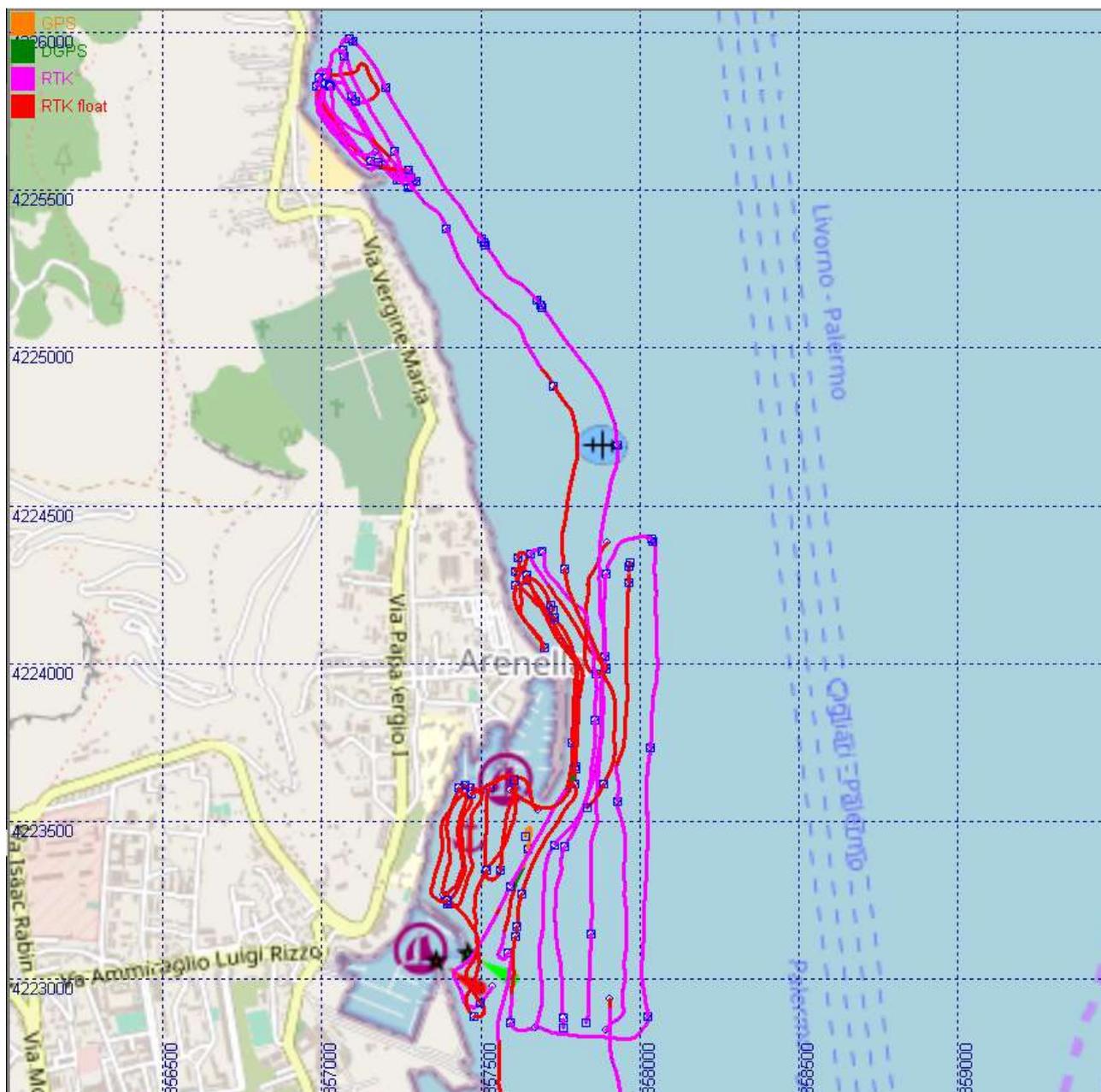


Figura 14. Traccia delle rotte navigate con il Multibeam (in legenda quality control del posizionamento)

### 3.3 Metodologia del rilievo Side Scan Sonar

Il rilievo morfo-acustico con Side Scan Sonar è stato eseguito successivamente a quello MBES, secondo un piano di rotte parallele per come mostrato in Figura 15, con un range laterale di 75m e distanza interlinea di circa 70m in modo da garantire un overlap pari al 100%. Considerata la bassa profondità dei fondali il posizionamento del tow-fish è stato effettuato attraverso il metodo del layback. La lunghezza di cavo è stata mantenuta costante durante ogni singola linea. La lunghezza tra una linea e l'altra è stata aumentata all'aumentare del battente d'acqua in modo da assicurare un'altezza del sensore circa costante dal fondo (circa il 20% del range). Prima dell'inizio delle registrazioni sono stati effettuati dei test in area lavori utili alla scelta dei parametri di gain e TVG ottimali a rendere le immagini più chiare e leggibili possibile.

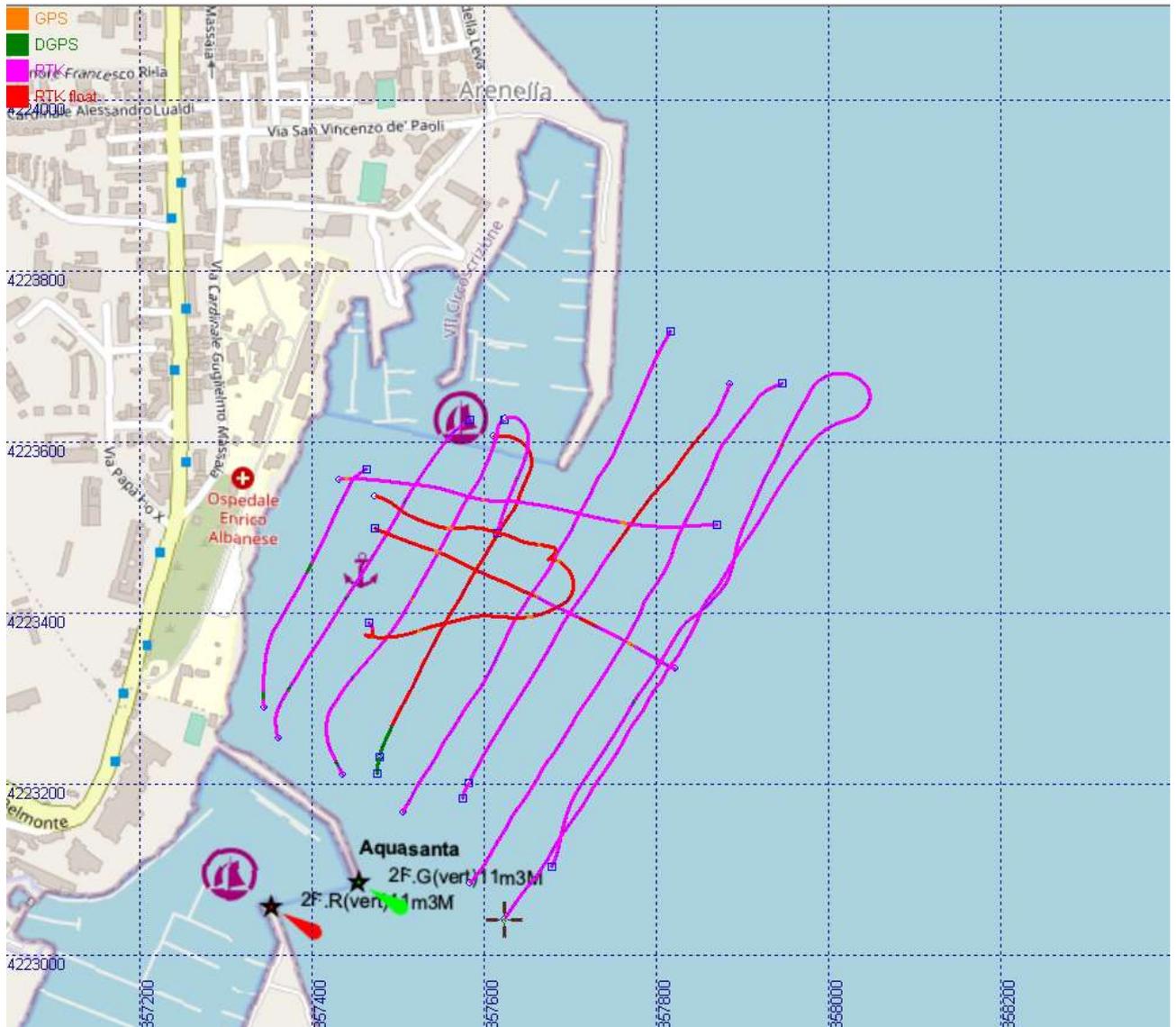


Figura 15. Rotte eseguite per il rilievo morfo-acustico con SSS

Per quanto riguarda il posizionamento la configurazione è la medesima utilizzata per il rilievo MBES (cfr § 3.2)

## 3.4 Il rilievo aerofotogrammetrico

### 3.4.1 Principi metodologici

Il rilievo aerofotogrammetrico è stato eseguito attraverso l'uso di un Aeromobile e Pilotaggio Remoto (APR o UAV = *Unmanned Autonomous Vehicle*) sistemi meglio conosciuti come droni. L'approccio per la realizzazione dei rilievi fotogrammetrici da UAV ricalca fedelmente i principi metodologici della fotogrammetria digitale tradizionale da aereo che permettono di estrarre la morfologia del terreno partendo dalle triangolazioni di coppie di immagini digitali sovrapposte.

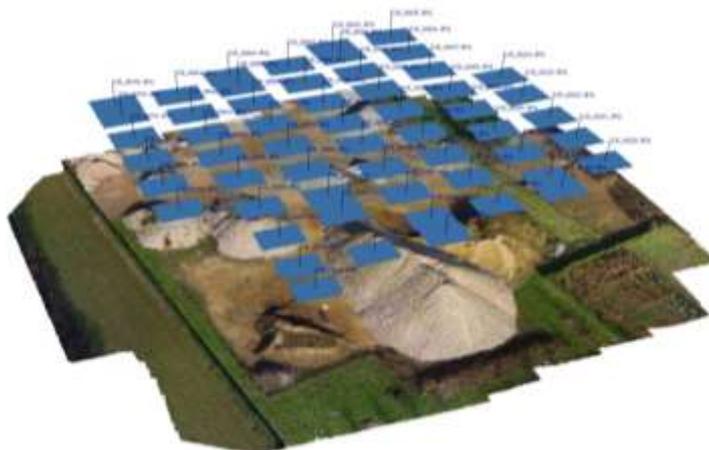
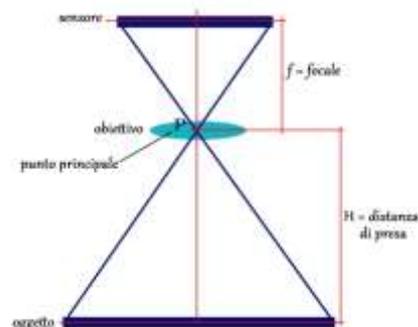


Figura 16. Schema esemplificativo di rilievo aerofotogrammetrico da UAV.

I sistemi UAV rappresentano la naturale evoluzione dell'aerofotogrammetria, con una risposta qualitativa superiore alla topografia classica. Le tecniche di rilievo sono le stesse adottate nel rilievo da aereo, anche se le superfici catturabili in una singola missione sono minori a causa delle quote più basse cui può volare un drone rispetto alla fotogrammetria da aereo (o da satellite). Tale tecnica viene definita infatti fotogrammetria *close-range*.

Il vantaggio principale di questa metodologia consiste nel poter ottenere dati di estremo dettaglio (ortofoto e modelli digitale di elevazione con risoluzione geometriche dell'ordine dei cm/pixel) in tempi notevolmente ridotti rispetto alle tecniche di rilievo tradizionali, anche se, come già detto limitano le superfici rilevabili sono molto minori rispetto a quelle da piattaforma aerea.

Ogni presa va accuratamente progettata al fine di ottenere una **GSD** (*Ground Sampling Distance*) adeguata allo scopo. La Ground Sample Distance rappresenta la distanza tra il centro di due pixel consecutivi espressa in unità di misura territoriale. E' in altre parole, la "quantità" di terreno contenuta in un "campione" di immagine", ossia nella più piccola entità che compone l'immagine stessa: un pixel, essendo la misura del pixel espressa in metri: es.  $GSD = 3\text{cm/pix}$  significa: ogni pixel dell'immagine rappresenta 3 cm di oggetto reale rilevato.



L'elaborazione delle foto registrate da drone permette di ricostruire la morfologia del terreno, con generazione di un DTM (*Digital Terrain Model*) attraverso un algoritmo definito *Structure from Motion* la generazione di una ortoimmagine risultato del mosaico di tutte le singole immagini. La georeferenziazione dei prodotti viene realizzata utilizzando un piccolo numero di punti noti (GCP = *Ground Control Point*), riconoscibili nelle immagini e di cui si conosce con sufficiente precisione la posizione nel sistema di riferimento voluto. Tali GCP possono convenientemente essere scelti successivamente all'elaborazione in maniera tale da poter utilizzare punti che siano accessibili con strumenti di rilievo, ad esempio GPS, e soprattutto facilmente riconoscibili nella nuvola di punti generata.



Figura 17. Ground Control Point (GCP). Punti di appoggio fotogrammetrici per la successiva georeferenziazione dei fotogrammi

Un volo fotogrammetrico è costituito da una sequenza di percorsi rettilinei affiancati detti "strisciate" (Figura 18) i quali devono essere programmati in modo tale che 2 immagini successive prese in una striscia rappresentino una parte comune di territorio per almeno il 60%, cioè tra due fotogrammi consecutivi ci deve essere una sovrapposizione del 60%, mentre tra due strisciate adiacenti la sovrapposizione deve essere di almeno il 20%.

