SeaForest LIFE

LIFE17 CCM/IT/000121

Azione C.3
Attività implementative

Beneficiario responsabile: D.R.E.A.M.

Autori: Walter Brambilla, Simone Simeone, Fabio Antognarelli, Giovanni De Falco, Alessandro Conforti.

Consiglio Nazionale delle Ricerche
IAS – Istituto per lo studio degli Impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino

Sommario

Abstract 3

1.0 Introduzione 5

2.0 Area di studio 6

2.1 Elementi sulla Prateria di Posidonia oceanica (L.) Delile 7

3.0 Metodi 8

3.1 Dati sismici 8

3.2 Dati Multibeam e backscatter 10

3.3 Mappatura dei fondali 14

4.0 Risultati 17

4.1 Interpretazioni delle linee sismiche 17

4.2 Mappe batimetriche e acustiche 28

4.3 Mappatura dei fondali 30

5.0 Conclusioni 31

BIBLIOGRAFIA 32

Abstract

Le attività implementative dell'azione C.3 svolte dallo IAS-CNR hanno l'obiettivo di approfondire lo stato conoscitivo delle aree di studio previste dal progetto Sea Forest Life e fornire informazioni utili alla gestione degli ancoraggi e degli ormeggi e alla programmazione di eventuali interventi sui sistemi di ormeggio.

Il settore marino indagato è situato nel Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena e ricade tra le isole di Razzoli, Budelli e Santa Maria.

Le attività svolte consistono nella caratterizzazione dei fondali attraverso la rianalisi dei dadi sismici (Sub Bottom Profiler) e geofisici (multibeam e backscatter) disponibili e dall'analisi interpretativa di ortofoto e immagini satellitari.

L'acquisizione e l'analisi delle linee sismiche sono attività che supportano principalmente la mappatura e caratterizzazione dell'Habitat 1120 , la gestione e la progettazione degli ancoraggi e degli ormeggi, infatti, attraverso l'analisi dei dati sismici disponibili sono stati determinati gli spessori dei corpi sabbiosi, delle matte di Posidonia oceanica e la presenza di substrati rocciosi.

Dall'analisi e dall'integrazione delle ortofoto, dei dati satellitari, dei dati multibeam e backscatter è stato possibile mappare l'Habitat 1120, i fondi duri (roccia affiorante) e i depositi sabbiosi costieri potenzialmente inerti, idonei ad ospitare l'ancoraggio libero e nuove strutture di ormeggio.

Queste informazioni sono elementi fondamentali e utili per garantire la gestione sostenibile degli ormeggi e la progettazione di eventuali nuovi campi boa eco-compatibili e non impattanti sull'Habitat 1120.

I risultati ottenuti hanno permesso di eseguire la limitazione degli habitat costieri a bassa profondità e di produrre un database utile a supportare lo sviluppo del piano di gestione degli ormeggi e degli ancoraggi (Azione C2), l'eventuale adeguamento dei sistemi di ormeggio già esistenti (Azione C3) e per l'eventuale progettazione di nuovi campi boa.

Abstract

The activities of C.3 action carried out by the IAS-CNR aim to deepen the knowledge of the study areas foresee by the Sea Forest Life project and to provide useful information for the management of anchors and moorings and for the interventions on mooring systems. The marine sector investigated is located in the National Park of La Maddalena Archipelago and falls between the Razzoli, Budelli, and Santa Maria islands. The activities aim to characterize the seabed through the reanalysis of available seismic (Bub Bottom Profiler) and geophysical (multibeam and backscatter) data, and through aerial image analysis and remote sensing. The acquisition and analysis of seismic lines are activities aimed at mapping and characterization of Habitat 1120, anchoring and moorings management. Through the analysis of the available seismic data were determined: (i)the sand deposits the thickness, (ii) Posidonia oceanica matte thickness, and (iii)the presence of rocky substrates. The maps of Habitat 1120, hard bottoms (outcropping rock), and the sand deposits, were obtained from the analysis and integration of aerial image, multibeam, and backscatter data. This informations type is useful for ensuring the good management of moorings and building of the new eco-friendly buoy fields. The results obtained made it possible to carry out the low depth coastal habitats map and to produce a database useful for supporting the mooring and anchorage management plan (Action C2), the possible adaptation of existing mooring systems (Action C3), and for the possible building of new buoy fields.

1.0 Introduzione

Lo IAS CNR UOS di Oristano, fornisce con il presente rapporto un'analisi interpretativa dei dati sismici e geofisici disponibili per il settore marino marina compresa tra le isole di Razzoli, Budelli e Santa Maria dell' Arcipelago de La Maddalena.
Il lavoro descritto rientra nelle attività del progetto SEA FOREST LIFE che ha come obbiettivo generale incrementare la capacità dei serbatoi di carbonio delle praterie di Posidonia, attraverso azioni di riduzione dell'erosione e successivo consolidamento dell'habitat 1120*: Praterie di Posidonia (*Posidonion oceanicae*).

La rimappatura dei fondali, L'acquisizione e l'analisi delle linee sismiche e l'analisi di dati multibeam e backscatter, sono attività previste dalle azioni A.1, C.2 e C.3 ("Gestione degli ancoraggi e degli ormeggi") del progetto SEA FOREST LIFE.
Le informazioni ed elaborazioni presentate in questo report, rappresentano una base conoscitiva utile per supportare la gestione e le azioni di intervento degli ormeggi che potranno essere eseguiti assicurando il minore impatto ambientale generale in funzione delle caratteristiche fisiche e biologiche del siti.
Attraverso la mappatura dei fondali, è possibile individuare gli habitat suscettibili agli ancoraggi e le aree più idonee potenzialmente inerti (depositi sabbiosi) dove effettuare le nuove installazioni dei sistemi di ormeggio; mentre le indagini sismiche forniscono informazioni sugli spessori dei depositi sabbiosi e alle caratteristiche del sottofondo, dati indispensabili per individuare i sistemi di ancoraggio degli ormeggi compatibili con le caratteristiche dei fondali.

2.0 Area di studio

L'area di studio è situata nel mediterraneo occidentale, tra le isole più settentrionali del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena (Sardegna, Italia). Ricopre il fondale marino denominato Porto Madonna che si sviluppa per una superficie di ca. 1.29 kmq tra le Isole di Santa Maria, Budelli e Razzoli (Figura 1).
Il Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena è stato istituito, nel 1994. (Figura 1) è posizionato all'estremità nord-Orientale della Sardegna, L'arcipelago di La Maddalena, localizzato nelle Bocche di Bonifacio, è costituito da 7 isole principali (La Maddalena, Caprera, Spargi, Santo Stefano, Santa Maria, Budelli e Razzoli) e oltre 50 isolotti minori. La superficie complessiva è di circa 5134 ha e il perimetro costiero è di circa 180 km Il territorio dell'intero parco ricade nel comune di La Maddalena.
Nell'area di studio sono presenti essenzialmente rocce granitoidi, in particolare monzograniti inequigranulari, localizzatisi durante gli stadi post-collisionali dell'orogenesi post-varisica, tra il Carbonifero superiore ed il Permiano inferiore.
Solo nella porzione settentrionale dell'isola di Santa Maria, affiorano rocce metamorfiche di alto grado, costituite da gneiss e migmatiti (Barca et al., 1996).
La conformazione della linea di costa è stata condizionata dall'interazione tra la litologia, le lineazioni tettoniche e i processi erosivi. Essa si articola in una serie di promontori e insenature isoorientati e variabilmente sviluppati. I promontori e le baie hanno direzione prevalentemente NNE-SSW.
Il rapporto tra la superficie totale delle isole e lo sviluppo costiero esprime un elevato grado di frastagliamento. Le coste sono prevalentemente rocciose e basse e presentano rias ed insenature, conseguenza della sommersione di vecchie morfologie per lo più fluviali, avvenuta durante la trasgressione versiliana (Biondi et al., 2005).
I tratti di litorale sabbioso sono circoscritti a modeste insenature, queste spiagge note come pocket-beaches sono soggette a scarso ripascimento naturale vista la mancanza di corsi d'acqua e si conservano grazie alla all'ambiente protetto e alla posizione poco esposta alle mareggiate in cui si trovano. I depositi sabbiosi rispecchiano in maniera evidente la litologia dell'entroterra; la loro composizione è essenzialmente arcosica, costituita nell'ordine da: quarzo, feldspati alcalini, plagioclasi con subordinate miche e minerali pesanti quali monazite e zircone. In alcuni casi è notevole la componente organogena che si manifesta con bioclasti derivanti da briozoi, che conferiscono il colore rosa ad alcune spiagge (tra cui la spiaggia rosa di Budelli), foraminiferi, frammenti di lamellibranchi, ecc (Baldacci et al., 1961; Oggiani et al., 2005).
I fondali sono caratterizzati da lineazioni e dislocamenti tettonici prodotti dalle diverse fasi orogenetiche e la configurazione morfologica prodotta dalle azioni di modellamento che hanno interessa questo settore della Sardegna settentrionale.
In particolare sulla piattaforma interna sono stati rilevati:

- Paleo alvei;
- Linee di drenaggio ed antiche valli, profondamente incise dai paleo alvei impostati sulle principali linee tettoniche alpine;
- Alti strutturali connessi alle dislocazioni tettoniche, che sono in continuità morfologica con quelli del territorio emerso.

La piattaforma esterna ha il bordo netto con andamento NW-SE ed è profondamente incisa sa una serie di canyon sottomarini di origine fluviale, in parte ancora attivi con orientazione NE-SW che solcano profondamente sia il bordo della piattaforma sia la scarpata (Oggiano et al., 2015).

2.1 Elementi sulla Prateria di Posidonia oceanica (L.) Delile

Nell'area del Parco della Maddalena, Le praterie *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile si distribuiscono in tutta l'area seguendo l'andamento batimetrico, a partire da -5/10m superando in alcuni tratti l'isobata-40m, costituendo una fascia quasi continua e in buono stato di conservazione intorno alle isole, sono particolarmente ben sviluppate lungo i versanti costieri sud-orientali, come in quello meridionale di Caprera. Presentano invece diversi stati di degrado del posidonieto le aree del canale tra La Maddalena e Santo Stefano, del passo della Moneta, di Stagnali e del porto della Madonna(Cossu & Gazale, 1995 e 1997; Ministero Dell'Ambiente E della Tutela Del Territorio 2002).

Il complesso di isole Razzoli, Santa Maria e Budelli, è caratterizzato da due fasce a tipologia diversa di prateria a *Posidonia oceanica*. Una più interna, in cui il posidonieto è impiantato su roccia, molto stretta e spesso interrotta, in prossimità delle piccole cale da lingue di posidonieti su sabbia o matte. Di maggiori estensione sono quelli localizzati a cala Muro, nello stretto degli Asinelli, a Cala Lunga, a Chiecca di Morto e nel tratto di fondale tra Razzoli e Budelli. Quest'ultima presenta un limite inferiore degradante in prossimità del quale è stata rilevata la presenza di isole di media grandezza a matte morta. La fascia esterna, molto frammentata, comprende un posidonieto che si sviluppa su matte o sabbia fino alle profondità di -35 m, e presenta una maggiore estensione lungo la costa orientale di Santa Maria e di Budelli (Ministero Dell'Ambiente E della Tutela Del Territorio 2002, PIANO DI GESTIONE DEL SIC "Arcipelago La Maddalena ITB010008", 2016).

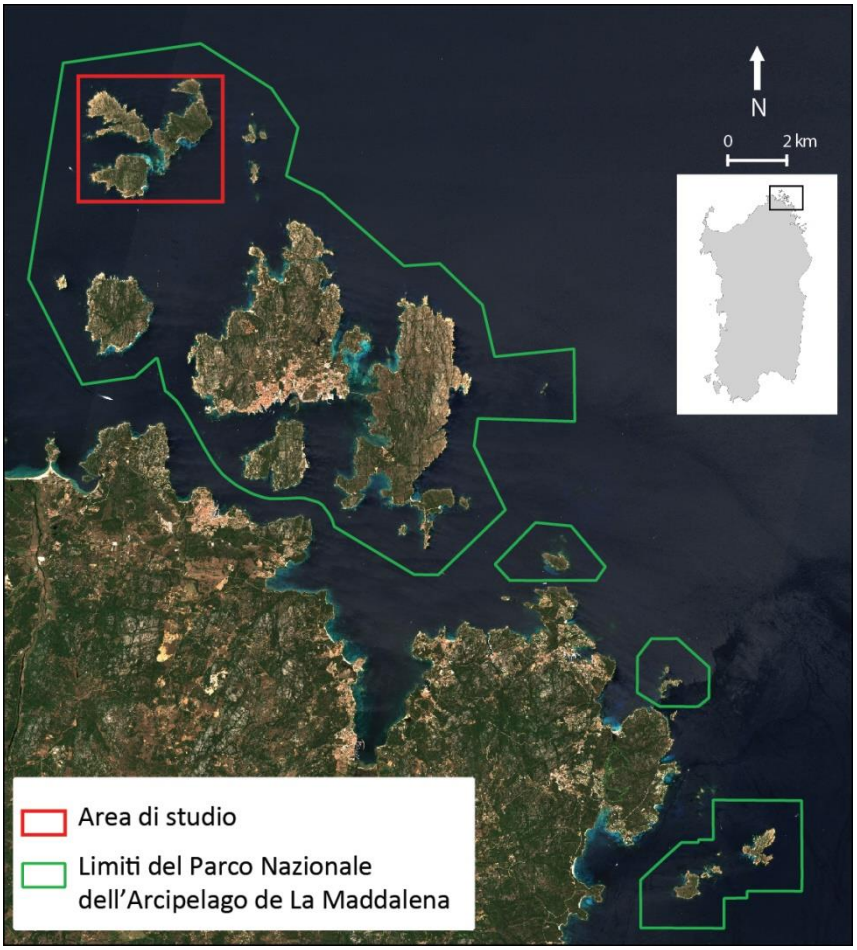

Figura 1. Mappa di posizionamento dell'area di studio

3.0 Metodi

3.1 Dati sismici

I profili sismici reinterpretati e descritti in questo report sono stati acquisiti durante lo svolgimento delle attività previste dalla convenzione operativa stipulata fra il Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena e il C.N.R. (Report interno CNR, 2016).