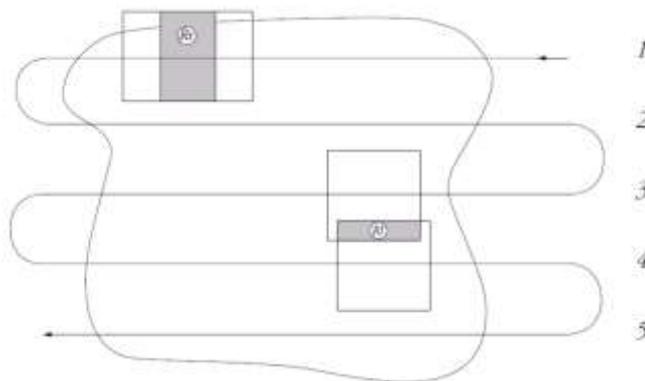


Figura 18. Esempio di maglia di acquisizione fotogrammetrica

La metodologia adottata, concettualmente equivalente a quella della fotogrammetria da aereo, può essere schematizzata nella successione di operazioni che seguono:

- Pianificazione dei voli (mission planning)
- Materializzazione e rilievo topografico dei punti di appoggio fotogrammetrici (GCP)
- Acquisizione dei dati da drone (foto aeree digitali) secondo rotte di navigazione predefinite
- Elaborazione e restituzione dei dati mediante il software di aerofotogrammetria.

### 3.4.2 Pianificazione dei voli

Preliminarmente alla fase di impostazione della missione è stato fatto un sopralluogo per valutare il contesto dell'area di rilievo, la presenza di eventuali ostacoli o situazioni che necessitano attenzione per garantire la sicurezza delle persone e dello strumento. Il sopralluogo, oltre alla valutazione delle problematiche all'avanzamento del UAV, ha permesso di individuare le aree più idonee per il decollo e l'atterraggio e i punti dove posizionare la *Ground Station* ed effettuare il controllo visivo delle operazioni.

Valutata e delimitata l'area di indagine si è proceduto quindi alla pianificazione della missione impostando rotte e quote da far percorrere al drone. Tale operazione risulta anche necessaria al fine della definizione, anche di massima, dei punti dove posizionare i GCP.

### 3.4.3 Rilievo topografico dei punti di appoggio

Al fine di inquadrare topograficamente i fotogrammi e tutti i prodotti derivati è stato eseguito il rilievo tramite GPS differenziale in modalità RTK. Sono stati misurati 12 punti ed inquadrati nel DATUM geodetico di lavoro (cfr. par. 3.1) attraverso l'utilizzo dei grigliati dell'IGM (.GK2) con quota verticale riferita al l.m.m. (zero IGM).

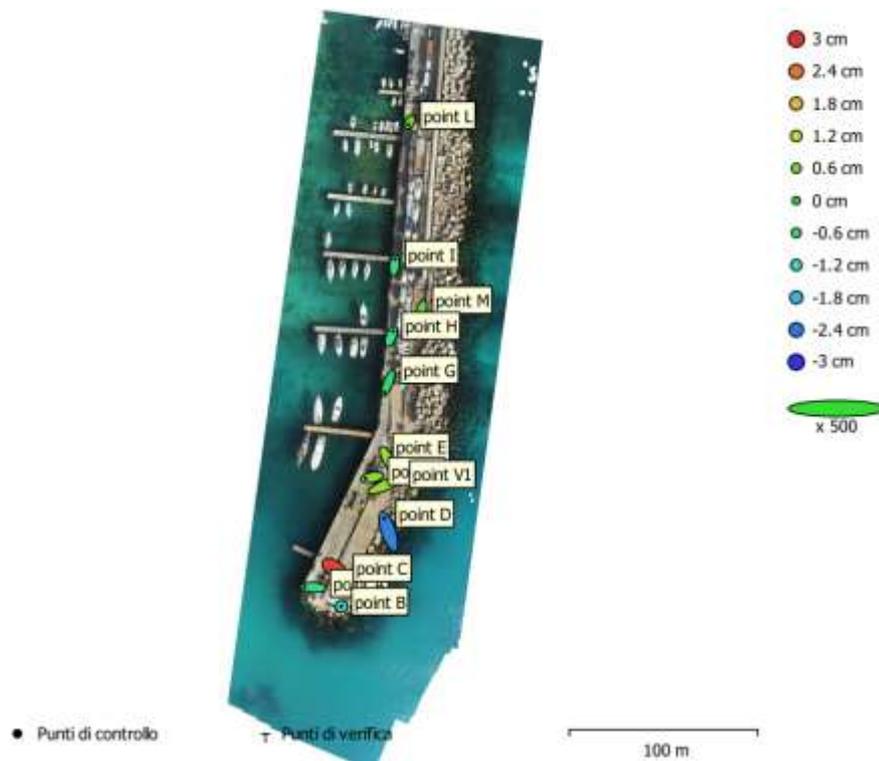


Figura 19. Ubicazione dei punti di controllo a terra (Fonte Ing. G. Giordano)

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)	
✓ point A	357673.331000	4223582.441000	1.254000	0.005000	0.019127	24	0.057	
✓ point B	357692.789000	4223571.993000	2.309000	0.005000	0.013347	22	0.067	
✓ point C	357692.371000	4223589.728000	2.564000	0.005000	0.031613	23	0.137	
✓ point D	357715.479000	4223618.994000	2.308000	0.005000	0.037401	37	0.100	
✓ point E	357719.915000	4223646.374000	2.786000	0.005000	0.021542	30	0.239	
✓ point F	357705.727000	4223640.370000	1.299000	0.005000	0.015724	25	0.193	
✓ point G	357715.578000	4223686.492000	1.393000	0.005000	0.021379	12	0.119	
✓ point H	357720.286000	4223719.192000	1.420000	0.005000	0.014399	20	0.145	
✓ point I	357721.456000	4223757.650000	1.410000	0.005000	0.014315	12	0.135	
✓ point L	357728.406000	4223829.565000	1.397000	0.005000	0.006903	6	0.060	
✓ point M	357734.380000	4223726.918000	2.884000	0.005000	0.013817	14	0.155	
✓ point V1	357724.074000	4223640.185000	2.734000	0.005000	0.032774	19	0.207	
<b>Total Error</b>								
Control points						0.022052	0.152	
Check points								

Figura 20. Elenco dei Ground Control Points

### 3.4.4 Acquisizione dei dati (volo drone)

Per la ripresa delle immagini sono stati effettuati 2 voli con fotocamera quasi nadirale per un'area totale coperta di circa 4.5 ettari con la cattura di 267 fotogrammi da una altitudine di 45m (risoluzione a terra 1.46 cm/pix).

## 4. Elaborazione e restituzione dati

### 4.1 Elaborazione aerofotogrammetrica

L'elaborazione delle immagini avviene con apposito software e si articola in passaggi che vengono eseguiti in sequenza. Nella prima fase avviene la lettura dei parametri di orientamento interno, precisamente la dimensione del sensore e la distanza focale, (dati riportati negli attributi EXIF delle immagini acquisite). Questi valori vengono utilizzati per agevolare la ricerca di punti di collegamento tra i vari fotogrammi determinando una corrispondenza caratteristica. I punti corrispondenti che mostrano un errore significativo (selezionabile dall'operatore) vengono scartati con il metodo dei minimi quadrati.

Il drone utilizzato ha il sensore GPS per cui viene registrata anche la posizione geografica, tale valore, seppur approssimativo, è utile per ricostruire il blocco di immagini e ricercare i punti di collegamento, inoltre fornisce anche una georeferenziazione di massima del blocco e conseguentemente della nuvola di punti generata. I punti di appoggio a terra vengono inseriti nel software e attribuiti manualmente ai relativi target ripresi nelle immagini. Il riconoscimento dei GCP sulle singole immagini è manuale, pertanto l'utente deve prestare la massima attenzione ad evitare errori di stima e comunque posizionamenti approssimativi dei marker in corrispondenza dei GCP a terra. Attraverso i GCP le immagini acquisiscono l'orientamento esterno assoluto necessario per il successivo processamento delle immagini e della nuvola di punti.

Nella fase successiva un algoritmo rigoroso risolve le equazioni di colinearità per determinare le posizioni approssimative dei punti di presa e li affina successivamente utilizzando un algoritmo di regolazione bundle. Ottenuto l'orientamento interno dell'immagine ed affinato mediante i procedimenti di cui sopra, viene ricostruita la nuvola di punti (Dense Cloud) basata su diversi algoritmi, con un approccio multi-view per la ricostruzione rapida.

Nelle fasi successive viene realizzato dapprima il solido e successivamente la mesh a triangoli che generalmente viene semplificata in quanto la generazione a partire dal solido produce un numero di vertici significativo. A seguire viene generato il modello raster DSM interpolando la maglia mesh; chiaramente la dimensione delle celle costituenti il DSM è funzione della dimensione del GSD (Ground Sampling Distance) che a sua volta dipende dalle caratteristiche della camera e dalla quota di volo secondo l'equazione:

Il risultato finale dell'intero processo consiste nella estrazione dei seguenti prodotti:

- DSM = Digital Surface Model = Modello della Superficie 3D, XYZ (contiene edifici, strutture, alberi, ecc.)
- DTM = Digital Terrain Model = Modello del Terreno 3D, XYZ (se i punti della Dense Cloud vengono catalogati manualmente per tipologia è possibile epurare le strutture del modello di superficie ed ottenere il modello del suolo)
- Ortofoto = immagine raster a colori ortorettificata e georeferenziata

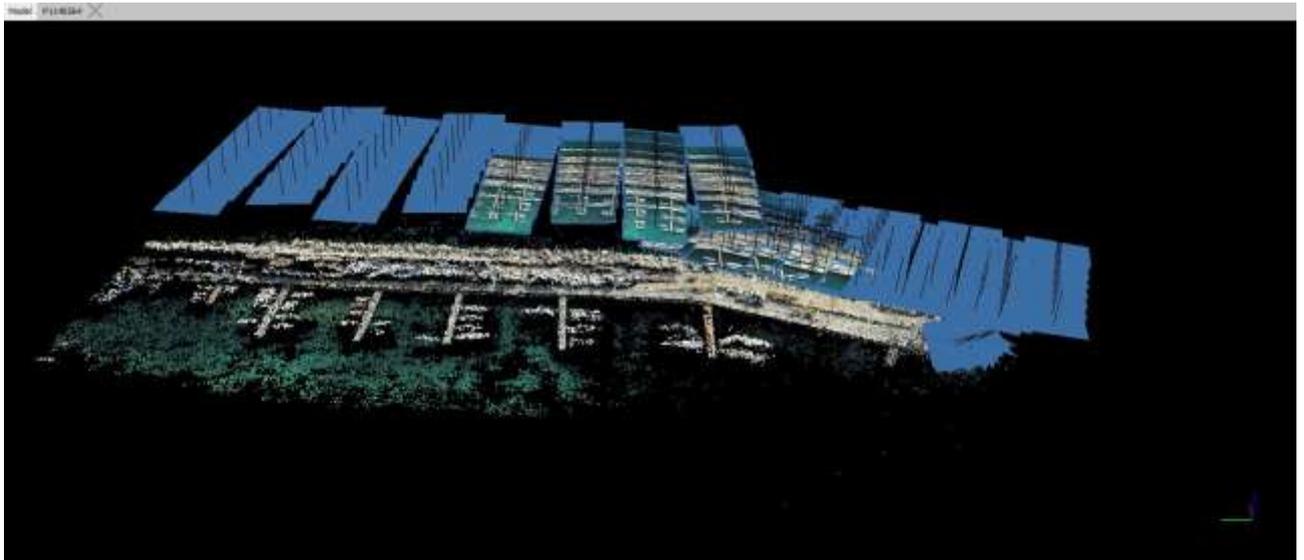


Figura 21. Vista 3D delle posizioni dei punti di ripresa lungo il volo rispetto all'area d'indagine

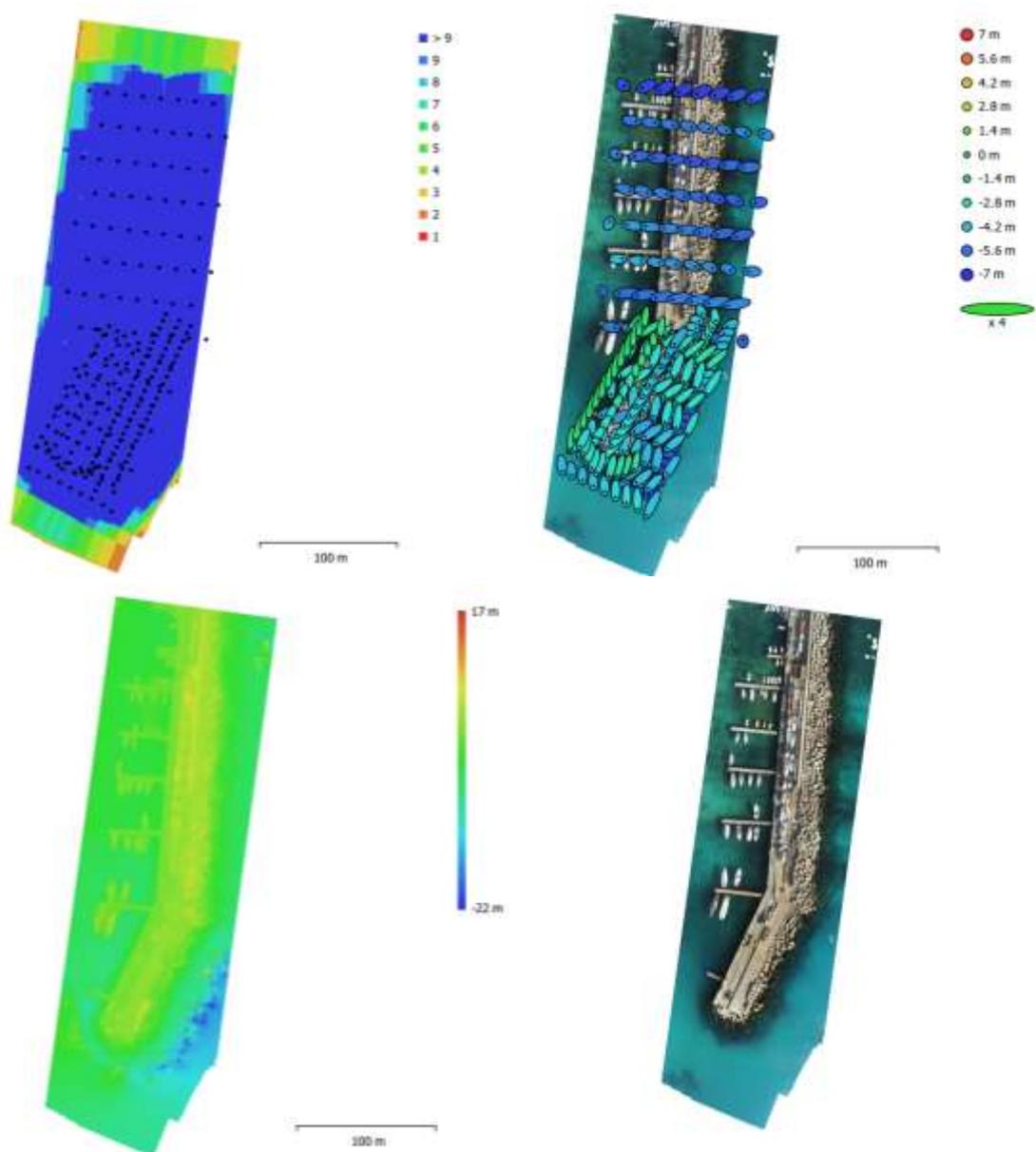


Figura 22. Immagini del report di elaborazione immagini aeree. In alto posizione camere (sx sovrapposizione, dx errori). In basso i prodotti dell'elaborazione (sx dsM, dx ortofoto). Elab. Ing. G. Giordano

## 4.2 Elaborazione dati batimetrici

L'elaborazione dei dati MBES segue un procedimento che viene schematizzato nella figura che segue (Figura 23). Sui dati grezzi, registrati in campo (on site), viene operato un controllo sulla navigazione eliminando o interpolando eventuali salti di posizione, quindi avviene l'editing vero e proprio dei dati di profondità (che può avvenire su base areale o sequenziale linea per linea).

La pulizia dei dati batimetrici avviene in generale in maniera semiautomatica (con filtri specifici e controllo manuale), ma nel caso in esame è stata condotta prevalentemente in maniera manuale visto il contesto molto particolare in ambito portuale con strutture verticali ed elementi morfologici caratteristici relativi alle forme di fondo, in modo da ottenere il massimo dettaglio.

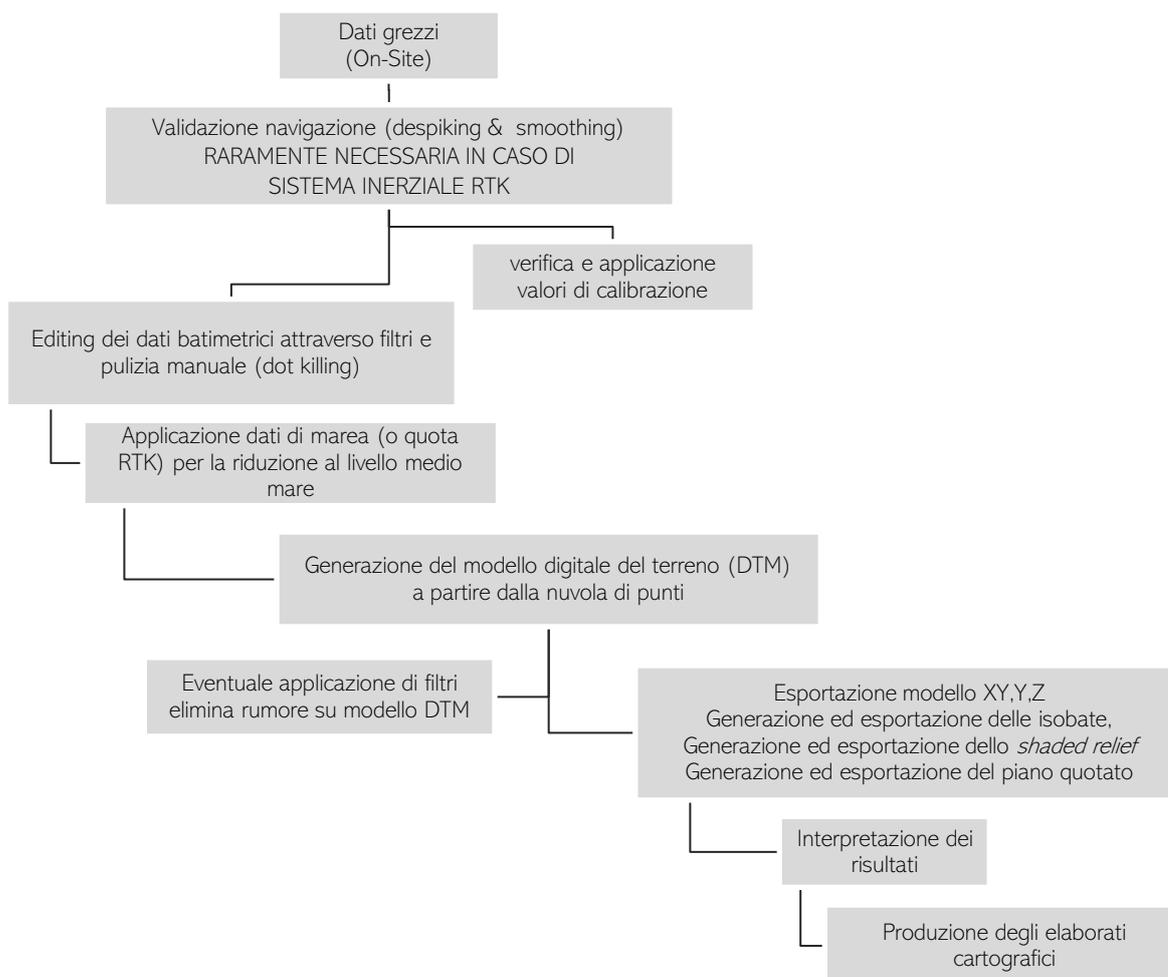


Figura 23. Diagramma di flusso della procedura di elaborazione dati MBES

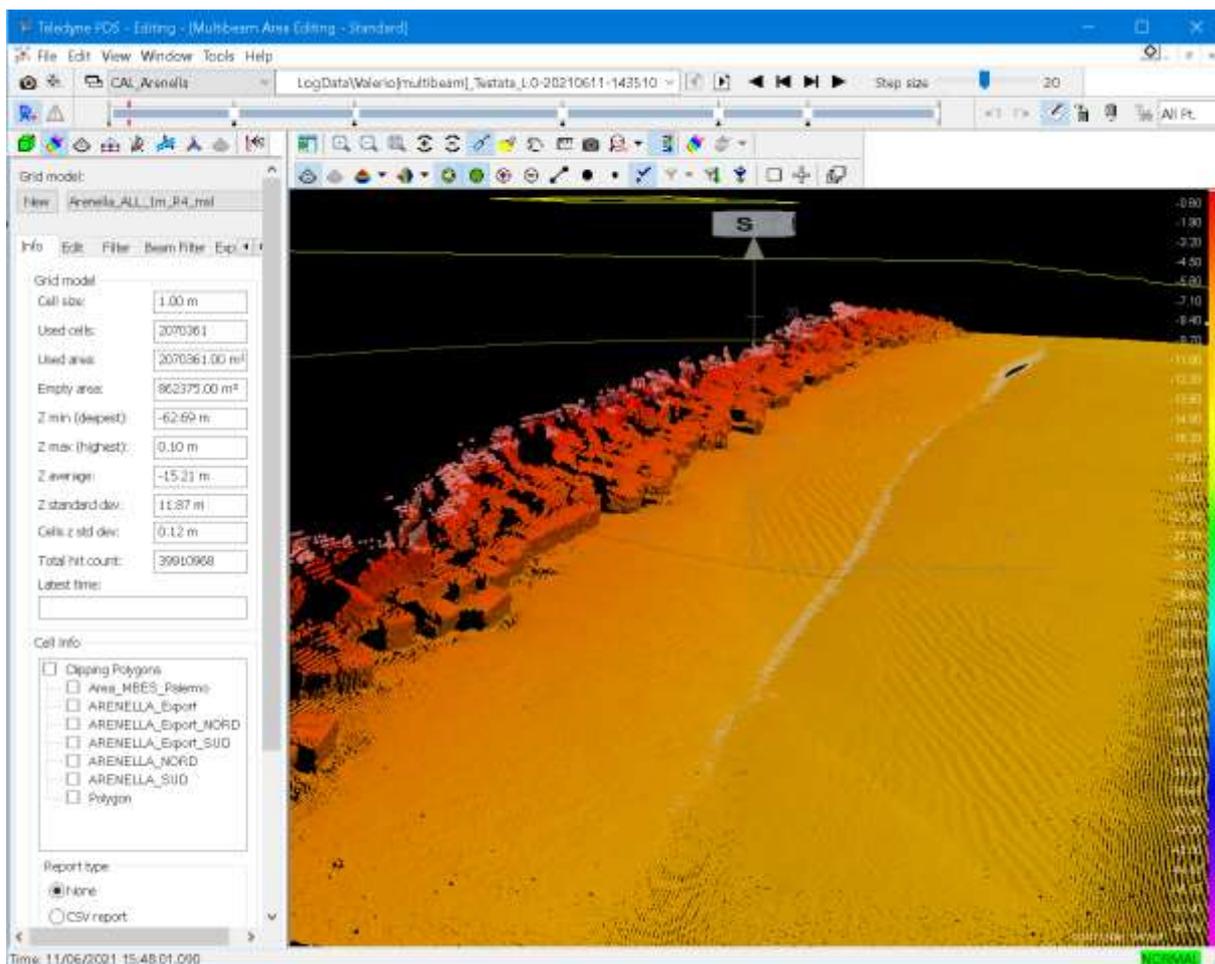


Figura 24. Modulo di editing Teledyne PDS. Ambiente principale dove viene processata la nuvola di punti e le varie operazioni descritte nel diagramma precedente.

Successivamente è stata applicata la correzione di marea con i dati del mareografo di Palermo ([www.mareografico.it](http://www.mareografico.it)), quindi è stato generato il modello digitale del terreno (DTM) con una dimensione della cella pari ad 0.5 m. Infine sul modello sono state fatte alcune operazioni di affinamento attuate mediante filtri localizzati in caso di eccessiva rugosità artefatta (*data noise*).

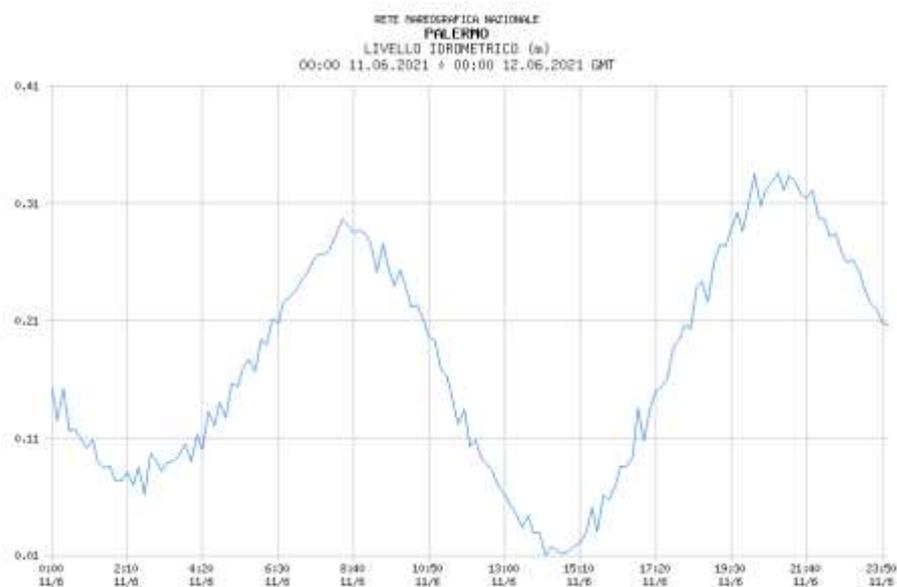


Figura 25. Grafico dell'andamento della marea nella stazione di Palermo nella data del rilievo

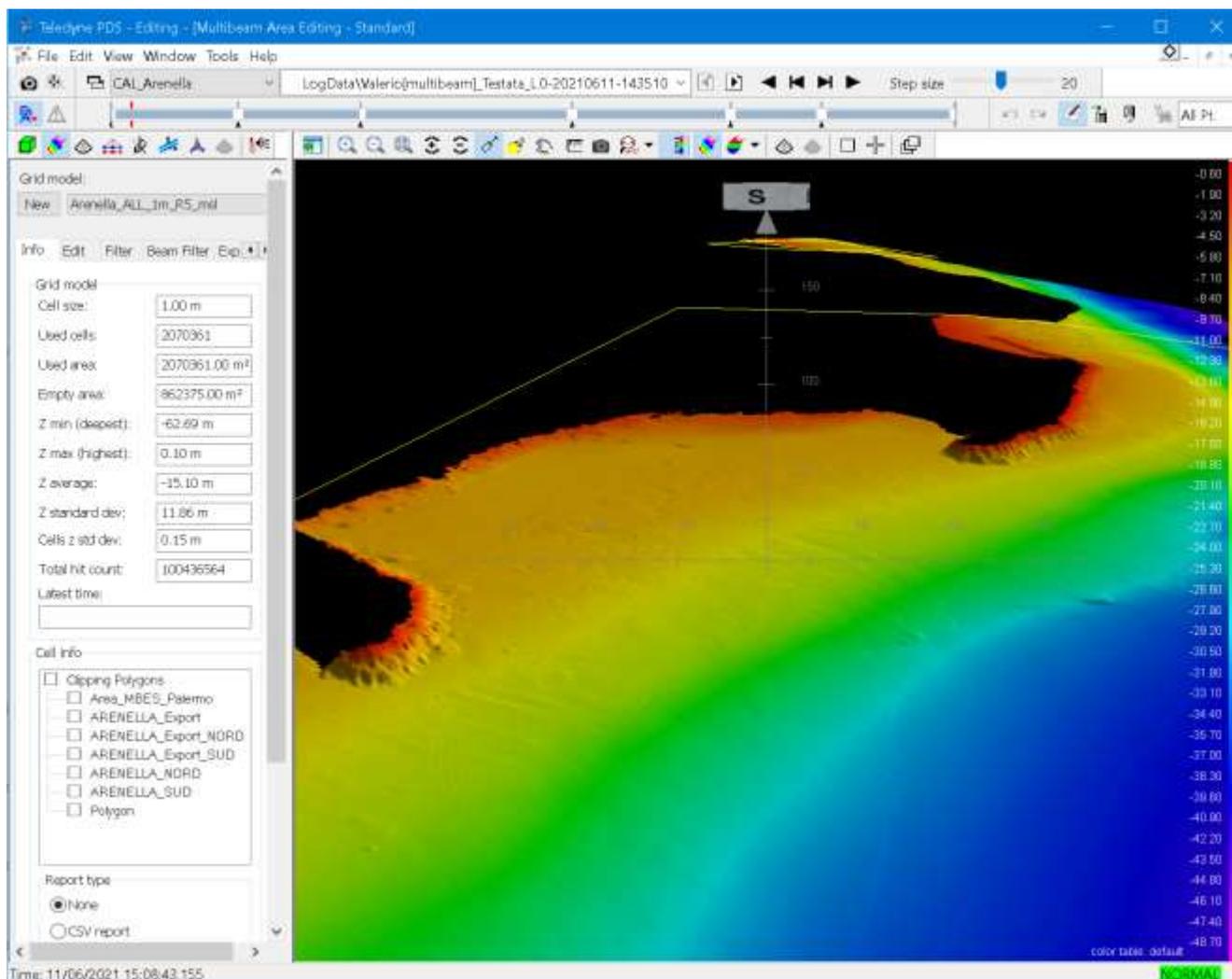


Figura 26. Vista 3D del modello digitale ottenuto (DTM) dalla nuova di punti MBES.