Nel fondale del Porto della Madonna sono stati acquisiti 16 profili sismici (Figura 2) ad altissima risoluzione, per un totale di 5490 m .

Tali profili sono stati acquisiti utilizzando un sub bottom profiler ad alta risoluzione equipaggiato con un sistema di acquisizione che ha consentito la registrazione digitale dei dati nei formati XTF e SEGY.

Lo strumento utilizzato per il rilievo è un Innomar SES-2000 compact, che permette di rilevare fondali fino a 400 metri di profondità, garantendo una penetrazione fino a 40 metri e con una risoluzione verticale variabile tra 1 e 5 centimetri.

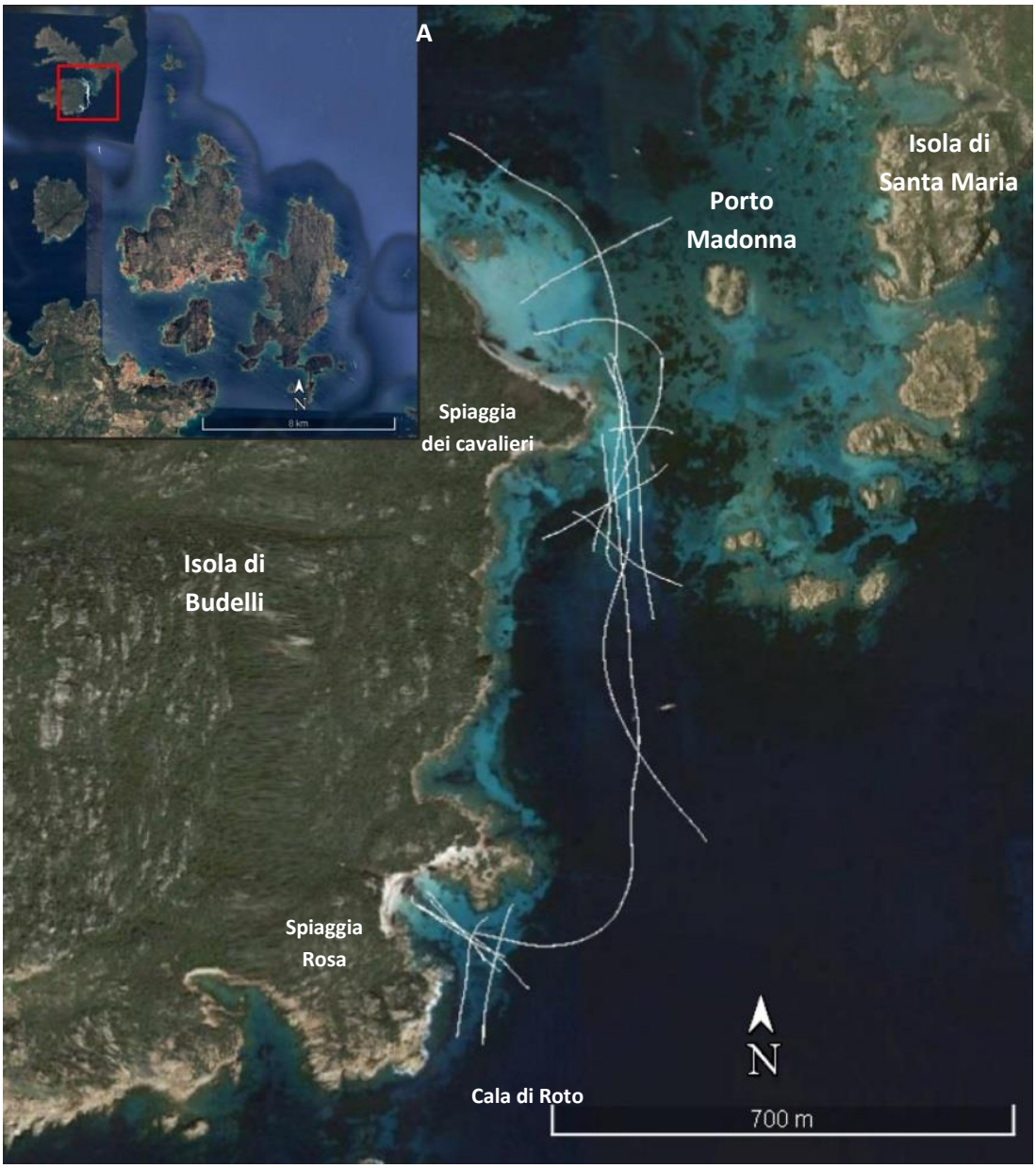

Figura 2: Mappa delle rotte seguite per l'esecuzione delle linee sismiche

Di seguito sono riportate le caratteristiche strumentali del SES-2000 (Tabella 1).

Tabella 1: caratteristiche strumentali SES 2000

Water depth range	0.5 - 400 m
Sediment penetration	Up to 40 m
Range/layer resolution	Approx. 1 cm / up to 5 cm
Transmit beam width	Approx. +/- 2° / footprint <7% of water depth
Primary frequency	100 kHz
Secondary low frequencies	4, 5, 6, 8, 10, 12,15 kHz
Pulse width	0.07 - 1 ms
Ping rate	Up to 40 pings/s

Durante il rilievo è stata utilizzata la frequenza di 10 kHz e sono stati acquisiti dati in alcuni punti di interesse individuati dal rilievo batimetrico.
Il rilievo sismico è stato eseguito mediante rotte perpendicolari alla costa e in base alla morfologia costiera e alla distribuzione delle praterie di Posidonia oceanica, con incroci trasversali per collegare i riflettori relativi alle morfostrutture. L'imbarcazione ha mantenuto una velocità di lavoro compresa tra 3 e i 4 nodi.
L'interpretazione dei profili sismici si basa sui criteri sismico-stratigrafici di Mitchum et al. (1977).
Le linee rilevate sono state interpretate allo scopo di individuare e digitalizzare i principali reflettori acustici visibili nell'area di indagine. I principali elementi individuati sono la Posidonia oceanica, la matte morta, sedimenti e la roccia. Tali reflettori sono stati rappresentati secondo schemi stratigrafici di base.
I dati acquisiti forniscono una penetrazione del segnale (che in situazioni ottimali può superare i 10 metri) tale da dare una stratigrafia rappresentativa delle facies acustiche riscontrate. Tuttavia la profondità di penetrazione e la qualità della risposta acustica sono fortemente influenzate dalle caratteristiche del fondo mare. Ciò avviene in particolare nelle aree colonizzate da matte viva di *Posidonia oceanica* che assorbe quasi completamente il segnale, rendendo poco evidenti eventuali reflettori sottostanti. Inoltre, nelle porzioni dei profili sismici acquisite in acque basse (circa 2 m di profondità), le "multiple" intese come la doppia riflessione proveniente dal fondo mare, anticipano e coprono i reflettori.
L'analisi di immagini aeree, abbinata a informazioni pregresse, hanno permesso di fornire una interpretazione qualitativa e semi-quantitativa delle facies acustiche.

3.2 Dati Multibeam e backscatter

I dati multibeam e backscatter per il Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena, sono stati acquisiti dall'IAS-CNR della sede di Oristano durante attività pregresse al Sea Forest Life, facenti parte di una convenzione operativa stipulata dall'ente parco e dall'CNR (Report CNR, 2016). L'obiettivo generale della convenzione era quello di monitorare lo stato delle spiagge locali e di individuare i processi che regolano la dinamica delle stesse. Inoltre il progetto aveva come obiettivo quello di individuare, ove possibile, le interferenze che le attività antropiche arrecano alle spiagge e alla loro dinamica ed evoluzione.
I dati sono stati acquisiti nel sito di interesse Blue carbon del Porto della Madonna/Cala Santa Maria e sono messi a disposizione per l'attività di aggiornamento della mappatura e della caratterizzazione della prateria di *Posidonia oceanica*.
Il rilievo geofisico delle aree di interesse si è svolto nel periodo 6 - 13 ottobre 2015 ed ha previsto l'acquisizione di dati batimetrici ad altissima risoluzione mediante ecoscandaglio multi fascio in grado di registrare oltre al dato batimetrico anche il dato di backscatter (Report CNR, 2016).
Lo strumento utilizzato è il Reson SeaBat 7125 che lavora ad altissima risoluzione con doppia frequenza operativa, 200 - 400 kHz. In Tabella 2 sono riportate le specifiche tecniche dello strumento (Report CNR, 2016).

Tabella 2. Caratteristiche multibeam

Frequency	200kHz 400kHz
Max ping rate	50Hz (±1Hz)
Along-track transmit beam width	2° at 200kHz & 1° at 400kHz
Across-track receive beam width	1° at 200kHz & 0.5° at 400kHz
Pulse length	30µs – 300µs Continuous Wave 300µs – 20ms Frequency Modulated (X-Range)
Number of beams	512EA/ED at 400kHz 256EA/ED at 200kHz
Max swath angle	140° in Equi-Distant Mode 165° in Equi-Angle Mode
Typical depth	0.5m to 150m at 400kHz 0.5m to 400m at 200kHz
Max depth	>175m at 400kHz 450m at 200kHz
Depth resolution	6mm

Figura 3. Installazione dei trasduttori del Teledyne Reson SeaBat 7125 con moon-pool.

Durante il survey è stata utilizzata una piattaforma inerziale Applanix POS MV, un sistema integrato che utilizza un GPS con doppia antenna ed un sensore di moto per registrare ogni movimento dell'imbarcazione: il sistema contiene tre giroscopi e tre accelerometri che misurano l'accelerazione e la velocità angolare, mentre il sistema a doppia antenna fornisce la posizione assoluta e la direzione della prua (heading) (Report CNR, 2016).

In Tabella 3 sono riportate le specifiche tecniche del sistema POS MV.

Tabella 3: specifiche tecniche del sistema POS MV

Roll, Pitch Accuracy	0.02° (1 sigma with GNSS or DGNSS) 0.01° (1 sigma with RTK)
Heave Accuracy	5 cm or 5% (whichever is greater) for periods of 20 s or less
Heading Accuracy	0.02° (1 sigma) with 2 m antenna baseline 0.01° (1 sigma) with 4 m baseline
RTK Positioning Accuracy	Horizontal: ±(8 mm + 1 ppm x baseline length) Vertical: ±(15 mm + 1 ppm x baseline length)
DGPS Positioning Accuracy	0.5 - 2 m (1 sigma) depending on quality of differential corrections
Velocity Accuracy	0.03 m/s horizontal

Un GPS Trimble BX982, è stato inoltre utilizzato per fornire la correzione differenziale HP-XP Omnistar che ha garantito una precisione centimetrica del dato di posizionamento. Una sonda Valeport miniSVS montata in prossimità dei trasduttori ha fornito i valori di velocità del suono in continuo per il beam steering mentre

un profilatore di velocità Reson SVP 15 è stato utilizzato per la registrazione del profilo di velocità lungo la colonna d'acqua (Report CNR, 2016).
Il software di acquisizione utilizzato, il PDS2000, viene interfacciato con la strumentazione al fine di applicare in tempo reale ai dati batimetrici il posizionamento, le correzioni dovute al moto dell'imbarcazione ed al profilo di velocità registrato dal profilatore (Report CNR, 2016).

Il rilievo morfo-batimetrico ha interessato un fondale compreso tra i 2 metri ed i 30 metri di profondità nelle aree antistanti le spiagge di Santa Maria e dei Cavalieri, mentre nell'area della spiaggia Rosa - Cala di Roto la profondità massima raggiunta è stata di 50 metri.
I dati sono stati acquisiti utilizzando la frequenza operativa di 400 kHz e la modalità equidistante che, con una spaziatura uniforme tra le singole letture di profondità, garantisce la massima risoluzione orizzontale possibile (Report CNR, 2016).
Le linee di navigazione (Figure 4, 5 e 6) sono state pianificate per ottenere una copertura totale delle zone di interesse; in generale l'area rilevata con una singola spazzata Multibeam varia in funzione della profondità, quindi la distanza tra le rotte di acquisizione non è stata costante nel corso del rilievo ma tale da garantire una sovrapposizione minima del 20% tra idati di spazzate adiacenti (Report CNR, 2016).

Figura 4. la figura mostra le linee di navigazione percorse di fronte la spiaggia di Santa Maria. Immagine tratta da Report CNR, 2016.

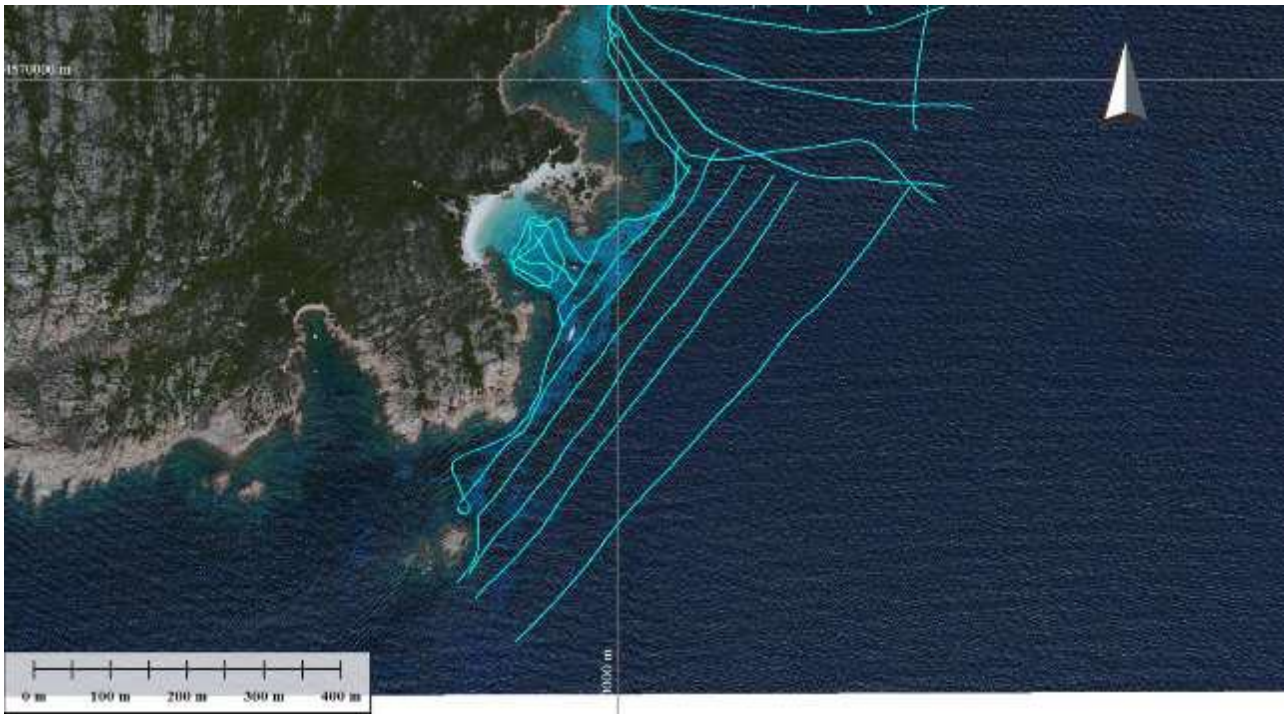

Figura 5. La figura mostra le linee di navigazione dell'acquisizione multibeam di fronte la spiaggia Rosa - Cala di Roto. Immagine tratta da Report CNR, 2016.