### 4.3 Elaborazione dati Side Scan Sonar

I dati sonar acquisiti sono stati elaborati per ottenere un mosaico acustico del fondo. La procedura di elaborazione prevede una serie di step successivi così riassumibili:

- Gain (TVG). La prima fase prevede il replay dei dati acustici per l'individuazione dei migliori parametri di gain, TVG e per il miglioramento della qualità e leggibilità dell'immagine.
- Bottom tracking. Successivamente si passa alla fase di bottom tracking, cioè di tracciamento del primo segnale del fondo presente nel sonogramma attraverso un algoritmo automatico di edge detection (analisi di soglia del segnale) oppure con correzione manuale se più conveniente. Questa fase è necessaria per lo slant range correction, cioè per la correzione geometrica dell'immagine ed eliminazione della zona priva di dati (bianca) al centro dell'immagine costituita dalla colonna d'acqua.
- Validazione della navigazione. Si procede alla verifica della correttezza dei dati di navigazione per eventuali salti di posizione (spikes) e si applica un algoritmo di smoothing (tipo filtro di Kalman).
- Generazione dell'immagini georeferenziate. In questa fase dai singoli sonogrammi (strisciate) si genera un'immagine raster georeferenziata e corretta per geometria e qualità.
- Fusione delle singole strisciate immagini. Le singole immagini georeferenziate vengono fuse in un'unica immagine avendo cura di mettere in evidenza (in primo piano) i tracciati con la risposta acustica migliore.

Durante tutte queste fasi viene analizzato il dato acustico per una prima interpretazione delle caratteristiche del fondale, rilevando gli aspetti morfologici salienti nonché individuando eventuali elementi rilevanti ai fini dell'indagine.

Il seguente diagrammi esemplifica il processo di elaborazione dati SSS:

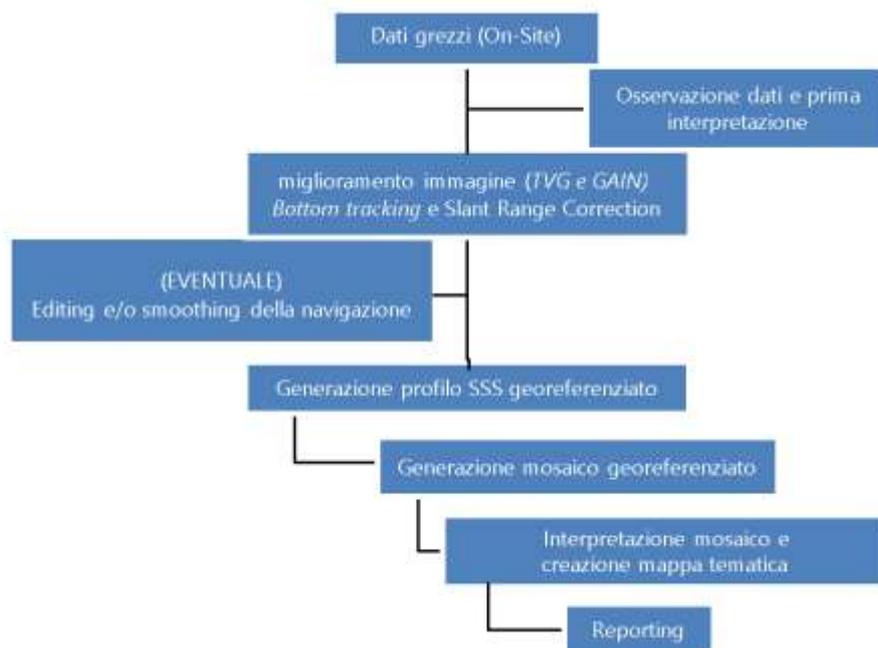


Figura 27. Procedura di elaborazione dati SSS

Alla fine della fase di elaborazione si ottiene il mosaico georeferenziato che viene utilizzato come base per la creazione di mappe tematiche. In questo caso è stato utile a determinare l'esatta posizione planimetrica della condotta e mappare le caratteristiche del fonale secondo la presenza di sedimenti sciolti e biocenosi a fanerogame marine.



Figura 28. Mosaico acustico Side ScanSonar ottenuto dalla fusione delle singole strisciate

# 5. Indagini delle comunità biologiche dei fondi mobili

## 5.1 Generalità

Nel contesto dei monitoraggi ambientali, si rivela di particolare importanza un'adeguata caratterizzazione "biologico-ambientale" dei siti interessati. A tale scopo, la normativa di settore attualmente vigente impone l'effettuazione di indagini dirette su parte della componente biotica dell'area interessata. In particolare, allo scopo di verificare la sussistenza e l'evoluzione di impatti ambientali negativi, conseguenti l'esecuzione di determinate attività e la realizzazione di opere antropiche, si valutano eventuali variazioni temporali che intervengono a livello della struttura della "comunità" di specie che caratterizza l'ecosistema naturale di volta in volta interessato. Nell'intento di snellire l'intero iter, per quanto possibile si tende a condurre le dovute indagini su determinate "categorie" o "macro-gruppi" di organismi, che rappresentano sottoinsiemi dell'intera comunità. Le indagini che si basano su livelli di organizzazione biologica inferiore a quella di comunità o dei suddetti "macro-gruppi" di organismi, come quelle fondate sulla biochimica, sulla biologia cellulare o sulla fisiologia di determinate specie presenti nell'area di indagine, non possono prescindere dall'approccio sperimentale. Ovvero, se il monitoraggio si basa su questo tipo di indagini, si rende necessario il prelievo di alcuni organismi vivi dall'ambiente naturale (appartenenti alle specie target delle indagini), i quali saranno successivamente sottoposti ad appositi test (o esperimenti) di laboratorio. In tali casi, oltre ad essere potenzialmente influenzata da nuove variabili in gioco, caratterizzanti l'ambiente artificiale, la risposta degli organismi presi in considerazione scaturisce prettamente dalle sole condizioni ambientali in cui gli stessi si trovavano al momento del campionamento. Nella struttura e nelle proprietà che caratterizzano ogni comunità di organismi viventi in un determinato ambiente naturale, invece, è racchiusa l'espressione e l'integrazione delle condizioni ambientali avvenute antecedentemente al momento del campionamento – per un periodo di tempo la cui entità è correlata, in maggior misura, alla specificità del "macro-gruppo" di organismi di volta in volta considerato.

Ogni disturbo in grado di mutare i complessi equilibri di un ambiente naturale, non interviene esclusivamente sulle singole componenti dello stesso, interessando piuttosto l'intera comunità di specie presenti. Le comunità degli ambienti naturali rappresentano, dunque, il livello di organizzazione maggiormente efficace nel registrare informazioni utili ad identificare quali cambiamenti siano intervenuti nel tempo a livello dei vari fattori ambientali, biotici ed abiotici, consentendo anche di valutare l'entità degli stessi. Inoltre, dalle indagini sulle comunità, volte al monitoraggio ambientale, possono anche scaturire indicazioni predittive sulle conseguenze che differenti tipi di impatto possono comportare.

In presenza di aree marine caratterizzate da fondali mobili, la struttura delle comunità di organismi bentonici - ovvero che vivono sui fondali marini o in prossimità degli stessi - può essere utilizzata per caratterizzare le condizioni ambientali di aree da indagare e per classificare l'estensione di eventuali impatti ambientali.

### 5.1.1 Macrozoobenthos ed indagini ambientali

Il macrozoobenthos è costituito, per definizione, da organismi animali bentonici (ovvero *in stretto rapporto con il fondale*) di dimensioni superiori a 0,5 mm, o comunque in grado di essere trattenuti da setacci di tali dimensioni (il limite minimo di 0,5 mm per il macrozoobenthos non è comunque generalizzato ed alcuni autori ritengono più adatto un valore di 1 mm; limite minimo generalmente adottato nelle indagini sul macrozoobenthos, allo scopo dei monitoraggi sugli ambienti marini). Nei fondali mobili (*sedimentari*) il macrozoobenthos è in molti casi dominato, in termini di abbondanza, da anellidi policheti, seguiti da molluschi bivalvi, crostacei anfipodi, crostacei decapodi ed echinodermi; in certi contesti ambientali, i sedimenti dei fondali marini mobili sono abbondantemente popolati anche da esemplari macrozoobentonici appartenenti al taxon sipunculidi.

Lo studio del macrozoobenthos rappresenta un valido strumento nell'ambito del monitoraggio ambientale di aree marine con fondali mobili: in tali contesti, le indagini volte a caratterizzare la struttura della comunità macrozoobentoniche insediate nei sedimenti dell'area marina di volta in volta investigata assumono particolare importanza. A tali comunità, difatti, viene

assegnato il ruolo di "indicatori" ambientali, in grado di mettere in luce eventuali alterazioni delle caratteristiche ambientali causate dall'attività antropica – o anche da fenomeni prettamente naturali.

Tale strumento di monitoraggio da parecchi anni, ormai, viene ufficialmente adottato in numerosi paesi, nonostante le difficoltà intrinseche al campionamento degli organismi macrozoobentonici nei fondali mobili - che comporta, di fatto, il prelievo dall'ambiente naturale di una quantità di sedimento piuttosto elevata - ed ai tempi relativamente lunghi necessari alla conseguente conduzione, sui campioni, delle analisi necessarie. Di contro, l'impiego del macrozoobenthos presenta indubbi vantaggi: in primo luogo, fondamentale risulta la mole di dati già presenti nella letteratura di settore, che descrivono gli effetti dei cambiamenti delle variabili ambientali sul macrozoobenthos di fondali marini di aree geografiche distribuite su tutti i mari e gli oceani del globo terrestre; inoltre, va considerato che gli organismi del macrozoobenthos appartengono spesso a specie con elevata sensibilità agli effetti negativi che le attività di origine antropica possono esercitare sull'ambiente, rispondendo, in maniera ormai nota e prevedibile, allo scopo di integrare, nel tempo, le variazioni dei fattori ambientali.

L'opportunità della scelta del macrozoobenthos come comparto biotico utile nei monitoraggi ambientali di aree marine con fondali mobili risiede anche nella spiccata sedentarietà che caratterizza tali organismi. Questi, dunque, possiedono l'intrinseca capacità di rivelare gli effetti delle variazioni eventualmente intervenute nelle caratteristiche del proprio habitat e di "memorizzare" tali informazioni nella struttura di comunità. Le indagini sul macrozoobenthos dei fondali marini mobili – caratterizzati da ogni tipologia di sedimento - si rivelano ancor più idonee agli scopi dei monitoraggi ambientali in quanto il macrozoobenthos è caratterizzato tipicamente da specie con cicli vitali piuttosto lunghi, in relazione alle tempistiche standard dei piani di monitoraggio.

Nei fondali marini mobili la composizione e la struttura del comparto animale bentonico è strettamente dipendente da una serie di fattori biotici ed abiotici, contraddistinti da una notevole variabilità sia spaziale sia temporale, quali: l'idrodinamismo, la granulometria del substrato, il ritmo sedimentario, la concentrazione di sostanza organica nei sedimenti, la pressione esercitata dalla colonna d'acqua sovrastante, l'apporto di acque dolci, la presenza di sostanze inquinanti, l'entità dell'impatto ambientale derivato da qualsiasi attività di origine antropica e, non da ultime, le caratteristiche biologiche delle specie animali stesse. I popolamenti macrozoobentonici di fondo mobile rispondono in maniera significativa alle variazioni ambientali, sia di origine naturale sia antropica: le modificazioni ambientali, consistenti principalmente nello scostamento dei fattori sopra elencati da quelli che sono i naturali valori (sito specifici), provocano di norma alterazioni nella struttura della comunità, ovvero nella composizione in specie e/o nell'abbondanza relativa degli esemplari di ognuna delle specie caratterizzanti le comunità bentoniche marine. Queste, di conseguenza, assumono un ruolo di "indicatore" di notevole importanza nel processo di valutazione della qualità dell'ambiente, consentendo di evidenziare eventuali alterazioni dello stato naturale dell'area in cui esse esistono.