Figura 6. La figura mostra le linee di navigazione dell'acquisizione multibeam di fronte la spiaggia dei Cavalieri – Porto Madonna. Immagine tratta da Report CNR, 2016.

3.3 Mappatura dei fondali

In primo luogo sono stati studiati i dati cartografici più recenti relativi alle mappature geomorfologiche e degli Habitat dei fondali (Tabella 4).
Dopo l'analisi dei dati bibliografici raccolti si è reputato necessario aggiornare le mappatura dei deposi sabbiosi costieri attraverso la fotointerpretazione e l'analisi di immagine di foto aeree e immagini satellitari recenti.
Le interpretazioni delle immagini hanno riguardato le distinzioni degli elementi più facilmente identificabili come i sedimenti sciolti, gli affioramenti rocciosi e la prateria a Posidonia nelle tipologie di matte viva e matte degradata o morta.

Tabella 4 Dati bibliografici raccolti per la caratterizzazione dei fondali delle aree di studio.

Aree di studio	Dati bibliografico
Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena	- Sea grass map APAT, 2005. - Carta Biocenotica dei fondi marini - Dati sismoacustici della Spiaggia Rosa – Cala di Roto, della Spiaggia del Cavalieri e della Spiaggia di Santa Maria, IAMC-CNR, 2016 . - PIANO DI GESTIONE DEL SIC "Arcipelago La Maddalena ITB010008", 2016.

L'aggiornamento e l'identificazione dei depositi sabbiosi costieri è stato realizzato con l'analisi di tutte le immagini aeree e dati satellitari recenti (Tabella 5). I risultati delle analisi sono stati elaborati ed integrati ai dati cartografici esistenti (Tabella 4). La mappatura è stata svolta utilizzando immagini differenti all'interno della stessa area per garantire la bontà dell'interpretazione. Le immagini utilizzate sono state selezionate in base alle seguenti caratteristiche: qualità della luce, assenza di riflessi della superficie del mare, assenza di copertura nuvolosa, assenza di increspature dovute a moto ondoso e una buona trasparenza delle acque (Figura 5). Tutte le immagini utilizzate sono state acquisite nell'arco di 3 anni.

Tabella 5. Elenco delle foto aeree e immagini satellitari utilizzate con relativa risoluzione spaziale, ente fornitore e siti coperti.

Dato	Anno/i	Risoluzione spaziale	Fonte
Ortofoto	2016	20 cm	Regione Autonoma della Sardegna (RAS)
Immagini satellitari Word Imagery	2018	30 cm	Global Mapper Blue Mable (GM)
Immagine satellitare GeoEye	2019	50 cm	Google

Il procedimento di mappatura si è svolto in un intervallo batimetrico variabile a seconda della zona e compreso mediamente tra i 0 a - 15 m di profondità, infatti l'interpretazione si è basata sul riconoscimento dei morfotipi del fondale messi in evidenza dalla riflettenza degli oggetti visibili grazie alla trasparenza delle acque costiere.

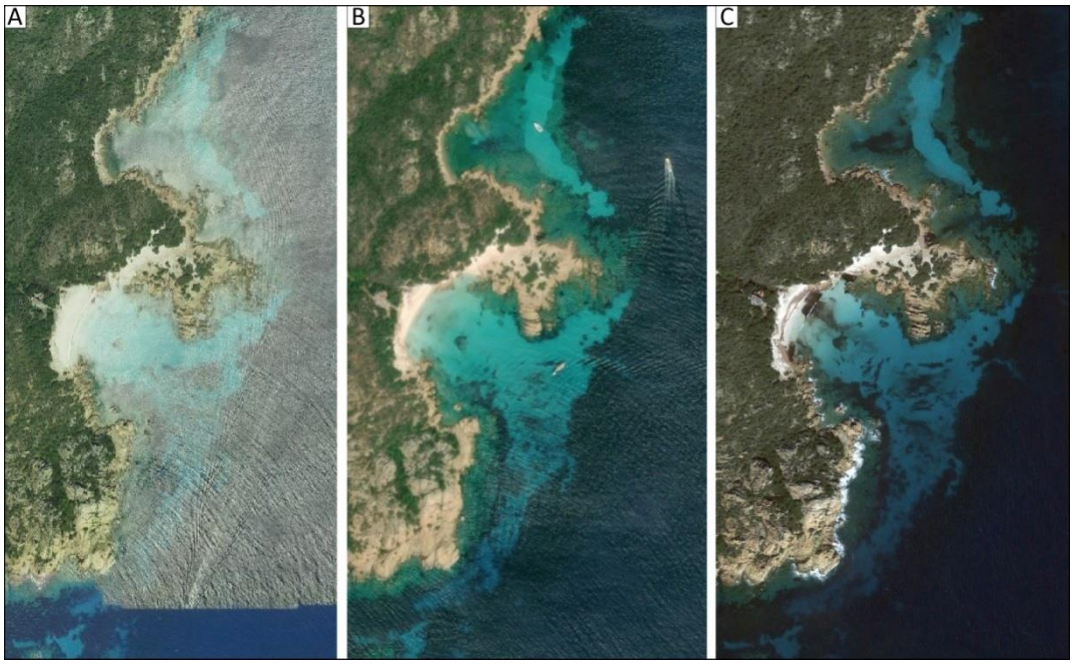

Figura 7. La figura mostra a titolo esemplificativo la copertura sud-occidentale dell'isola di Budelli (Parco Nazionale dell'arcipelago de La Maddalena) restituita con l'ortofoto della RAS (A), la word imagery di GM (B) e l'immagine GeoEye (C).

I depositi sabbiosi sono stati distinti rispetto ai principali morfotipi che caratterizzano i fondali studiati, ovvero roccia, posidonia a matte morta o degradata e posidonia a matte viva (Figura 8).

Il riconoscimento è stato eseguito attraverso l'interpretazione morfologica delle caratteristiche visibili dei fondali (limiti, forme e colorazioni), inoltre l'interpretazione è stata tarata attraverso il campionamento e l'integrazione dei dati sismo-acustici di verità mare disponibili.

I depositi sabbiosi sono contraddistinti da morfologie trattive dall'aspetto sinuoso generate da correnti e da moto ondoso come barre, ripple e altri depositi da ostacolo evidenziati da colorazioni che nelle immagini variano dal bianco all'azzurro sino a tonalità chiare di verde (esempio marcato col numero 1 in figura 8). Le tipologie dei limiti dei depositi sabbiosi variano a seconda delle caratteristiche del fondale che li confina. I fondali rocciosi presentano dei limiti generalmente netti, a volte spigolosi e a seconda della natura litologica presentano diaclasi, morfologie a cuscino e strutture massive.

Il secondo margine è rappresentato dalla *Posidonia oceanica* che contiene i depositi sabbiosi verso costa col limite superiore della prateria o li ingloba nelle depressioni intramatte. Questi limiti risultano sempre ben marcati e cambiano forma a seconda della struttura della prateria e della tipologia di colonizzazione del substrato da parte delle fanerogame. Sono individuabili tramite una variazione netta di colore che si presenta in toni di verde, grigio o blu a seconda della tipologia della matte che in questo caso abbiamo riconosciuto come morta o viva (rispettivamente marcati coi numeri 3 e 4 in figura 8).

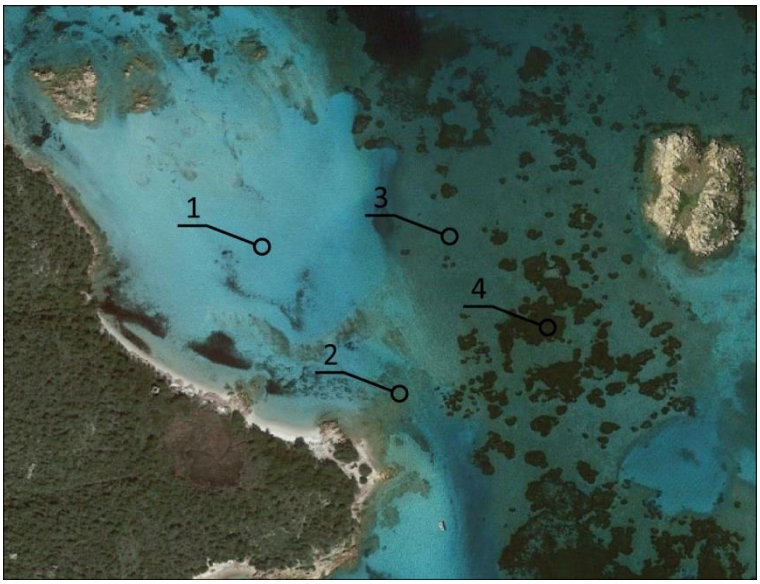

Figura 8. In figura vengono indicati i quattro principali elementi del fondo mare riconosciuti: depositi sabbiosi (1), roccia (2), posidonia con matte morta (3), posidonia con matte viva (4).

La mappatura dei limiti dei depositi sabbiosi è stata effettuata a una scala di lavoro pari a 1:1000, pertanto le restituzioni cartografiche possono essere apprezzate da scale pari e/o superiori.
La scala di lavoro ha permesso di aumentare il dettaglio cartografico rispetto ai lavori precedenti e di individuare nuovi elementi non mappati precedentemente. Di seguito in figura 9 viene mostrata l'esempio della differenza della vecchia mappatura dei depositi sabbiosi presenti entro i 10 metri di profondità (A) rispetto alla nuova (B).

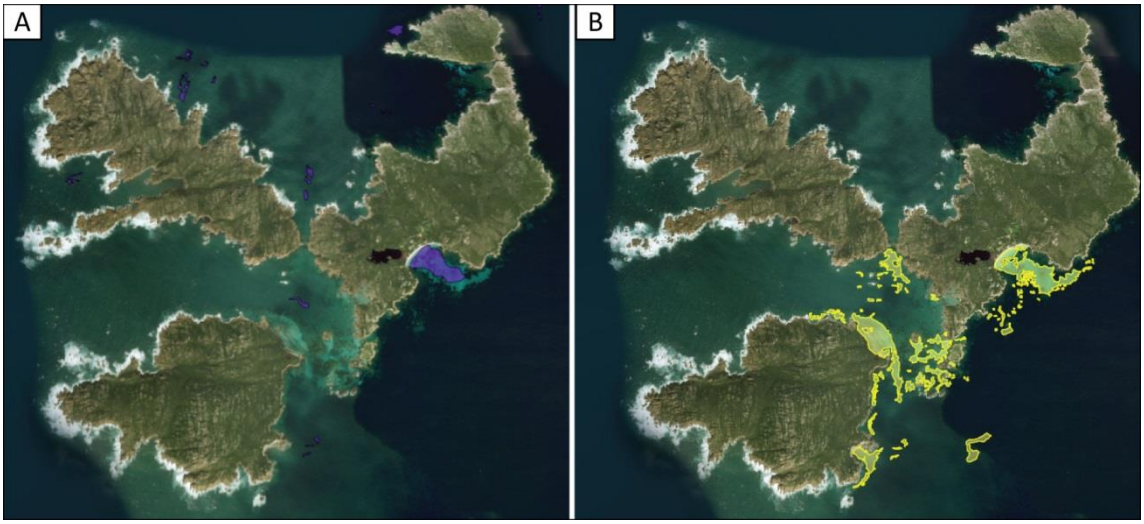

Figura 9. La figura mostra il tratto di mare chiamato Porto della Madonna, situato tra le isole Budelli, Razzoli e S.Maria nel Parco Nazionale de La Maddalena. In A sono mostrati i depositi sabbiosi costieri mappati nella SeaGrassMap del 2005, mentre in B viene mostrata la mappatura aggiornata per questo settore.

Il sistema di riferimento geografico utilizzato per le rappresentazioni cartografiche è WGS84 UTM 32N.

4.0 Risultati

4.1 Interpretazioni delle linee sismiche

I sismogrammi illustrati di seguito sulle ordinate mostrano in millisecondi (ms) il tempo necessario ad ogni singolo impulso per essere trasmesso nel sottosuolo e riflesso verso la superficie, definito "two-way travel time" o TWTT (Leckebusch, 2003,Conyers, 2004). 1 ms equivale a una distanza di 0.75 m.
Sulla sinistra delle Figure, è stato inserito un riquadro di posizionamento della sezione mostrata nel sonogramma. La linea in oggetto è evidenziata in rosso e con le lettere A e B si indica rispettivamente l'inizio e la fine del profilo illustrato.