In seguito al verificarsi di fenomeni di disturbo, che causano variazioni tangibili su uno o più fattori ambientali, la composizione del macrozoobenthos dei fondi mobili cambia seguendo il tipico modello della successione secondaria, inizialmente descritto da Pearson e Rosenberg (1978) – che nel caso di studio specifico facevano riferimento prettamente alla variabile ambientale rappresentata dalla concentrazione di sostanza organica nel sedimento: tale successione consiste nella transizione da alta a bassa diversità, nonché dalla dominanza delle specie sensibili alla dominanza di specie tolleranti, in concomitanza con la crescita dell'arricchimento organico nel sedimento. Le modificazioni indotte all'ambiente possono dunque essere rilevate osservando l'integrazione delle risposte a condizioni sfavorevoli operata nel tempo dalle comunità bentoniche: in seguito al perdurare della perturbazione, in una prima fase si assiste alla scomparsa graduale delle specie più caratteristiche della comunità; successivamente si verifica una progressiva diminuzione del numero di specie, con una prevalenza sempre maggiore, nel tempo, di quelle caratterizzate da intervalli di tolleranza sempre più ampi, nei confronti di diversi fattori ambientali; infine, in condizioni di disturbo particolarmente elevato, si assiste alla totale scomparsa degli organismi macrobentonici e ad un contestuale ed esponenziale incremento delle popolazioni batteriche, che finiscono per dominare di gran lunga i fondali interessati.

Al momento dell'entrata in vigore della normativa europea dell'acqua Direttiva 2000/60/EC - meglio nota come *Water Framework Directive* (WFD) – uno degli aspetti più innovativi consisteva nell'adozione dell'"approccio ecologico". Difatti, per la prima volta a livello legislativo, vengono considerati come "indicatori" validi della qualità ambientale anche la composizione, l'abbondanza e la biomassa delle comunità biologiche. In particolare, per ciò che concerne i fondali mobili marini, l'analisi della composizione in specie del macrozoobenthos – già da diversi decenni riconosciuta particolarmente utile nella valutazione dell'identità e delle caratteristiche peculiari degli habitat e degli ecosistemi di appartenenza - dal momento dell'entrata in

vigore della WFD cominciò ad essere inclusa nei programmi di monitoraggio volti a valutare lo stato di salute dell'ambiente acquatico ed a classificare l'entità di eventuali impatti ambientali.

In definitiva, secondo quanto prescritto dalla direttiva 2000/60/CE - in Italia recepita con il D.Lgs. 152/06 ed attuata tramite il D.M. 260/2010 - ai fini della classificazione dello Stato di Qualità Ambientale delle acque marino costiere viene indagata una serie di elementi biologici, fisico-chimici, chimici e idromorfologici; in particolare uno degli elementi di qualità biologica (EQB) presi in considerazione è rappresentato dai *macroinvertebrati bentonici di fondo molle*.

## 5.2 Attività di campo

I campionamenti per il prelievo degli organismi del macrozoobenthos sono stati eseguiti, come da "*Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi del macrozoobenthos di fondi molli*" (ISPRA).

Il prelievo dei campioni è stato eseguito nel luglio 2021, con l'appoggio di idoneo mezzo nautico all'interno di un'area marina costiera prospiciente il litorale della località Arenella, nel comune di Palermo. I campioni di macrozoobenthos sono stati prelevati in corrispondenza di 2 stazioni di campionamento, entrambe con profondità di circa 14,5 m, localizzate ad una distanza di circa 300 m dalla linea di costa. Nella Tabella 4 sono riportate le coordinate (WGS84/UTM Zone 33N) e le profondità delle singole stazioni di campionamento.



Figura 29. localizzazione delle stazioni di campionamento dei sedimenti per le analisi finalizzate alla caratterizzazione del Macrozoobenthos

Stazioni di campionamento benthos			
Stazione	Coordinate Piane (WGS84/UTM Zone 33 N)		Profondità (m)
	Est (m E)	Nord (m N)	
AR1	357667.09	4223532.784	14,5
AR2	357633.72	4223469.43	14,5

Tabella 4. Lista delle stazioni di campionamento del macrozoobenthos, con relative coordinate UTM e profondità

Il prelievo di ogni campione è stato effettuato tramite una benna Van Veen - con una superficie di presa pari a 0,1 m<sup>2</sup> - appositamente calata dall'imbarcazione d'appoggio. I campioni prelevati, una volta a bordo, sono stati sottoposti ad una prima operazione di setacciatura, avente lo scopo di eliminare parte del sedimento, pur mantenendo tutti gli organismi animali delle dimensioni superiori a 1,0 mm, contenuti nei campioni stessi. A tal proposito, ogni campione è stato opportunamente vagliato su vari setacci, con vuoto di maglia via via decrescente - l'ultimo dei quali con apertura regolare di maglia pari a 1,0 mm. Per ogni campione, il materiale raccolto nei vari setacci è stato quindi trasferito in un apposito contenitore in plastica, provvisto di un'etichetta contenente le informazioni relative al campionamento d'origine (data e luogo di prelievo, codice della stazione). All'interno di ognuno di tali contenitori, gli organismi del macrozoobenthos sono stati "fissati" in una soluzione di Accustain al 10% in acqua di mare.

### 5.3 Attività di laboratorio

In laboratorio, i singoli campioni sono stati innanzitutto sottoposti a *sorting* (smistamento), tramite osservazione degli stessi allo stereo-microscopio. Si è così giunti, in primo luogo, all'assegnazione di ognuno degli organismi animali rilevati ad uno dei macrogruppi principali tipicamente caratterizzanti il macrozoobenthos dei fondali sabbiosi costieri del Mediterraneo. Nello specifico, tutti gli organismi riscontrati appartenevano esclusivamente a quattro di questi macrogruppi (*taxa*) di specie bentoniche: Molluschi, Policheti, Crostacei, Sipunculidi. Come da protocollo, per ogni campione, l'insieme degli esemplari appartenenti a ciascuno dei suddetti macrogruppi animali è stato posto in un apposito contenitore in plastica, opportunamente etichettato, in una soluzione acquosa con alcol etilico al 70%. Questa ha la funzione di "conservante" nei confronti degli animali del macrozoobenthos precedentemente "fissati" tramite l'impiego della soluzione con Accustain. I *taxa* sopra citati sono normalmente impiegati in indagini di questo tipo in quanto, oltre ad essere generalmente i più importanti (soprattutto i primi tre, tra quelli elencati) in termini di abbondanza e distribuzione nel macrozoobenthos marino del Mar Mediterraneo, sono rappresentati da parecchie specie considerate "efficaci descrittori" delle comunità bentoniche di appartenenza (Gambi *et al.*, 1982; Scipione e Fresi, 1983; Bianchi e Morri, 1985; Gambi e Giangrande, 1986).

In seguito alla fase di *sorting* si è proceduto, con l'ausilio di stereo-microscopi, microscopi e chiavi di identificazione (dicotomiche), alla fase di "identificazione tassonomica" di ogni esemplare del macrozoobenthos riscontrato, fino al livello di specie, ove possibile. Per ciascuna specie - o *taxon* di rango superiore - identificata è stato effettuato il conteggio del numero di individui presenti in ogni campione.

Sulla base delle analisi effettuate, dunque, è stata elaborata una tabella con la lista delle specie (o dei *taxa* di rango superiore) relativa a ciascun campione, riportando nella stessa tabella anche il numero di esemplari riscontrato per ogni specie.

Il D.M. 260/2010 prevede che la caratterizzazione dello stato di salute delle aree marine sia effettuata tramite la valutazione di Elementi di Qualità Biologica (EQB), quali i "Macroinvertebrati bentonici". In particolare, gli aspetti da considerare relativamente al macrozoobenthos consistono nel livello di biodiversità e di abbondanza degli invertebrati, nonché nella proporzione tra organismi appartenenti a specie con sensibilità differente ai livelli di disturbo di varia tipologia. Nell'ambito della presente indagine, l'EQB "Macroinvertebrati bentonici" è stato valutato applicando l'indice M-AMBI alle liste specie/abbondanza elaborate per ogni campione di macrozoobenthos prelevato. Il M-AMBI è un indice multivariato che prende in considerazione l'indice AMBI (AZTI Marine Biotic Index), la ricchezza specifica totale (S, Richness) - corrispondente al numero totale delle specie catturate - e l'indice di diversità specifica (H', Diversity) (Shannon e Weaver, 1949) - basato

sull'abbondanza proporzionale delle specie riscontrate, essendo dunque un indice che tiene conto, sia del numero di specie presenti sia del modo in cui gli individui sono distribuiti fra le diverse specie.

L'AMBI prevede la ripartizione delle specie bentoniche presenti in un sito geografico in cinque gruppi ecologici - qui di seguito descritti - ognuno caratterizzato da un determinato grado di sensibilità o tolleranza ad un progressivo peggioramento della qualità delle acque, originariamente basato su un metodo di valutazione dello stato di compromissione dell'ecosistema in cui la fonte di inquinamento è l'arricchimento in sostanza organica (Pearson e Rosenberg, 1978):

- gruppo I (GI): specie molto sensibili all'arricchimento organico - presenti quando l'ambiente è intatto - e soggette a scomparsa anche a seguito di un leggero squilibrio;
- gruppo II (GII): specie indifferenti all'arricchimento, presenti in ridotte densità e senza variazioni significative nel tempo, che possono svilupparsi a seguito della riduzione delle specie del gruppo I;
- gruppo III (GIII): specie tolleranti ad un eccesso di sostanza organica, che sono stimolate dall'arricchimento, quindi in situazioni di disequilibrio;
- gruppo IV (GIV): specie opportunistiche di 2° ordine, si sviluppano in condizioni di disequilibrio;
- gruppo V (GV): specie opportunistiche di 1° ordine, presenti in condizioni di forte disequilibrio.

Il calcolo dell'M-AMBI, nella presente indagine, è stato effettuato tramite il software "AMBI: AZTI MARINE BIOTIC INDEX" (AZTI-Tecnalia, [www.azti.es](http://www.azti.es)), che fornisce i valori dell'AMBI e del M-AMBI, i livelli di disturbo del sito e lo stato di salute della comunità bentonica. Il software restituisce il dato sulla percentuale di individui, relativamente al numero totale di quelli prelevati, che appartengono a ciascun gruppo ecologico; la ricchezza in specie (S, numero di specie) e la diversità (H', indice di Shannon and Weaver) ed infine il valore dell'M-AMBI che varia tra 0 ed 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE).

Qui di seguito sono indicati i valori di riferimento per ciascuna metrica che compone l'M-AMBI ed i limiti di classe dell'M-AMBI, espressi in termini di RQE, tra lo stato "Elevato" e lo stato "Buono", e tra lo stato "Buono" e lo stato "Sufficiente" riportati dal D.M. 260/2010.

Macrotipo	Valori di riferimento			RQE	
	AMBI	H'	S	Elevato/Buono	Buono/Sufficiente
3	0,5	4	30	0,81	0,61

Tabella 5. Valori di riferimento che compongono l'indice AMBI

Ai fini del calcolo e dell'applicazione del M-AMBI, le liste specie/abbondanza relative ai singoli campioni prelevati sono state inserite nel software "AMBI: AZTI Marine Biotic Index" (6.0) e processate, secondo quanto richiesto dalla procedura guidata insita nello stesso software, prima dell'elaborazione vera e propria dei dati con lo scopo di ottenere i valori degli indici sopra descritti e dello stato di qualità ambientale.

## 6. Risultati

### 6.1 Caratterizzazione dei fondali e delle principali biocenosi presenti

Le indagini finalizzate alla definizione della composizione dei fondali interessati dall'opera in progetto ed alla caratterizzazione delle principali biocenosi presenti, sono state effettuate mediante sistema Side Scan Sonar ad alta risoluzione, integrate e validate mediante osservazioni dirette effettuate da operatore subacqueo in immersione. Le indagini hanno interessato una superficie complessiva di circa 29 ha che comprendono lo specchio acqueo antistante ed esterna l'imboccatura del porto in prossimità della testata dell'esistente molo su cui si colloca l'impronta dell'opera in progetto (Figura 30).

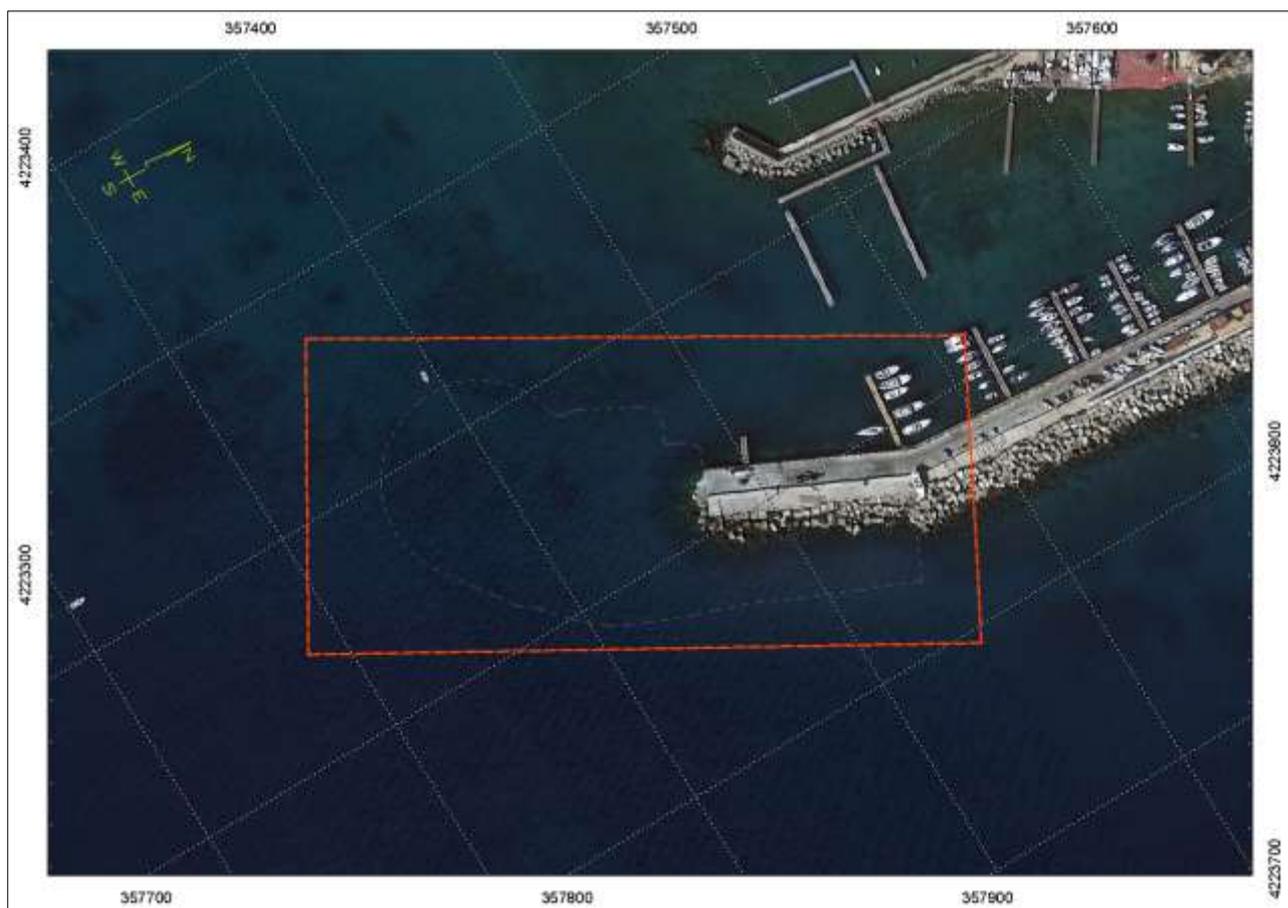


Figura 30 Area interessata dal progetto su cui focalizzare le indagini biocenotiche

I dati raccolti e le successive elaborazioni consentono di discriminare le differenti tipologie di substrato che compongono i fondali e di definire in dettaglio la presenza di fitocenosi di rilievo come *Posidonia oceanica*.