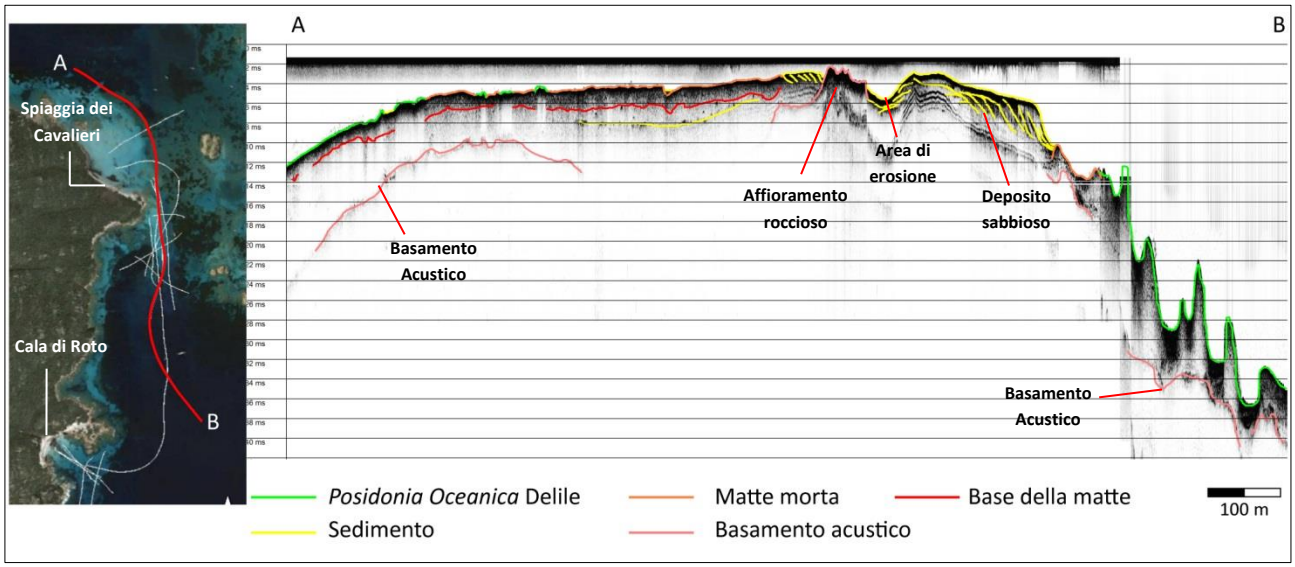

Figura 10. Interpretazione della linea 103334SES_LF

Il profilo sismico "103334SES_LF" mostrato in Figura 10, è stato acquisito parallelamente alla costa dell'isola di Budelli. Il profilo è lungo circa 1280 m, inizia a circa 350 m a nord dalla spiaggia dei Cavalieri (punto A) e termina in coincidenza di una paleo-canalizzazione corrispondente ad una incisione proveniente dal versante Est dell'isola di Budellia circa 480 m a largo della Spiaggia Rosa (punto B). La presenza del posidonieto (marcato in verde), riduce la penetrazione del segnale acustico, per questo motivo, i reflettori sottostanti non sono riconoscibili ovunque e lo spessore della Posidonia in alcune aree rimane incerta. Tuttavia, nella prima parte del profilo, dove la posidonia si presenta più diradata, è stato possibile misurare spessori della matte di circa 0.80 -1 m. La matte morta (evidenziata in arancione) mantiene, per tutta la sua estensione, spessori di circa 1.50 m. La risposta sismica sotto il posidonieto evidenzia la presenza di depositi sedimentari spessi circa 3 m, di cui però non sono riconoscibili le caratteristiche sedimentologiche. Al centro del profilo, in corrispondenza del promontorio che limita a sud la spiaggia dei Cavalieri, è stato riscontrato un affioramento roccioso, che si immerge nei depositi sabbiosi adiacenti. Proseguendo lungo il profilo, si incontra una depressione del fondo descrivibile come un area di erosione, si riconosce un deposito sabbioso clinostratificato con spessori misurabili sino a 3 m, questi depositi potrebbero essere più spessi in quanto la presenza della multipla limita la visibilità di altri reflettori. Negli ultimi 300 m del profilo, si riscontra la presenza di *Posidonia oceanica* di cui non è misurabile lo spessore. Il Basamento acustico è visibile lungo il profilo nei primi 350 m e negli ultimi 250 m, a una profondità dal fondo mare variabile tra i 3 e i 6 metri.

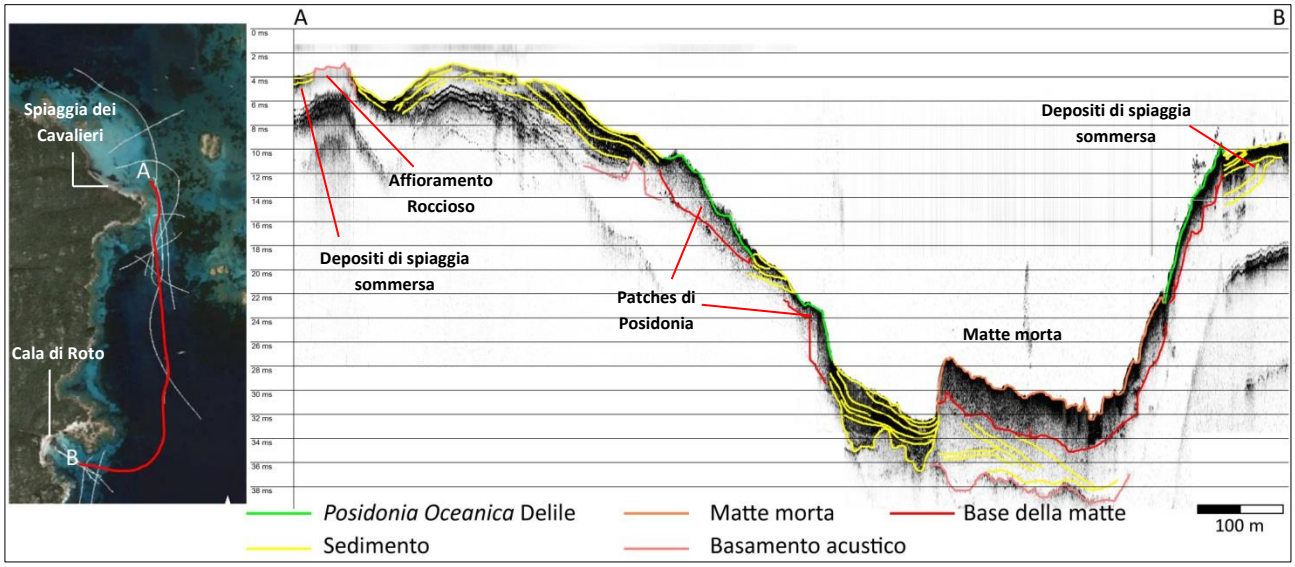

Figura 11. Interpretazione linea 112727SES_LF

La linea “112727SES_LF” (Figura 11) si sviluppa per circa 1100 m, inizia dal margine orientale della spiaggia dei Cavalieri (punto A) e termina sulla soglia della "Cala di Roto" (Spiaggia Rosa)(punto B). Nei primi metri del profilo è possibile osservare depositi di spiaggia sommersa di spessore incerto che vengono interrotti da un affioramento roccioso in corrispondenza del promontorio che limita verso sud la spiaggia del Cavalieri. Oltre l’affioramento roccioso, si rileva lo stesso deposito riscontrato nel profilo precedente. In questa nuova linea, la successione sedimentaria ha uno spessore misurabile sino a 4 m. Anche in questo caso la presenza della multipla copre eventuali reflettori sottostanti.

Oltre questi depositi sono state rilevate delle patches di posidonia (marcata in verde nella figura) con spessori variabili tra 0.80 m e 2 m alternate a depositi sabbiosi dagli spessori incerti ma mai inferiori al 1.50 m. Il profilo prosegue raggiungendo i - 24 m di profondità, dove viene rilevato una vasta area caratterizzata da matte morta (marcata in arancione) spessa circa 2 m e radicata su deposi di sedimentari di incerta natura spessi circa 3 m limitati dal basamento acustico visibile solo in questo tratto di profilo. La matte morta si sviluppa per circa 300 m sino alla quota batimetrica dei -16 m. Da questo punto si rileva *Posidonia oceanica* viva con matte spessa circa 0.80 m che si sviluppa per circa 100 m lungo il profilo sino alla soglia della Cala di Roto .

Il limite superiore delle matte a Posidonia è localizzato a 10 m circa di profondità, viene susseguito dai depositi di spiaggia sommersa della Spiaggia Rosa. Questi depositi sabbiosi hanno uno spessore misurabile di circa 3 m.

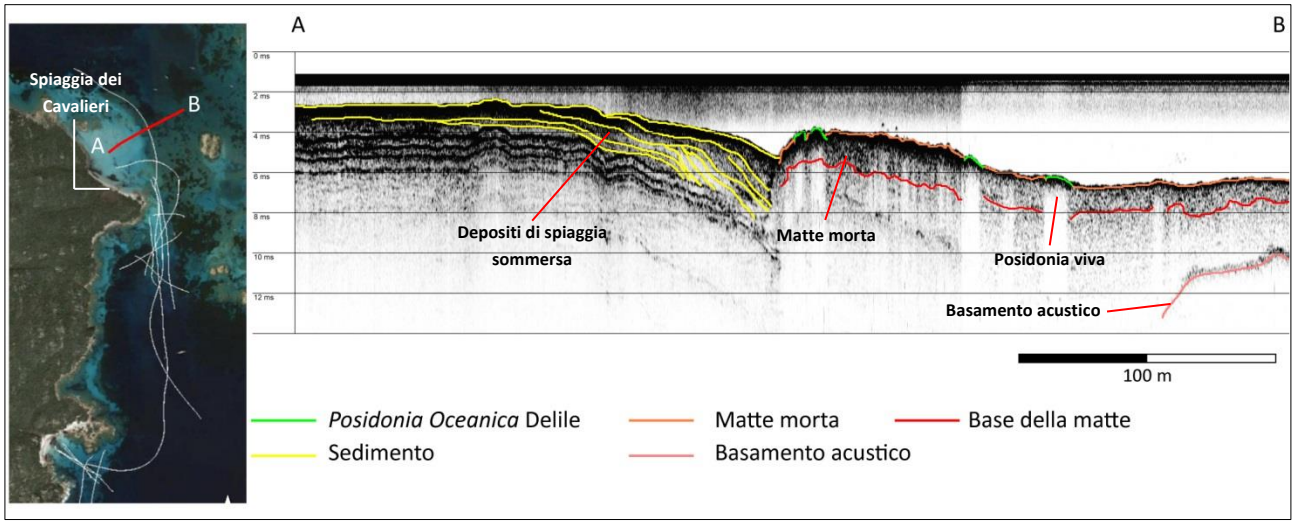

Figura 12: interpretazione della linea 105307SES_LF

La linea sismica illustrata nella Figura 12, evidenzia come nella spiaggia sommersa dei Cavalieri sia presente una fascia interna caratterizzata da depositi di spiaggia sommersa (marcati in giallo) ben sviluppati ma di spessore incerto a causa della presenza del segnale della multipla. Una fascia più esterna è caratterizzata da matte morta (marcata in arancione) con spessori di circa 1 m, apparentemente non inferiori a 0.80 m, interrotta sporadicamente da qualche patch di posidonia viva (marcata in verde), i cui spessori sono indistinguibili. Il basamento acustico (marcato in rosa) è riconoscibile solo a fine linea tra i 3 m e i 4 m di profondità dal fondo mare. Anche se i reflettori non sono perfettamente visibili, è possibile affermare che la base della matte, rilevata in queste linee, è radicata su sedimenti probabilmente sabbiosi, i cui spessori variano tra i 2 e i 3 m.

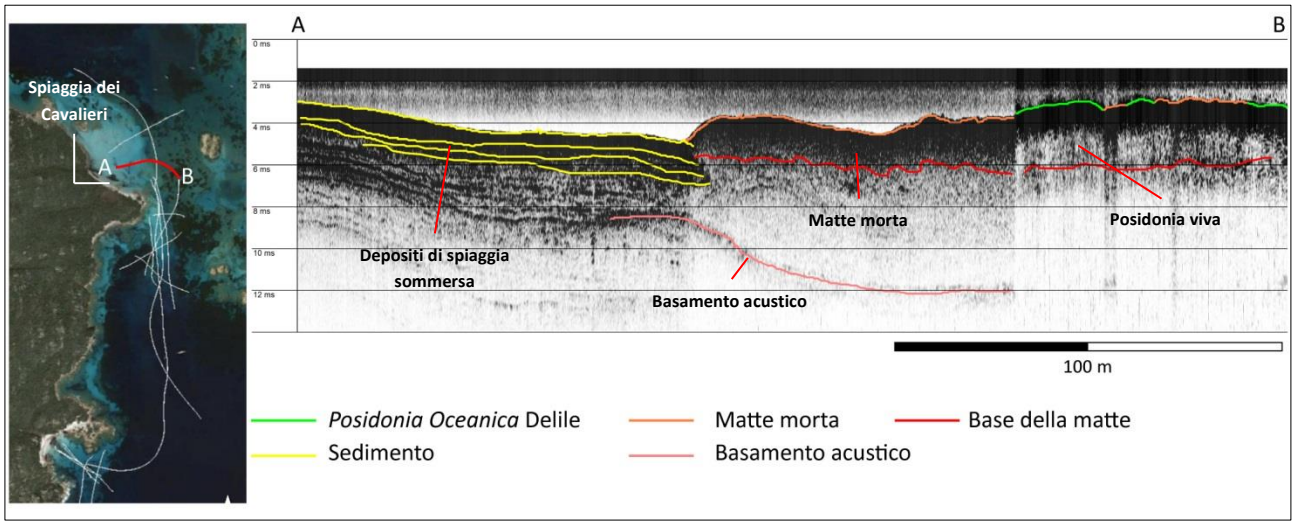

Figura 13. Interpretazione della linea 105901SES_LF

Il profilo sismico “105901SES_LF” illustrato nella Figura 13, attraversa una fascia caratterizzata da depositi di spiaggia sommersa ben sviluppati di spessore indeterminabile a causa della multipla che copre eventuali reflettori, una fascia più esterna caratterizzata da matte morta interrotta sporadicamente da qualche patch di posidonia viva. Gli spessori della matte sono compresi in un range che varia fra 1.5 a 0.80 m. Il basamento acustico (marcato in rosa) in questo caso è riconoscibile al contatto fra il deposito sabbioso di spiaggia sommersa e la matte di P. oceanica, tra i 3 m e i 6 m di profondità dal fondo mare, è visibile dove

non è presente la multipla e dove il segnale non viene assorbito dalla posidonia viva. La matte è radicata su depositi sabbiosi di spessore variabile da 2 m a circa 4.50 m. Lo spessore di questi depositi è stato determinato dove è visibile il basamento acustico che li limita.