In particolare i fondali investigati risultano essere prevalentemente costituiti da sedimenti sciolti (sabbie e ghiaie), su cui insistono molteplici strutture artificiali, imputabili essenzialmente alle attività di ormeggio e stazionamento nautico che ad oggi caratterizzano l'area portuale, nonché alla presenza di rifiuti presenti sui fondali.

Nella porzione centrale dell'area investigata a prosecuzione dell'attuale braccio, è presente sui fondali una prateria di *P. oceanica* con distribuzioni a *Patch* che si impianta essenzialmente su un substrato costituito da una alternanza di matte morte e sedimenti sciolti. La cospicua presenza di matte morte, indica come nell'area vi sia un certo grado di pressione antropica che evidenzia i propri effetti sulla prateria stessa, determinandone nel tempo una evidente regressione.

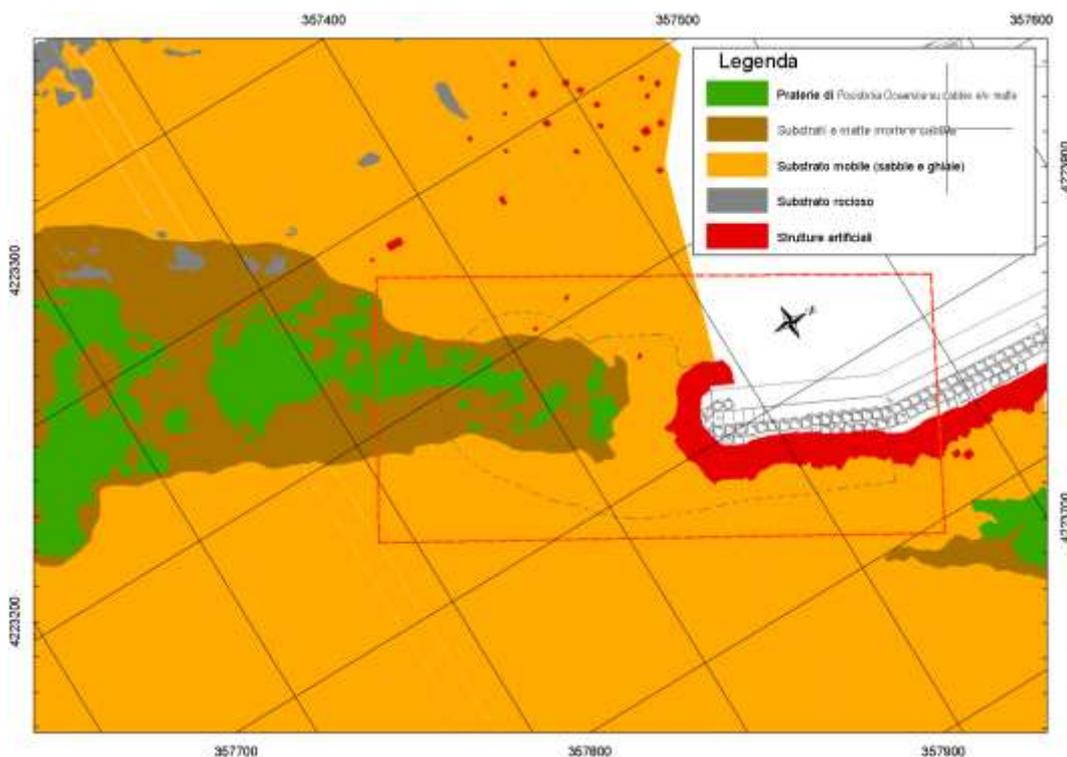


Figura 31. Tipologia di fondali derivati dall'interpretazione dei dati Side Scan Sonar

Al fine di validare i dati acustici raccolti ed interpretati, sono stati effettuati n° 4 transetti in immersione, mediante operatore tecnico subacqueo munito di sistema foto video. L'operatore ha acquisito in continuo immagini dei fondali con il supporto dell'imbarcazione di appoggio, ciò ha permesso di stimarne continuamente la corretta posizione. Da ogni transetto video sono state estratte n° 6 immagini che sono state posizionate sulla cartografia delle biocenosi realizzata ed hanno fornito un prezioso supporto alla validazione dei dati. Vengono riportate di seguito le immagini acquisite sui fondali, per ogni immagine è possibile definirne la posizione tramite la (Figura 32). In allegato alla presente relazione anche i video transetti acquisiti.

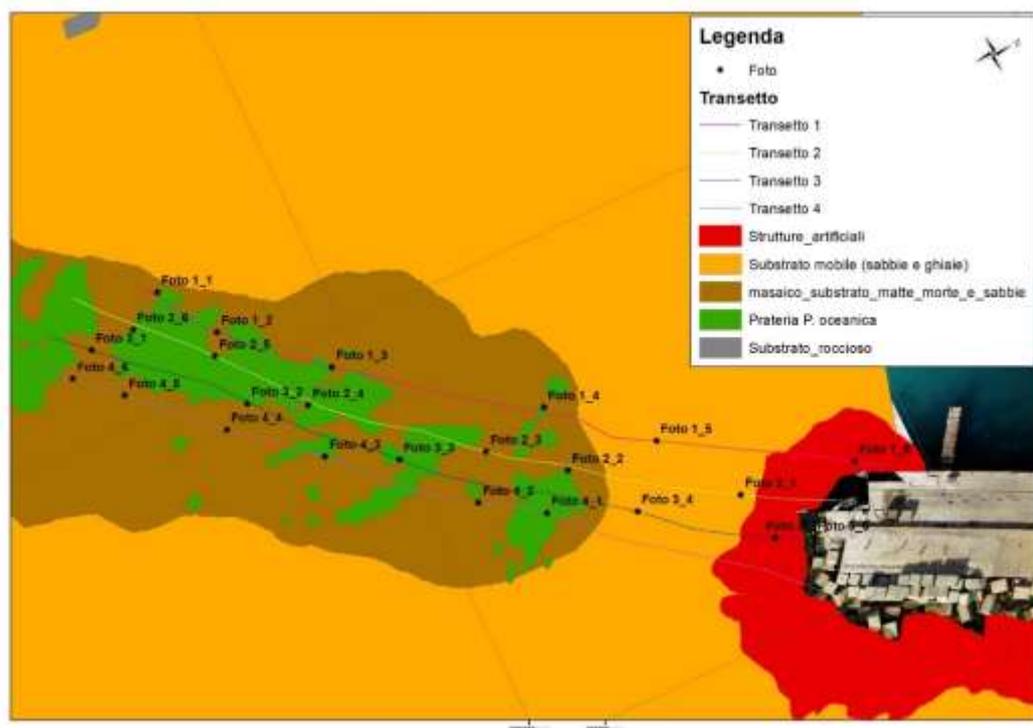


Figura 32. posizione dei transetti video e delle singole foto acquisite

## 6.2 Immagini acquisite sui fondali oggetto delle indagini

Le immagini sono state acquisite con fotocamera subacquea GoPro ad alta risoluzione, tramite biologo subacqueo.

### 6.2.1 *Transetto 1*



Figura 33. Foto 1\_1

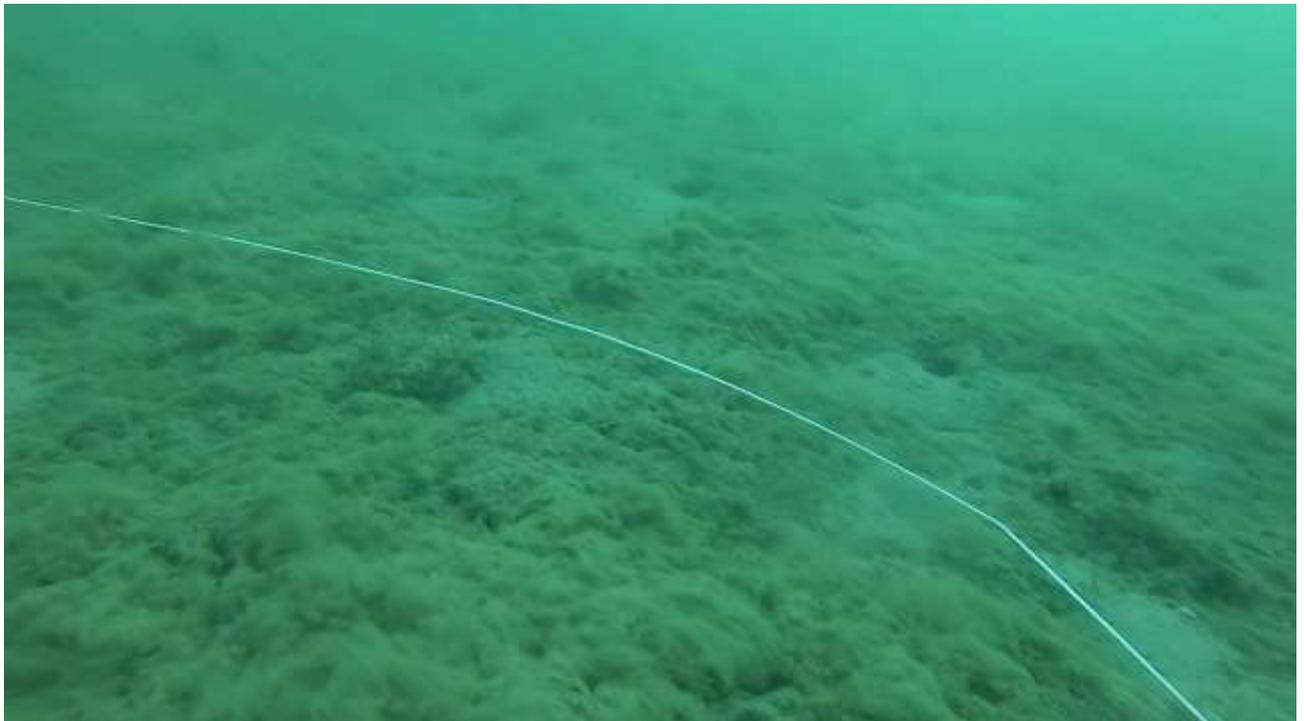


Figura 34. Foto 1\_2



*Figura 35. Foto 1\_3*



*36 Foto 1\_4*



*Figura 37. Foto 1\_5*



*Figura 38. Foto 1\_6*

## 6.2.2 *Transetto 2*



*Figura 39. Foto 2\_1*



*Figura 40. Foto 2\_2*



*Figura 41. Foto 2\_3*



*Figura 42. Foto 2\_4*



*Figura 43. Foto 2\_5*



*Figura 44. Foto 2\_6*

### 6.2.3 *Transetto 3*



*Figura 45. Foto 3\_1*



*Figura 46. Foto 3\_2*



*Figura 47. Foto 3\_3*



*Figura 48. Foto 3\_4*



*Figura 49. Foto 3\_5*



*Figura 50. Foto 3\_6*

#### 6.2.4 transetto 4



Figura 51. Foto 4\_1



Figura 52. Foto 4\_2



*Figura 53. Foto 4\_3*



*Figura 54. Foto 4\_4*



*Figura 55. Foto 4\_5*



*Figura 56. Foto 4\_6*

### 6.3 Stima degli impatti sulle principali fitocenosi presenti

L'opera in progetto interesserà una porzione di fondale di circa a 1.6 ha, a prosecuzione dell'attuale braccio di sopraflutto. Le indagini effettuate e le successive analisi dei dati acquisiti hanno permesso di stimare gli impatti diretti sulle differenti tipologia di fondale presenti.