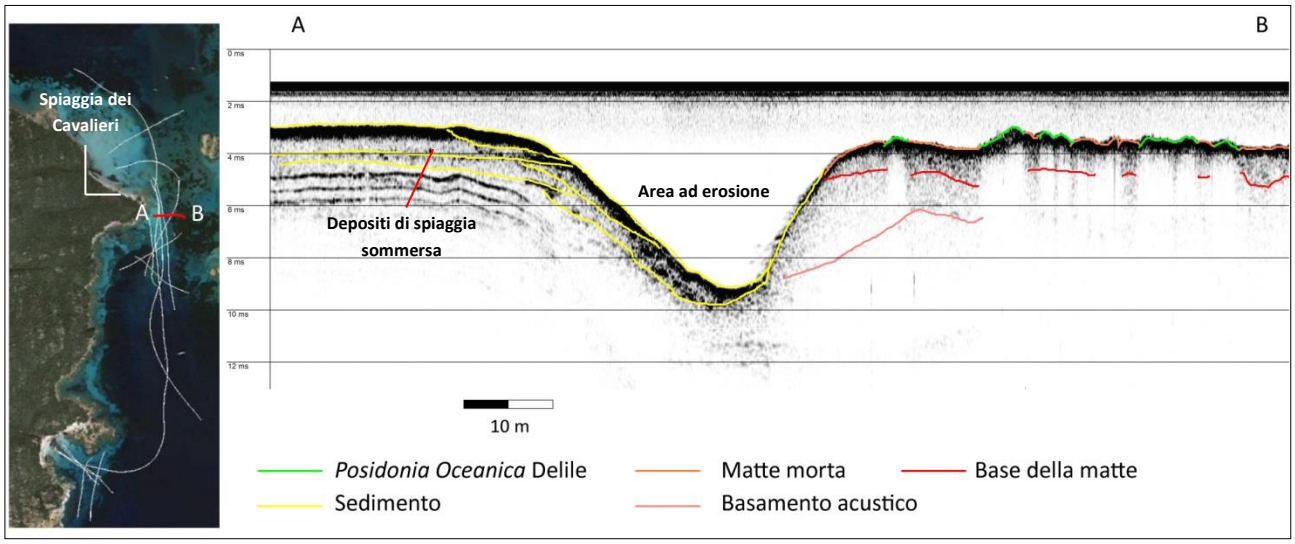

Figura 14. Interpretazione della linea 111219SES_LF

La sezione sismica "111219SES_LF" illustrata in Figura 14 è stata acquisita davanti al promontorio meridionale della spiaggia dei Cavalieri e si sviluppa in direzione costa – largo (dal punto A al punto B della Figura 14) per circa 100m. Su una prima fascia lunga circa 35 m, caratterizzata dalla presenza di depositi sabbiosi su cui non è possibile individuare spessori superiori a 1.5 m per la presenza del segnale della multipla. Alla fine del deposito sabbioso si riconosce un'area ad erosione che raggiunge una profondità di circa -7 m, questa zona è localizzata in corrispondenza della canalizzazione rilevata in precedenza. Oltre l'area di erosione, si riscontra la matte morta con spessore apparentemente non inferiori a 1 m, interrotta sporadicamente da qualche patch di posidonia viva, al disotto della quale non è possibile individuare reflettori e determinare spessori. Le mattes sono radicate su depositi sabbiosi, i cui spessori variano da 1.5 m a 3 m. Questi spessori sono misurabili solo al centro del profilo, dove è visibile un basamento acustico .

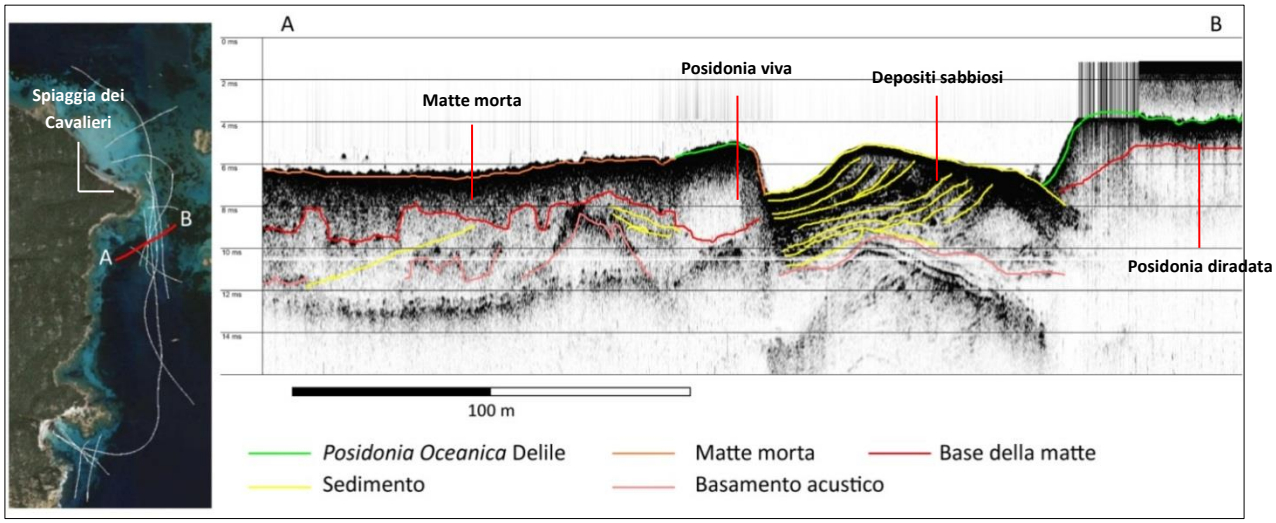

Figura 15. Interpretazione della linea 110901SES_LF

La sezione sismica “110901SES_LF” mostrata nella Figura 15 si estende per 228 m con un orientamento SudOvest- NordEst (dal Punto A al punto B - Figura 15). Nei primi 100 metri si riconosce una fascia a matte morta (marcata in arancione) che termina con una patch di matte viva, con spessori variabili tra 1.50 m e i 2 m. La matte morta è radicata su depositi di incerta natura di spessore variabile tra 0.80m e 1.50m. Questi depositi sono limitati dal basamento acustico non sempre visibile lungo il profilo. Alla fine della fascia a matte, in corrispondenza del canale rilevato anche nei precedenti profili, si riconoscono depositi sabbiosi clinostratificati con spessori di circa 3 m. Oltre il canale, una fascia più esterna è caratterizzata dalla presenza di *Posidonia oceanica* che si estende per 50 m lungo il profilo. Gli spessori della Posidonia sono mediamente di 0.80m circa, è radicata su depositi sabbiosi di spessore incerto.

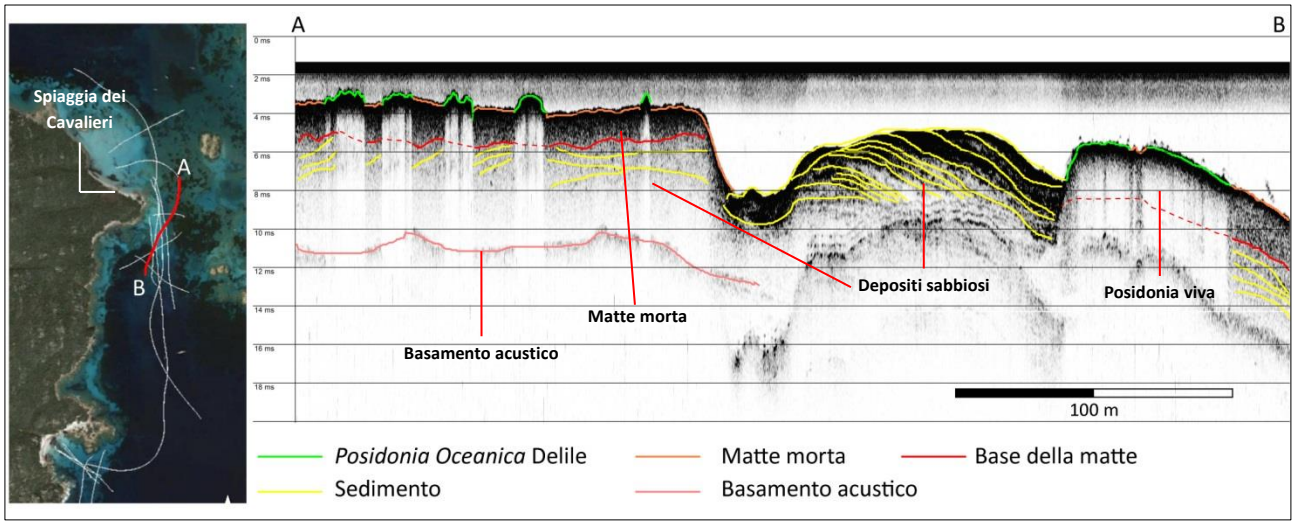

Figura 16. Interpretazione della linea 110300SES_LF

La linea “110300SES_LF” illustrata in Figura 16 inizia 200 m a largo della spiaggia dei Cavalieri (punto A) e termina dopo 350 m in direzione sud ovest (punto B). La prima parte del profilo si sviluppa su un fondale profondo circa 3 m con un andamento sub-orizzontale per circa 150 m dal punto A, è contraddistinta dalla presenza di matte morta (marcatura arancione) e da sporadiche patch di posidonia viva (marcatura verde) in questa parte della linea gli spessori della matte variano da 1.50 m a 2 m. La matte è radicata su depositi sabbiosi spessi circa 3 m limitati da un basamento acustico visibile solo in questa prima parte del profilo e mascherato dalla multipla nel resto della linea sismica.

Dopo circa 150 metri verso SudOvest la linea attraversa il una paleocanalizzazione (già rilevata precedentemente) contraddistinta dalla presenza di depositi clinostratificati con spessori visibili di circa 3 m. Risulta comunque impossibile stimare l’intero spessore a causa della presenza della multipla che copre il reflettore che limita il deposito. Il profilo prosegue per circa 50 m su *Posidonia oceanica* viva, per poi terminare su una matte morta. Entrambe le matte risultano spesse circa 1.50m.

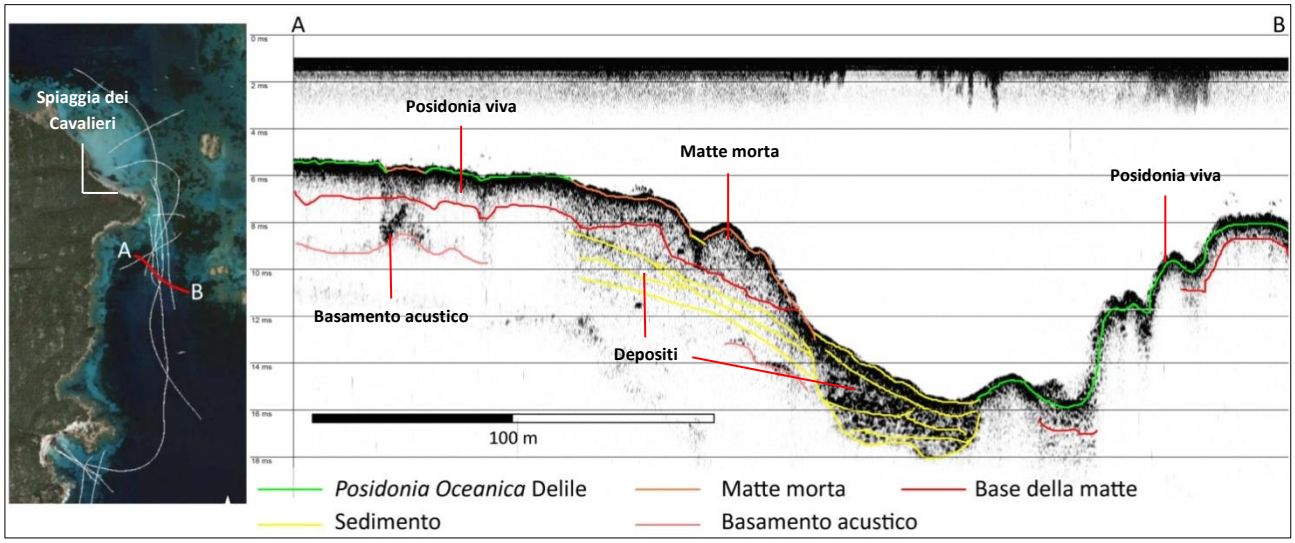

Figura 17. Interpretazione della linea 111917SES_LF

La linea sismica "111917SES_LF" mostrata in Figura 17, è lunga circa 210 m. I primi 80 m del profilo sono caratterizzati dalla presenza di posidonia degradata. Gli spessori delle mattes sono mediamente di 0.80 m. Le matte riscontrate si radicano su depositi di incerta natura che hanno uno spessore circa massimo di circa 1.50m e che poggiano su un basamento acustico raramente visibile lungo il profilo sismico. Tale basamento è stato riscontrato solo all'inizio della linea e in un piccolo tratto prima del contatto fra la matte di posidonia e la porzione di fondale sabbioso. In generale il basamento acustico si trova circa 2 metri sotto il livello del fondale. Il Canale rilevato in questa linea raggiunge una profondità di -12 m, sul fondo sono riconoscibili depositi con giacitura piano-parallela e con spessore di circa 2 m. Oltre i depositi la linea attraversa una fascia di *Posidonia oceanica*, sotto la quale non è possibile rilevare reflettori. Nell'ultimo tratto del profilo, dove si riscontra posidonia diradata è possibile stimare spessori della matte di circa 0.80 m.

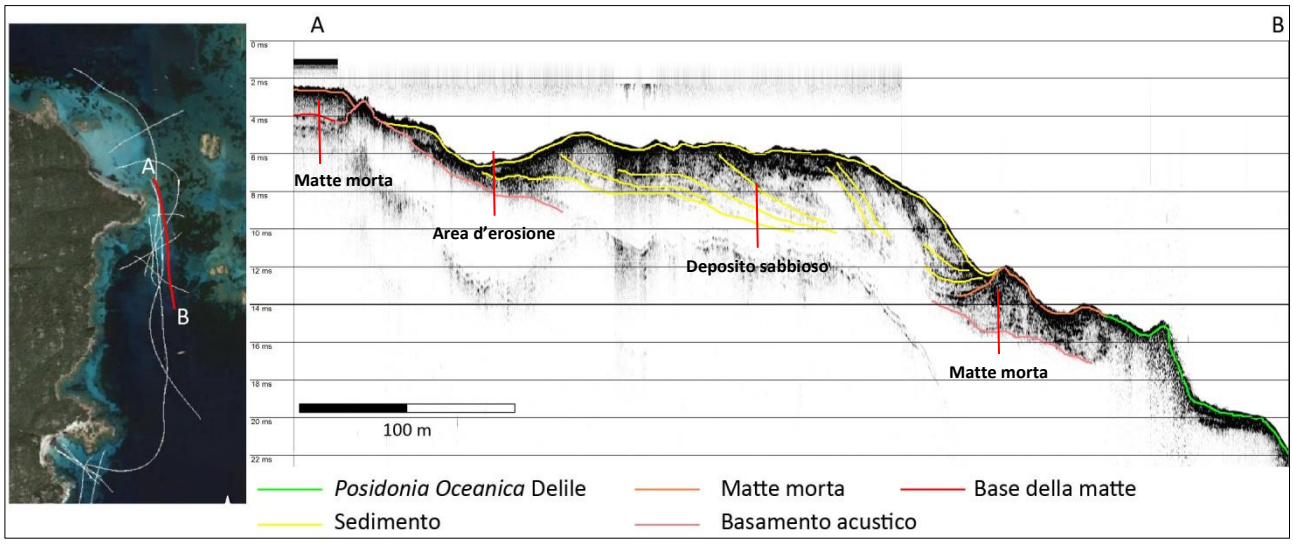

Figura 18. Interpretazione della linea 112311SES_LF

La linea illustrata in Figura 18 è lunga 420 m, inizia dal margine meridionale della spiaggia dei Cavalieri (punto A) e prosegue verso sud (Punto B). I primi 50 m si sviluppano su matte morta spessa circa 1 m. In

corrispondenza del promontorio che limita la spiaggia dei Cavalieri affiora un substrato roccioso. Anche in questo profilo è riconoscibile l'area erosionale e il deposito sabbioso clinostratificato (marcato in giallo) già rilevati nei precedenti profili. Gli spessori del deposito, in questa linea, sono misurabili sino a 4 m a causa della multipla che non permette l'identificazione di un limite inferiore. Il profilo prosegue oltre i -9 m di profondità, dove è evidente la presenza della matte morta che mantiene spessori di circa 1.50 m. la parte più profonda della linea è caratterizzata dalla presenza di posidonia viva, al di sotto della quale non è stato possibile rilevare un reflettore di base.

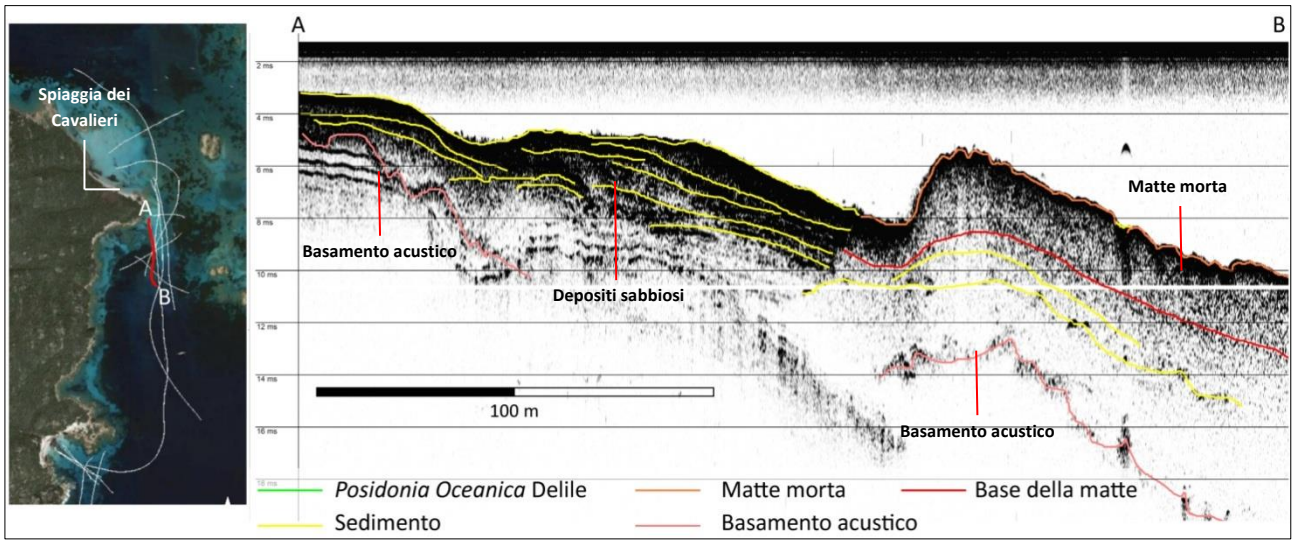

Figura 19. Interpretazione della linea 111359SES_LF

La sezione sismica "111359SES_LF" illustrata in Figura 19 inizia dal promontorio meridionale della spiaggia dei Cavalieri (punto A) e si sviluppa per 220 m in direzione sud (punto B).Nei primi 130 metri il profilo percorre il deposito sabbioso clinostratificato (marcato in giallo) già descritto in precedenza. In questa linea, gli spessori del corpo sabbioso variano da 1.50 m a un massino di 4.5 m. Il basamento acustico sul quale giacciono è visibile solo nei primi 60 m del profilo, viene poi mascherato dalla multipla. I restanti 90 m della linea sono caratterizzati dalla presenza di matte morta (marcata in arancione) spessa tra 1.50 m e 2 m, che si radica su depositi sabbiosi spessi circa 4.5 m. Il basamento acustico è nuovamente visibile al di sotto di questi depositi.

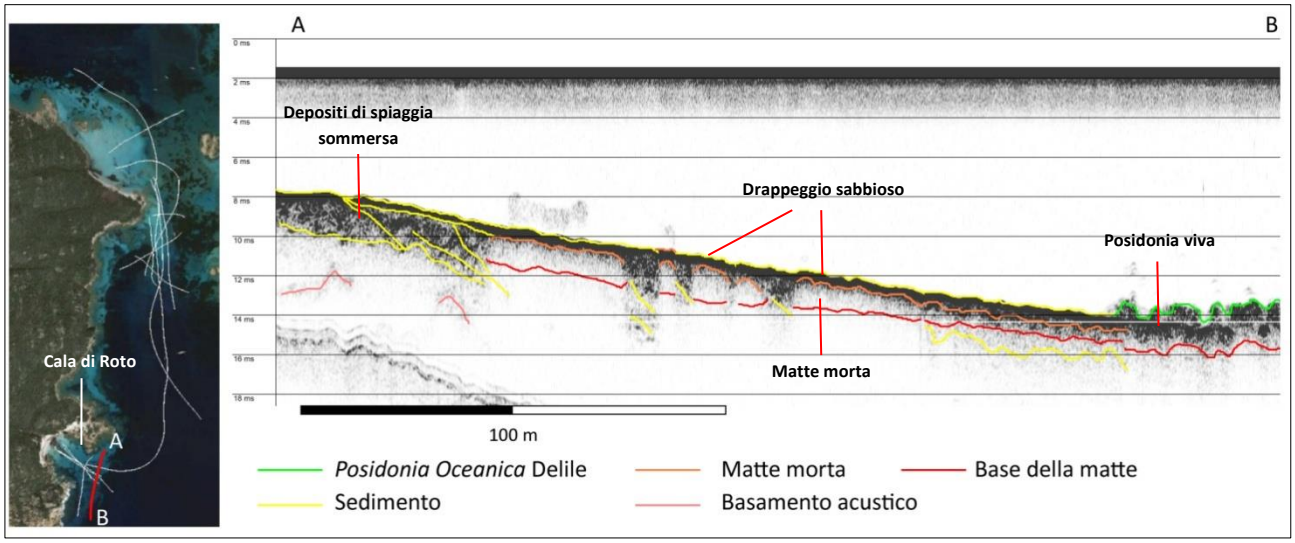

Figura 20. Interpretazione della linea 114223SES_LF

La sezione "114223SES_LF" illustrata in Figura 20, si sviluppa per circa 230 m a partire dalla soglia settentrionale della cala di Roto (punto A) e procede verso sud (punto B), I primi 50 m del profilo sono caratterizzati da un corpo sedimentario spesso circa 3 m, sotto il quale, in alcuni tratti è visibile il basamento acustico situato. Il profilo prosegue con uno strato superficiale di sabbia spesso poche decine di centimetri che drappeggia matte morte di posidonia spesse circa 1 m. La matte morta è radicata su depositi apparentemente sabbiosi i cui spessori non sono determinabili. Negli ultimi 40 metri del profilo, a una profondità di circa -10.5 m, è ben riconoscibile il limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica* , che si presenta diradata al punto da rendere interpretabile la base matte a circa 1.30 m di profondità dal fondo mare.

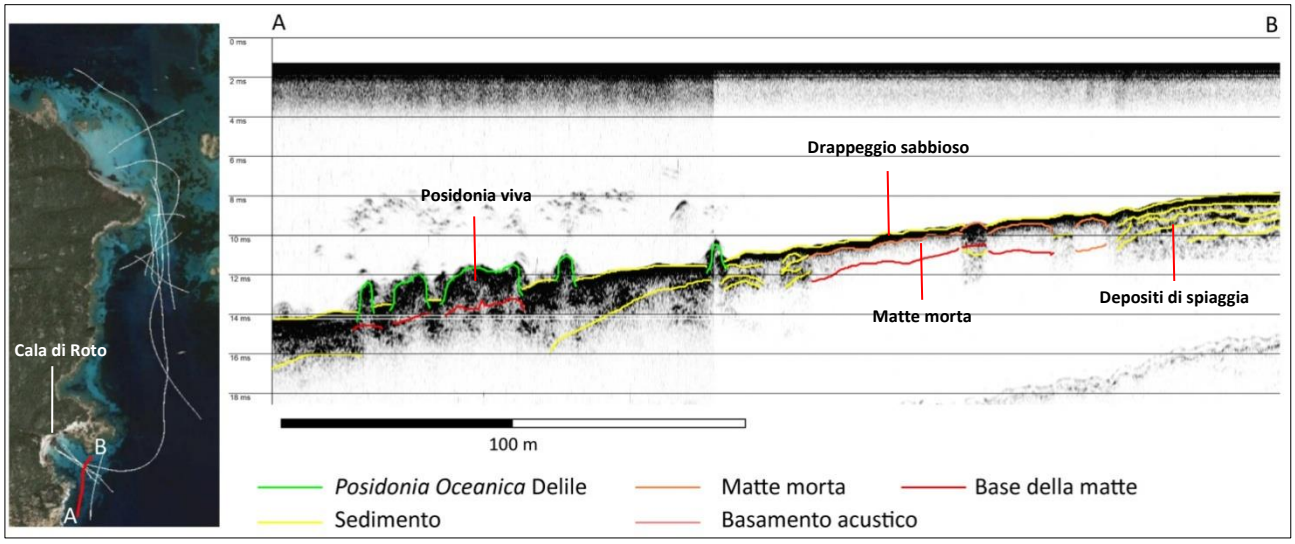

Figura 21. Interpretazione della linea 114459SES_LF

La Figura 21 mostra il profilo sismico "11459SES_LF". Questa linea, parallela alla precedente, è stata acquisita più vicina alla linea di costa, ma con una direzione di acquisizione da Sud (punto A) a Nord (punto B).. A inizio profilo è riconoscibile un deposito sabbioso che si sviluppa per 20 m lungo il profilo, spesso circa 1.50 m al di sotto del quale non è possibile osservare alcun reflettore. Di seguito si rileva no delle patches di posidonia dalle dimensioni di pochi metri. Al centro della linea sono ben visibili le matte morte spesse circa

1 m e drappeggiate da pochi decimetri di sabbia. La linea termina su un corpo sabbioso spesso almeno 2 m. Rispetto alla linea precedente, in questo caso non è possibile rilevare il basamento acustico.

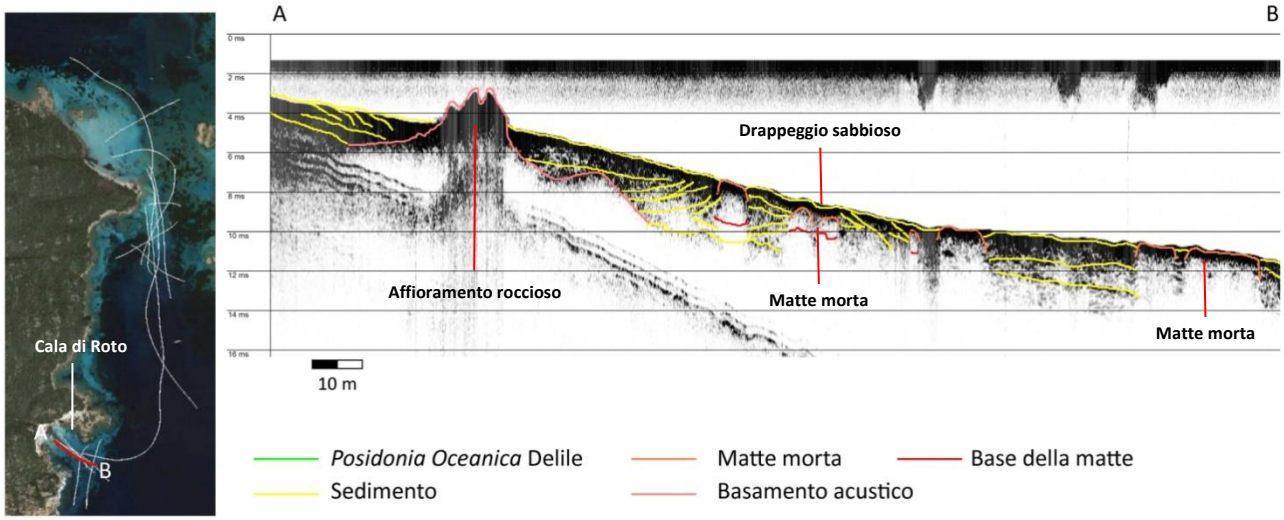

Figura 22. Interpretazione della linea 120000SES_LF

La linea "120000SES_LF", illustrata in figura 22, è stata acquisita in direzione costa-largo rispetto alla Spiaggia Rosa nella Cala di Roto. Nel profilo si riconosce una fascia caratterizzata da depositi sabbiosi di spiaggia sommersa (marcati in giallo) ben sviluppati, interrotti da un affioramento roccioso (marcato in rosa) che emerge a -2 m di profondità. Questi depositi di spiaggia risultano spessi circa 1 metro nelle zone vicine all'affioramento roccioso, per poi raggiungere i 3 m di spessore verso il centro del profilo. . Ancora al centro della Cala si riconoscono delle patch di matte morta spessa circa 0.80 m, drappeggiata da poche decine di centimetri di sabbia.