In particolare l'opera occuperà le seguenti superfici di fondale, suddivise per singola categoria, come riportato nella Figura 57 e nella tabella seguente:

Tipologia di substrato	Superficie (ha)
Substrato mobile	0.805
Substrato artificiale	0.242
Prateria di <i>P. oceanica</i>	0.105
Mosaico di matte morte e fondi mobili	0.440
<b>Totale</b>	<b>1.592</b>

Tabella 6. Tipologia ed estensione di substrato dei fondali interessati dell'opera in progetto

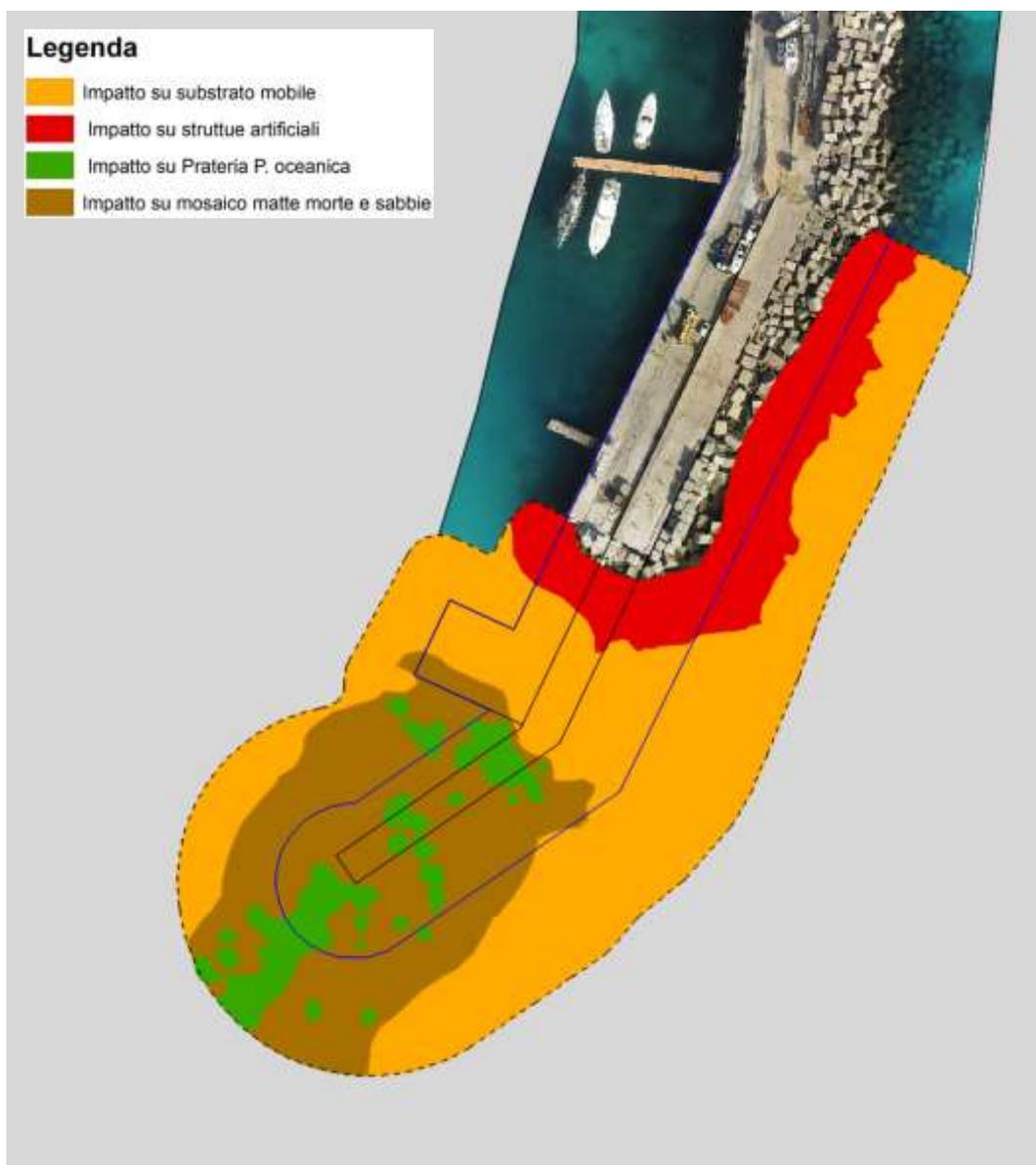


Figura 57. Tipologia di fondali e principali e biocenosi di rilievo presenti sui fonali interessati dall'impronta dell'opera in progetto

## 6.4 Indagini comunita Macrozoobentonica

Nella Tabella 7 è riportato l'elenco delle specie a cui appartengono i vari esemplari di macrozoobenthos riscontrati nell'insieme dei campioni.

FAMIGLIA	TAXON	AUTORE	AMBI ecological group
<b><u>CRUSTACEA AMPHIPODA</u></b>			
Ischyroceridae Stebbing, 1899	<i>Centraloecetes dellavallei</i>	(Stebbing, 1899)	I
Megaluropidae Thomas & Barnard, 1986	<i>Megaluropus massiliensis</i>	Ledoyer, 1976	I
<b><u>CRUSTACEA DECAPODA</u></b>			
Diogenidae Ortmann, 1892	<i>Diogenes pugilator</i>	(P. Roux, 1829)	II
<b><u>CRUSTACEA TANAIIDACEA</u></b>			
Apseudidae Leach, 1814	<i>Apseudopsis latreilli</i>	(Milne Edwards, 1828)	III
<b><u>MOLLUSCA BIVALVIA</u></b>			
Donacidae J. Fleming, 1828	<i>Donax semistriatus</i> (juv)	Poli, 1795	I
Veneridae Rafinesque, 1815	<i>Dosinia lupinus</i>	(Linnaeus, 1758)	I
Tellinidae Blainville, 1814	<i>Fabulina fabula</i>	Gmelin, 1791){	I
Veneridae Rafinesque, 1815	<i>Gouldia minima</i>	(Montagu, 1803)	I
Kelliellidae P. Fischer, 1887	<i>Kelliella miliaris</i>	(Philippi, 1844)	I
Lucinidae J. Fleming, 1828	<i>Loripes lucinalis</i>	(Lamarck, 1818)	I
Lucinidae J. Fleming, 1828	<i>Lucinella divaricata</i>	(Linnaeus, 1758)	I
Tellinidae Blainville, 1814	<i>Moerella donacina</i>	(Linnaeus, 1758)	I
Cardiidae Lamarck, 1809	<i>Papillicardium minimum</i>	(Philippi, 1836)	I
Cardiidae Lamarck, 1809	<i>Parvicardium scabrum</i>	(Philippi, 1844)	I
<b><u>MOLLUSCA GASTROPODA</u></b>			
Caecidae Gray, 1850	<i>Caecum trachea</i>	(Montagu, 1803)	I
<b><u>ANNELIDA POLYCHAETA</u></b>			
Spionidae Grube, 1850	<i>Aonides paucibranchiata</i>	Southern, 1914	III
Sabellidae Latreille, 1825	<i>Chone duneri</i>	Malmgren, 1867	II
Goniadidae Kinberg, 1866	<i>Goniadella galaica</i>	(Rioja, 1923)	II
Capitellidae Grube, 1862	<i>Mediomastus fragilis</i>	Rasmussen, 1973	III
Dorvilleidae Chamberlin, 1919	<i>Protodorvillea kefersteini</i>	(McIntosh, 1869)	II
<b><u>SIPUNCULA ASPIDOSIPHONIDA</u></b>			
Aspidosiphonidae Baird, 1868	<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri muelleri</i>	Diesing, 1851	I

Tabella 7. Elenco dei taxa di appartenenza degli esemplari riscontrati nei campioni di macrozoobenthos.

Nei campioni prelevati sono stati riscontrati in tutto 336 esemplari di organismi macrozoobentonici (Tabella 8). Questi, in seguito alle operazioni di *sorting* e di identificazione, sono stati attribuiti a 21 differenti specie: 11 di molluschi; 5 di policheti; 4 di crostacei; 1 di sipunculidi. Oltre ad essere presenti con il maggior numero di specie, i molluschi sono risultati gli organismi più abbondanti, rappresentando ben l'82% del totale degli organismi macrozoobentonici riscontrati nelle due stazioni di campionamento; gli altri due macrogruppi maggiormente rappresentati nei campioni prelevati sono i rappresentando policheti (7%) ed i sipunculidi (7%). Infine, i crostacei sono gli organismi meno abbondanti nel macrozoobenthos delle due stazioni di prelievo.

TAXA	STAZIONI	
	AR1	AR2
<b>CRUSTACEA AMPHIPODA</b>		
<i>Centraloecetes dellavallei</i>	1	2
<i>Megaluropus massiliensis</i>	2	
<b>CRUSTACEA DECAPODA</b>		
<i>Diogenes pugilator</i>	2	
<b>CRUSTACEA TANAIDACEA</b>		
<i>Apsudopsis latreilli</i>	5	
<b>MOLLUSCA BIVALVIA</b>		
<i>Donax semistriatus</i> (juv)	4	7
<i>Dosinia lupinus</i>		2
<i>Fabulina fabula</i>	4	
<i>Gouldia minima</i>		3
<i>Kelliella miliaris</i>		4
<i>Loripes lucinalis</i>	1	
<i>Lucinella divaricata</i>	104	96
<i>Moerella donacina</i>	7	3
<i>Papillicardium minimum</i>	3	8
<i>Parvicardium scabrum</i>	4	6
<b>MOLLUSCA GASTROPODA</b>		
<i>Caecum trachea</i>	9	13
<b>ANNELLIDA POLYCHAETA</b>		
<i>Aonides paucibranchiata</i>	3	4
<i>Chone duneri</i>	2	5
<i>Goniadella galaica</i>	4	
<i>Mediomastus fragilis</i>		2
<i>Protodorvillea kefersteini</i>		4
<b>SIPUNCULA ASPIDOSIPHONIDA</b>		
<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri muelleri</i>	8	17

Tabella 8. Lista specie/abbondanza degli esemplari macrozoobentonici riscontrati nelle due stazioni di campionamento.

#### 6.4.1 Qualità dell'ambiente

Nella Tabella 9 sono riportati i risultati dell'elaborazione statistica dei dati effettuata con il supporto del software "AMBI: AZTI Marine Biotic Index" (6.0).

STAZIONI	% GRUPPI ECOLOGICI (*)						INDICI DI DIVERSITA'		Indice Biotico	AMBI		M-AMBI	
	I	II	III	IV	V	N.A.	S <sub>r</sub> Richness	H' <sub>r</sub> Diversity	BI	Valore	Classificazione del Disturbo	Valore	Stato (RQE)
AR1	90,2	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	16	2,27	1	0,221	Undisturbed	0,96	High
AR2	91,5	5,1	3,4	0,0	0,0	0,0	15	2,57	0	0,179	Undisturbed	0,98	High

(\*) I cinque gruppi ecologici in cui sono stati suddivisi i taxa riscontrati nei campioni di macrozoobenthos sono descritti, nel presente documento, all'interno del paragrafo relativo alle attività di laboratorio.

Tabella 9. Risultati relativi all'applicazione del software "AMBI: AZTI MARINE BIOTIC INDEX" (AZTI-Tecnalia, [www.azti.es](http://www.azti.es)) ai dati di abbondanza di tutti i taxa del macrozoobenthos, rilevati in ciascuna stazione di campionamento. Nella tabella viene espresso: il valore degli indici AMBI (con relativa classificazione del "disturbo" che insiste sull'ambiente naturale) e M-AMBI (con relativo "Rapporto di Qualità Ecologica, RQE"); i valori di due indici che rappresentano importanti parametri strutturali della comunità, ovvero la ricchezza specifica totale (S, Richness) e l'indice di diversità di Shannon-Weaver (H', Diversity); infine è riportata, nel dettaglio, l'importanza percentuale di ognuno dei 5 gruppi ecologici precedentemente descritti, determinata dall'abbondanza relativa degli esemplari macrozoobentonici appartenenti a taxa "assegnati" ad uno di tali gruppi ecologici, così come indicato nel database di taxa del macrozoobenthos di fondi mobili del Mediterraneo. Tale database, presente anch'esso sul sito web [www.azti.es](http://www.azti.es), può essere impiegato insieme al software sopra citato, e viene aggiornato nel tempo, sulla base di nuove informazioni di carattere ecologico relative alle specie macrozoobentoniche, dedotte da studi, ricerche etc. L'ultima versione del database, qui adottata, risale a dicembre 2020.

In Figura 58 è stata espressa graficamente, per ognuna delle stazioni di campionamento, la ripartizione degli esemplari di macrozoobenthos nei 5 gruppi ecologici sopra descritti, calcolata con l'ausilio del software "AMBI: AZTI Marine Biotic Index"

(6.0). Il processo di identificazione ha consentito di riscontrare l'appartenenza di tutti gli esemplari del macrozoobenthos esaminati ad un *taxon* già assegnato ad uno dei cinque gruppi ecologici di riferimento: durante il processamento dei dati quali-quantitativi del macrozoobenthos, il software AMBI 6.0 assegna automaticamente uno dei suddetti cinque gruppi ecologici ad ogni *taxon* riscontrato. Tale "assegnazione" avviene sulla base di una lista di specie (*Species List*) di riferimento, insita nel software stesso. Tale lista è frutto delle conoscenze di carattere ecologico relative ai singoli *taxa* del macrozoobenthos marino, acquisite nel tempo; la lista è costantemente aggiornata da scienziati esperti dell'argomento. L'ultima versione di tale database, specificatamente adottata allo scopo della presente indagine, risale a dicembre 2020 e contiene oltre 10.500 specie del benthos marino

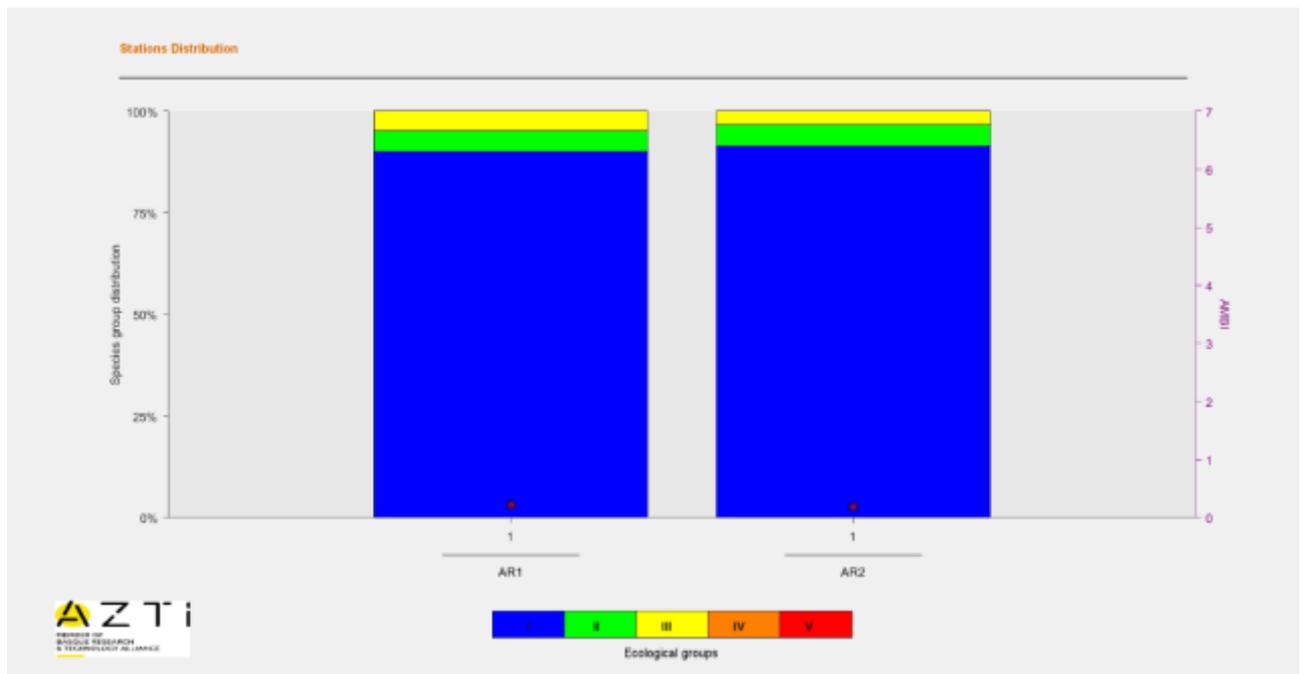


Figura 58. Abbondanza percentuale, nelle singole stazioni di campionamento, di ognuno dei 5 gruppi ecologici descritti nelle metodologie, calcolata in base al numero di esemplari del macrozoobenthos riscontrati nei campioni prelevati, attribuibili a *taxa* già "assegnati" ad uno di tali 5 gruppi (in base a conoscenze di carattere ecologico).