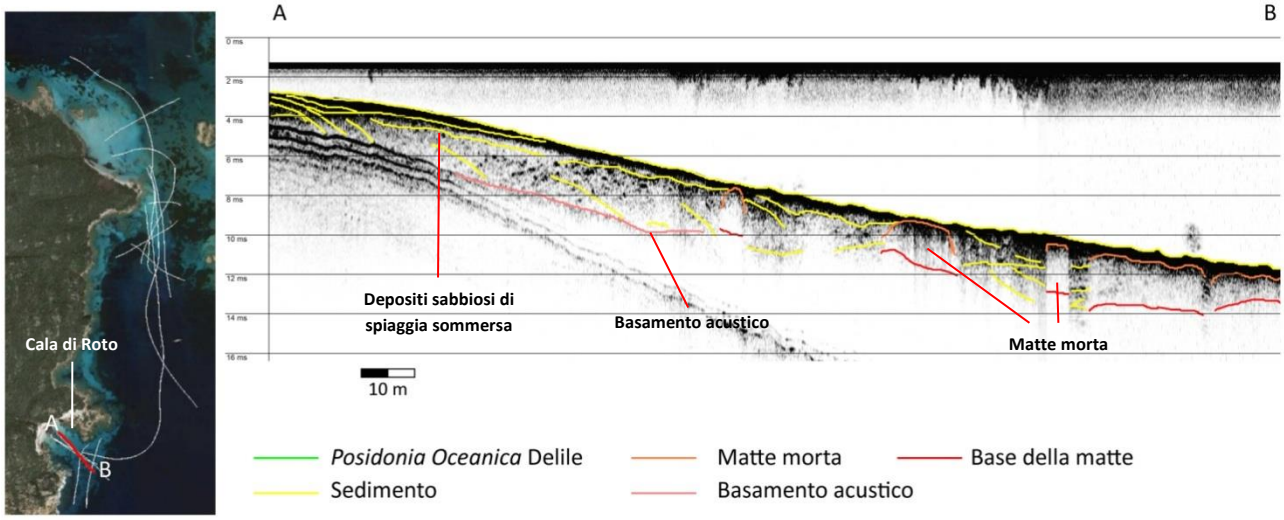

Figura 23. Interpretazione della linea 120305SES_LF

La linea "120305SES_LF" illustrata in Figura 23, si acquisita per circa 165 m in direzione costa-largo rispetto alla Spiaggia Rosa nella Cala di Roto. La penetrazione del segnale acustico è disturbato dalla multipla sino ai 2 m di profondità dal fondo mare. Tutta la linea si sviluppa sui depositi di spiaggia sommersa della spiaggia

Rosa di 2-2.5 m che giacciono sul basamento acustico visibile sino a 2.50 m di profondità dal fondo mare. Al centro della Cala si riconoscono delle patch di matte morta spessa circa 1 metro, drappeggiata da poche decine di centimetri di sabbia.

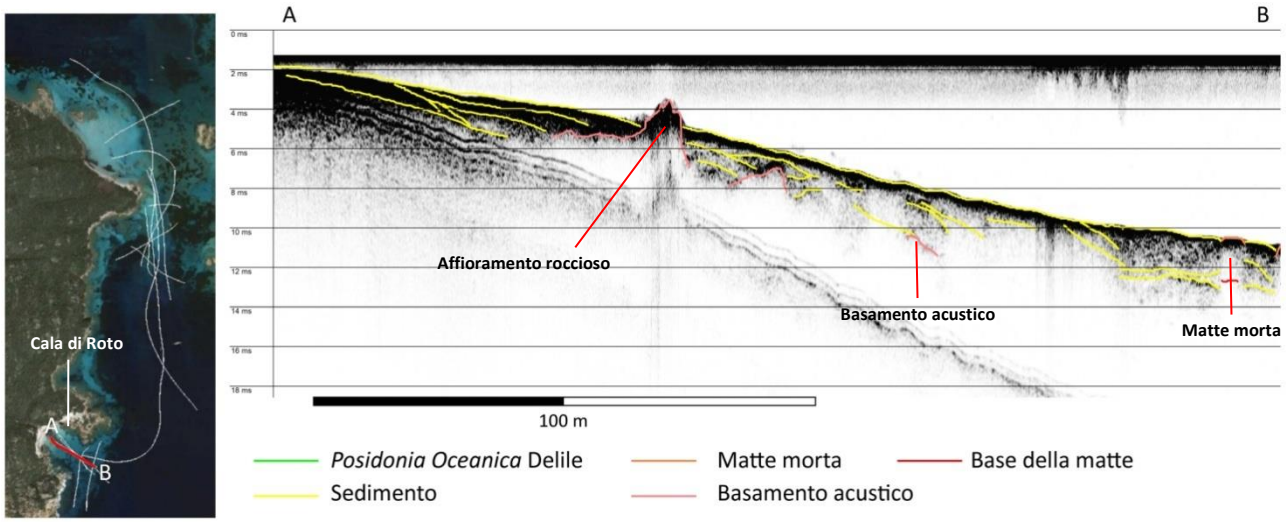

Figura 24. Interpretazione della linea 120520SES_LF

La linea "120520SES_LF" illustrata in figura 24 è stata acquisita nella Cala di Roto in direzione costa-largo per circa 1.75 m. Il profilo si estende sui depositi di spiaggia sommersa (marcati in giallo) già rilevati nelle linee precedenti, anche in questa linea è ben distinguibile l'affioramento roccioso che si immerge nei deposti sabbiosi. Come rilevato precedentemente, gli spessori dei depositi sono apprezzabili sino a 2.50 m. Alla fine della linea, si riconoscono delle patch di matte morta spessa circa 1.3 m.

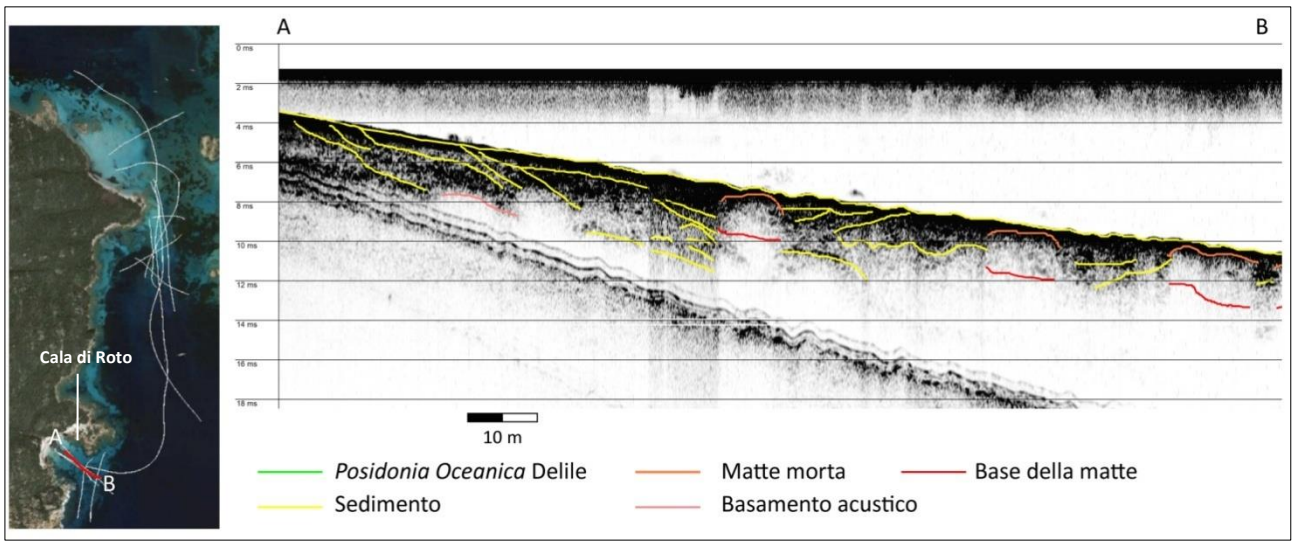

Figura 25. Iinterpretazione della linea 120759SES_LF

La linea "120759SES_LF" illustrata in Figura 25 si sviluppa in direzione costa-largo per 130 m nella parte sommersa della Spiaggia Rosa nella Cala di Roto.. I depositi di spiaggia sommersa sono ben riconoscibili come nei profili precedenti, raggiungono spessori di 1.5-2.50 m. Il basamento acustico è visibile solo per 15

m circa, a circa 2 m di profondità dal fondo mare. Dal centro della Cala si riconoscono le patches di matte morta spessa circa 1.3 m, drappeggiata da poche decine di centimetri di sabbia.

4.2 Mappe batimetriche e acustiche

I dati acquisiti con il multibeam hanno prodotto un modello digitale del terreno (DTM) per la porzione di piattaforma del settore occidentale dell'isola di Budelli (Figura 25) e per il fondale prospicente cala Santa Maria situata nell'omonima isola (Figura 26).

I dati batimetrici sono stati riportati al livello medio mare mediante l'applicazione della curva di marea e sono stati elaborati con il software PDS2000 al fine di produrre un modello del fondale con risoluzione di 25 cm.

Lo studio del segnale di backscatter, combinato con le informazioni batimetriche multibeam, consente di ricavare le caratteristiche morfo-composizionali del fondale marino. A tale scopo, è stato elaborato il segnale del backscatter delle aree acquisite con il multibeam ed è stato ricavato un mosaico acustico a 25 cm di risoluzione per pixel (Figure 26 e 27).

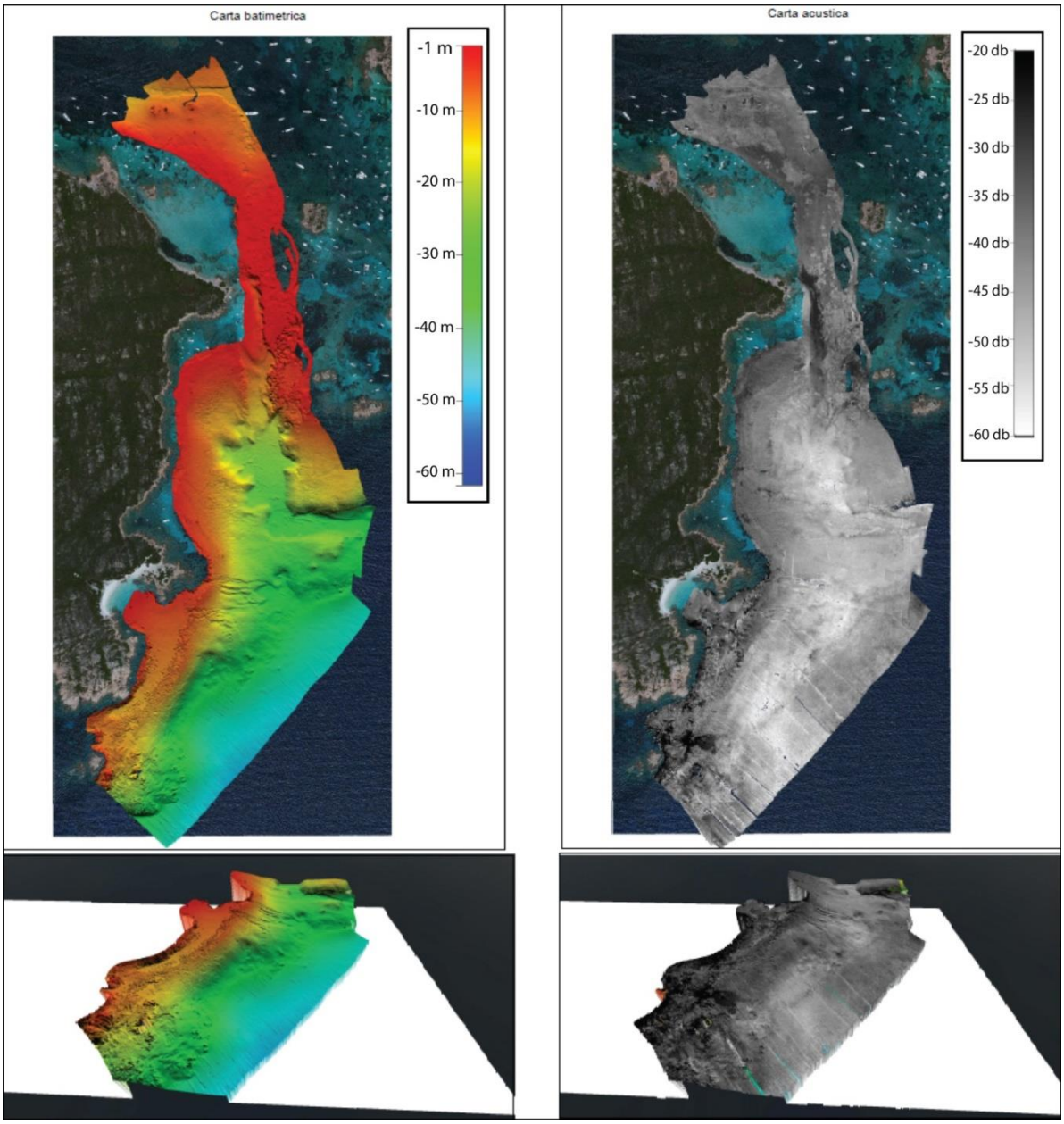

Figura 26. DTM del fondo mare e relativo mosaico acustico backscatter ottenuti con una risoluzione a 25 cm dai dati multibeam Reson Seabat 7125 del sito di Porto Madonna comprendente la Spiaggia Rosa e la Spiaggia del Cavalieri. Immagine modificata da Report CNR, 2016.

Le mappature ottenute e l'interpretazione dei dati sismici mettono in evidenza un fondale articolato, caratterizzato da alti morfologici localizzati in prossimità delle isole, delle rocce affioranti (scogli e secche) e da zone depresse come l'incisione sommersa riscontrata nel settore occidentale dell'isola di Budelli è attribuibile all'azione erosiva dei paleoalvei a partire dal Mio-Pliocene.

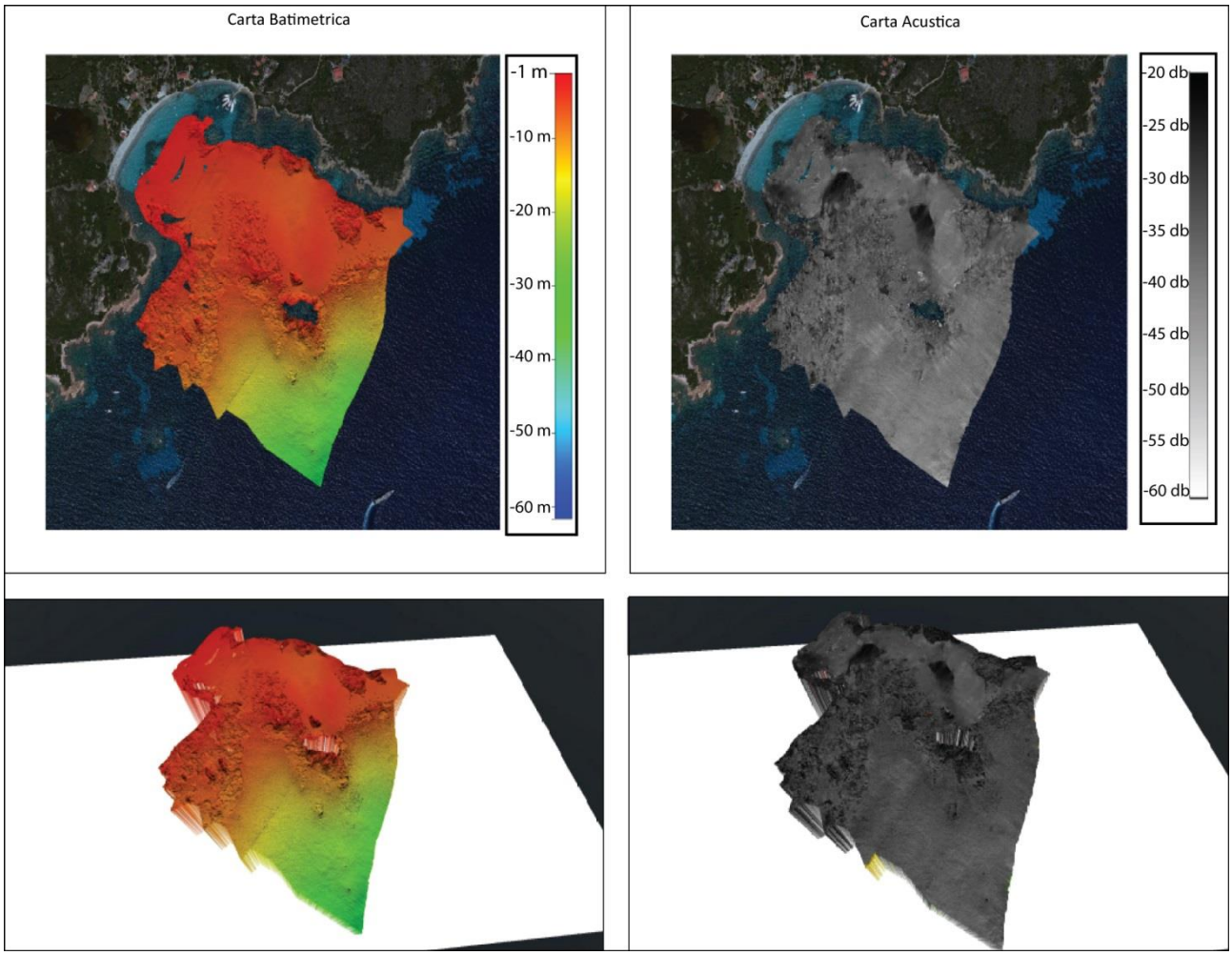

Figura 27. DTM del fondo mare e relativo mosaico acustico backscatter ottenuti con una risoluzione di 25 cm dai dati multibeam Reson Seabat 7125 della spiaggia di Santa Maria. Immagine modificata da Report CNR, 2016.

4.3 Mappatura dei fondali

Il lavoro svolto ha consentito di ridefinire i limiti tra depositi sabbiosi, fondi duri (roccia) e prateria di Posidonia oceanica (limite superiore) rispetto ai dati cartografici precedenti. Il prodotto finale dell'attività di rimappatura consiste nella realizzazione di shape files conteneti elementi vettoriali poligonali che rappresentano i depositi sabbiosi, le coperture della Posidonia e i fondi duri.

Di seguito vengono presentati i risultati dell'aggiornamento delle mappature dei fondali (Figura 28).

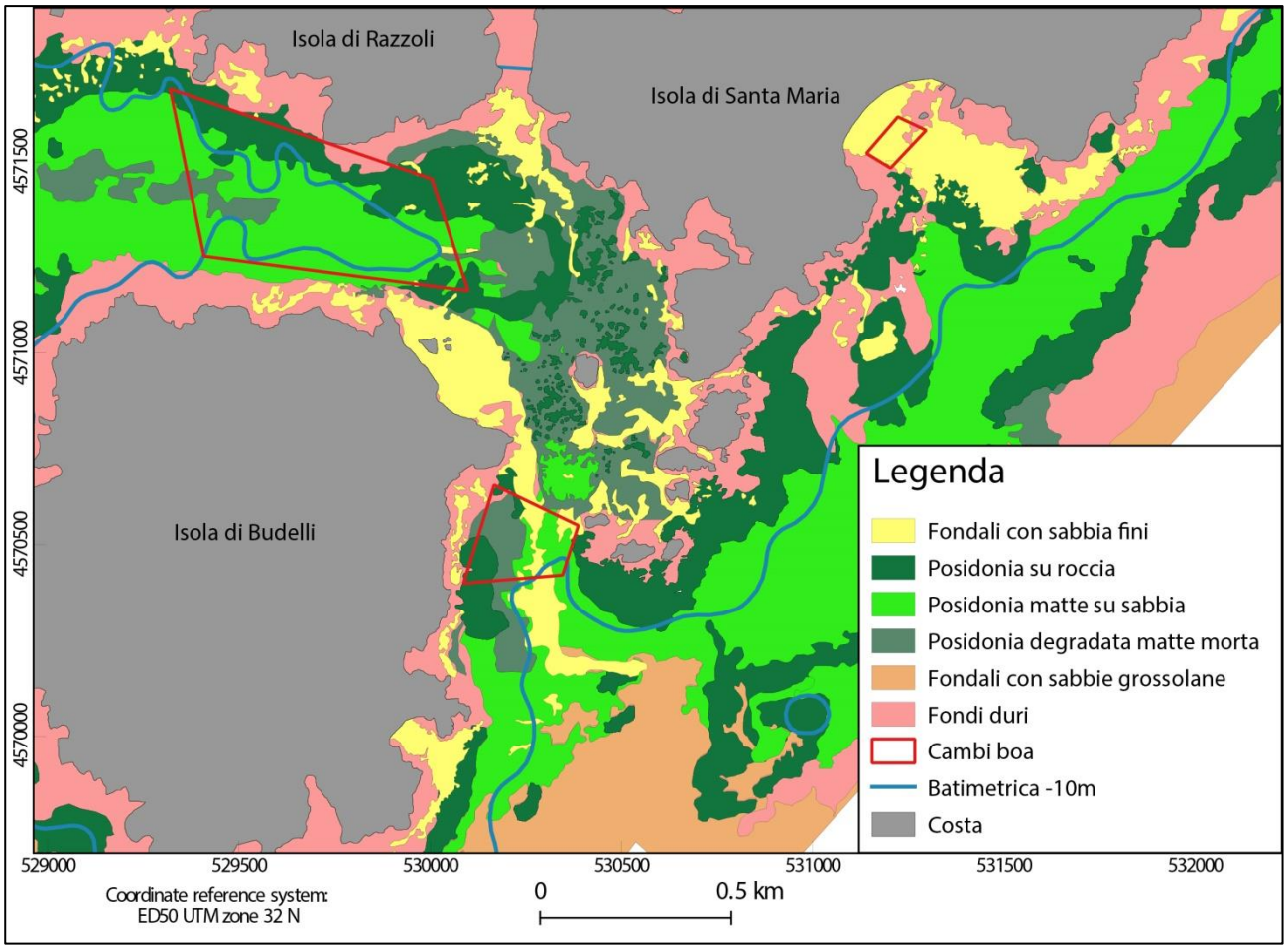

Figura 28. Mappatura dei depositi sabbiosi del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.

5.0 Conclusioni

Riassumendo i risultati, possiamo asserire che lo studio effettuato ha permesso di identificare la posizione dei principali morfotipi del fondale e di individuare lo spessore dei sedimenti nel Porto della Madonna.
La *Posidonia oceanica* ha il limite superiore impiantato tra i -3 m (Spiaggia dei Cavalieri) e i -5 m di profondità. La penetrazione del segnale acustico in corrispondenza dell'area a matte si riduce drasticamente e gli spessori non sono chiaramente riconoscibili ovunque; ove vi è presenza di matte degradata gli spessori sono misurabili e non superano i 2 m. Mediamente sono stati rilevati spessori di 1.30-1.50 m.
La Posidonia in nel Porto della Madonna risulta radicata su depositi sabbiosi spessi mediamente 3 m circa. Sono comunque presenti situazioni a mosaico con Posidonia su roccia. Nelle aree sotto costa, in tutta la porzione orientale dell'isola di Budelli, è stata rilevata una fascia caratterizzata da depositi sabbiosi tipici di spiaggia sommersa, interrotti di tanto in tanto da affioramenti rocciosi. Tali depositi, hanno uno spessore variabile in quando 1.5 m e 4 m giacciono sul basamento acustico spesso mascherato dal segnale della multipla. Dal promontorio che limita a sud la spiaggia dei Cavalieri, si riconosce una area ad erosione che corrisponde a una paleo-canalizzazione, all'interno della quale sono presenti dei depositi sabbiosi clinostratificati di spessore misurabile sino a 4 m.
La parte più a sud dell'area di studio è rappresentata dalla Cala di Roto (Spiaggia Rosa).La soglia di chiusura della spiaggia sommersa è rappresentata dal limite superiore delle matte a Posidonia, localizzato tra gli -8 m e -10 m di profondità. I depositi sabbiosi della spiaggia Rosa hanno spessori misurabili tra 1 m e 3 m. Il centro della cala è caratterizzato dalla presenza delle patch di matte morta spessa circa 1.3 m, drappeggiata da poche decine di centimetri di sabbia.

BIBLIOGRAFIA

Baldacci O., Desole L., Lilliu G., Vardabasso S. 1961. Ricerche sull'arcipelago de la Maddalena. Mem. Soc. Geogr. Ital. 25: 1-377.

Barca S., Carmignani L., Oggiano G., Pertusati P.C. & SalvatoriI., 1996. Carta Geologica della Sardegna, Servizio GeologicoNazionale, Carmignani L. (ed.) Litografia ArtisticaCartografica. Firenze.

Biondi E., & Bagella S,2005. Vegetazione e paesaggio vegetale dell'Arcipelago di La Maddalena (Sardegna nord-orientale). Fitosociologia vol. 42 (2) suppl. 1: 3- 99, 2005

COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (U.S.). (1984). *Shore protection manual*. Vicksburg, Miss, Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.

Conyers, L.B., 2004. Ground Penetrating Radar for Archaeology, AltaMira Press, Walnut Creek, California.

Corsini S. e Inghilesi R., 2004. Atlante delle onde nei mari italiani – Italian waves atlas. A.P.A.T..

De Falco G., Simeone S., Conforti A., Satta A., Tonielli R., Innangi S., Di Martino G., Donno Y., Sorgente B., Maurelli P., 2016. Convenzione operativa con l'IAMC - CNR sede per affido attività monitoraggio della Spiaggia Rosa - Cala di Roto, della Spiaggia del Cavalieri e della Spiaggia di Santa Maria e la conoscenza dei processi che le governano. Relazione finale, report interno 2016.

Günther, H., & Behrens, A. (2012). The WAM Model–Validation Document, Version 4.5. 4. Institute of Coastal Research Helmholtz-Zentrum Geesthacht.

Korres, G., Ravdas, M., & Zacharioudaki, A. (2019). Mediterranean Sea Waves Hindcast (CMEMS MED-Waves) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012

Leckebusch, J., 2003. Ground-penetrating radar: a modern three-dimensional prospection method. Archaeological Prospection, 10, 213-240.

Ministero Dell'Ambiente E Della Tutela Del Territorio: Mappaturadelle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegnae delle piccole isole circostanti, Ministero dell'ambiente e tutela del territorio e del mare, Rome, Italy, 2002.

Oggiano G., Aversano A., Cherchi G.P., Di Pisa A., Orrù P., Ulzega A., Pintus C., Puliga G. 2015. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, foglio 412. ISPRA, Servizio Geologico Nazionale, Roma.

Parco Nazionale Arcipelago della Maddalena, 2016. Piano di Gestione del SIC "Arcipelago La Maddalena ITB010008". Studio Generale, Sardegna, Italia (Ottobre2016).

Romeo R, Baradello L, Blanos R, Congiatu P.P. , Cotterle D., Ciriaco S.,Donda F., Deponte M., Gazale V., Gordini E., Lodolo E.,Paganini P., Pavan A., Pietrapertosa C., Sterzai P.,Vargiu G.., Zanello A., Ramella R. and

Yabar D.G.N., 2019.Shallow geophysics of the Asinara Island Marine Reserve Area(NW Sardinia, Italy). JOURNAL OF MAPS2019, VOL. 15, NO. 2, 759–772.
https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1669498