Dalla Figura 58 è facilmente osservabile come nelle due stazioni di campionamento la ripartizione di tutti gli esemplari del macrozoobenthos tra i suddetti gruppi ecologici sia molto simile. In particolare, tutti gli organismi appartengono esclusivamente ai gruppi I, II e III. Inoltre, dalla tabella 3 e dalla figura 1 è evidente che in entrambe le stazioni di campionamento la gran parte del macrozoobenthos (poco più del 90%) prelevato appartenga ad un unico gruppo ecologico: gruppo I, rappresentato da specie molto sensibili all'arricchimento organico - presenti quando l'ambiente è intatto - e soggette a scomparsa anche a seguito di un leggero squilibrio. Infine, in entrambi i campioni sono presenti – sebbene in misura decisamente inferiore - anche esemplari appartenenti ad altri due gruppi ecologici: gruppo II (4,9% e 5,1% nelle stazioni AR1 e AR2, rispettivamente), rappresentato da specie indifferenti all'arricchimento, presenti in ridotte densità e senza variazioni significative nel tempo, che possono svilupparsi a seguito della riduzione delle specie del gruppo I; gruppo III (4,9% e 3,4% nelle stazioni AR1 e AR2, rispettivamente), specie tolleranti ad un eccesso di sostanza organica, che sono stimulate dall'arricchimento, quindi in situazioni di disequilibrio.

Coerentemente a tali dati, i valori ricavati relativamente all'indice AMBI in ognuna delle stazioni di campionamento inducono a classificare l'area di indagine come non sottoposta a disturbo (Tabella 9). Infine, i valori di M-AMBI indicano che l'area di studio è contestualmente caratterizzata da una buona qualità ambientale, in quanto i valori dello stesso ricavati in entrambe le stazioni di campionamento indicano come l'area di indagine sia contraddistinta dalla classe del Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) "elevata" (High), (Tabella 9).

La Figura 59 mostra come, considerando i valori dell'indice AMBI, in ognuno dei due transetti di campionamento monitorati possa essere evidenziato un leggero gradiente di miglioramento costa-largo, in termini di entità di "disturbo".

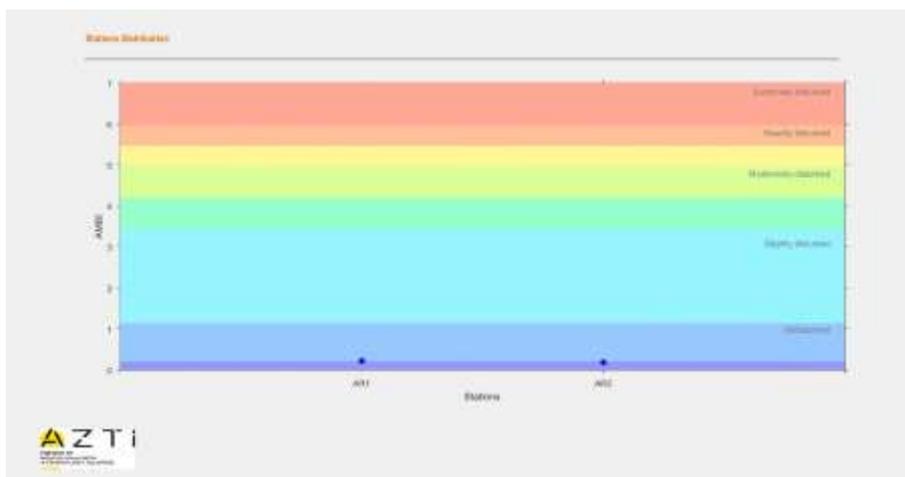


Figura 59. Distribuzione delle stazioni di campionamento con relativo valore dell'indice AMBI.

Il numero totale di specie del macrozoobenthos riscontrate è simile nelle due stazioni di campionamento, ovvero 16 in AR1 e 15 in AR2 (Tabella 9; Figura 59).

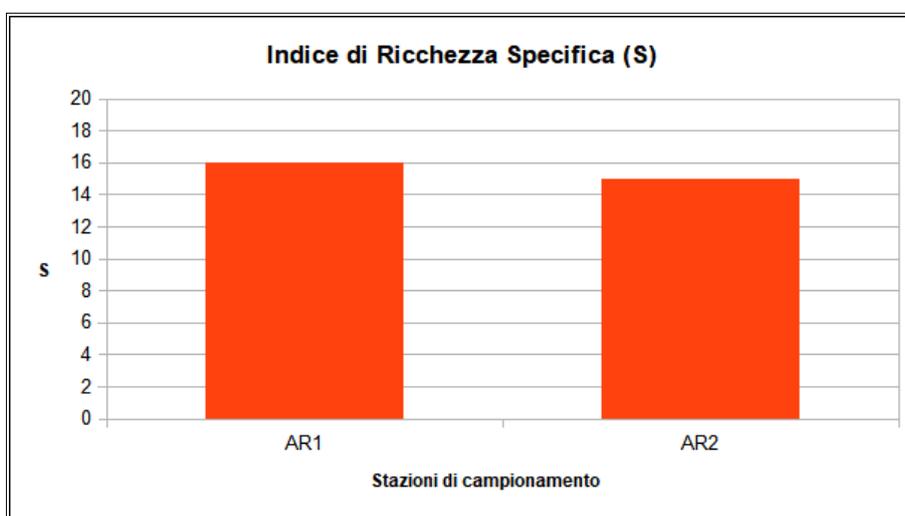


Figura 60. Ricchezza specifica totale del macrozoobenthos riscontrata in ogni stazione di campionamento.

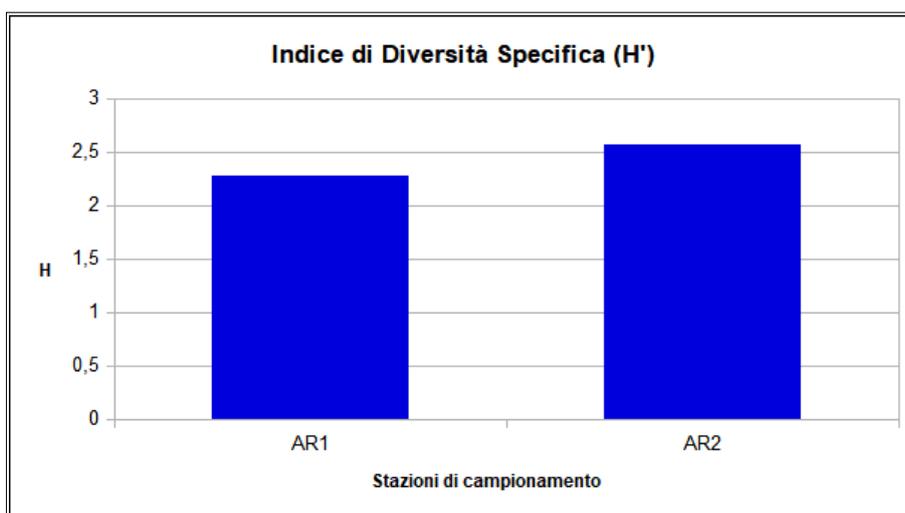


Figura 61. Valori dell'indice di diversità specifica (Shannon-Weaver) riscontrati per il macrozoobenthos in ognuna delle stazioni di campionamento.

L'indice di diversità specifica (H') esprime un valore tanto più elevato quanto più diversificata è una comunità, a testimoniare una condizione di naturalità migliore. Nell'area di indagine relativamente a tale indice sono stati riscontrati valori molto simili nelle due stazioni di campionamento: 2,27 e 2,57 in AR1 e AR2, rispettivamente (Tabella 9, Figura 61).

In entrambe le stazioni l'indice di diversità specifica di Shannon-Weaver, ha fatto riscontrare valori non tanto vicini a quelli massimi teorici, calcolati in base al numero di specie presenti nel campione (Tabella 10), secondo la seguente formula:

$$d_{max} = \text{Log}_2 \text{ di } S \text{ (dove } S \text{ è il numero totale di specie nel campione).}$$

Con ogni probabilità ciò si verifica in quanto, in entrambi le stazioni, un'unica specie (*Lucinella divaricata*) tra quelle riscontrate è decisamente più abbondante di tutte le altre presenti, rappresentando oltre la metà del totale degli organismi del macrozoobenthos, in termini di abbondanza numerica: nello specifico, il 64% e il 55% per AR1 e AR2, rispettivamente. Ciò crea un evidente squilibrio nella distribuzione del totale degli esemplari campionati tra le singole specie; nonché, una differente probabilità di cattura, nell'area di indagine, tra la specie più abbondante (*L. divaricata*) ed ognuna delle altre.

Stazioni	Diversità massima teorica ( $\text{Log}_2$ di S)	H' (valori riscontrati)
M1	4,00	2,27
M2	3,916	2,57

Tabella 10. Valori di diversità massima del macrozoobenthos per ogni stazione, calcolati con la formula:  $d_{max} = \text{Log}_2$  di S.

### 6.4.2 Conclusioni

Nei fondali dell'area marina costiera oggetto della presente indagine il sedimento è rappresentato prettamente da detrito grossolano. Questo è costituito in netta prevalenza da conchiglie di molluschi bivalvi (integre o frammentate) e in minor misura da conchiglie di molluschi gasteropodi e di resti calcarei di echinodermi, di tubi di policheti, di briozoi, di formariniferi etc. I fondali caratterizzati da un simile sedimento, presentando un elevato grado di porosità, sono di norma estremamente ricchi in meiofauna e mesopsammon (animali bentonici di dimensioni inferiori a quelli del macrozoobenthos), gruppi ecologici meno noti, rispetto al macrozoobenthos, ma molto importanti per l'alimentazione di altri organismi animali.

La distribuzione dei popolamenti marini macrozoobentonici riscontrati nei substrati mobili dell'area di studio, come atteso, risulta essere strettamente legata alla granulometria dei substrati in loco. Si tratta in ogni caso di popolamenti animali caratterizzati da un numero di specie piuttosto esiguo. Ciò, con buona probabilità, in conseguenza delle selettive condizioni idrodinamiche (correnti e moto ondoso) insistenti nell'area, prossima alla linea di costa, che generalmente inducono ad un naturale impoverimento del numero di specie presenti.

Il calcolo degli indici ecologici e l'applicazione del software "AMBI: AZTI Marine Biotic Index" (6.0) hanno permesso di evidenziare come sull'ambiente naturale dell'area marina soggetta alla presente indagine non insistano evidenti fenomeni di disturbo - di origine antropica e/o naturale. Inoltre, relativamente all'Elemento di Qualità Biologica "Macroinvertebrati Bentonici", la qualità ambientale dell'area marina presa in considerazione può essere considerata elevata. L'ecosistema bentonico dell'area non risulta attualmente compromesso da eventuali effetti dovuti ad attività antropiche.

## 6.5 Bibliografia specifica biologica

- Bianchi C. N., Morri C. I. (1985) - Policheti come descrittori della struttura trofica degli ecosistemi marini. *Oebalia*, **11**, N.S.: 203-214.
- Gambi M.C., Fresi E., Giangrande A. (1982) - Descrittori efficaci di comunità bentoniche. *Naturalista Siciliano*, -497.
- Gambi M.C., Giangrande A. (1986) - Distribution of soft bottom Polychaetes in two coastal areas of the Tyrrhenian Sea (Italy): structural analysis. *Estuar. Coast. and Shelf Sc.*, **23**: 847-862.
- Pearson T.H., Rosenberg R. (1978) - Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanog. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **16**: 229-311.
- Scipione M.B., Fresi E. (1983) - Distribution of Amphipod Crustaceans in *Posidonia oceanica* (L.) Delile Foliar Stratus. International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds. Boudouresque C. F., Jeudy de Grissac A. e Olivier J. edit., GIS Posidonie pubbl., France, **1**: 319-329.
- Shannon C.E., Weaver W. (1949) - The mathematical theory of communication. Urbana, Univ. Illinois Press.

# 7. Allegati

## Appendice A - Fascicolo schede tecniche strumenti:

- MBES: Teledyne-Reson SEABAT 7125 (200-400 kHz)
- IMU: Applanix POS MV VAWEMASTER
- SONDA SVP: Valeport SWIFT SVP
- SONDA SVS Valeport Mini SVS
- SW NAVIGAZIONE: Teledyne-Reson PDS
- SSS: Edgetech 4125
- DRONE: Parrot ANAFI
- GNSS: Topcon GR3 RTK

## Appendice B - Tavole grafiche:

## Appendice C – Dati numerici:

- Dati batimetrici in formato numerico (ASCII XYZ)
- Immagine raster shaded relief map
- Immagine raster mosaico SSS
- Immagine raster Ortofoto
- File vettoriale con: isobate, piano quotato, immagini raster ecc.