



SEA FOREST LIFE
LIFE17 CCM/IT/000121

Azione A1

Studio del Clima Ondoso
Mappatura dei depositi sabbiosi costieri
Analisi dei dati sismo/acustici

Gruppo di lavoro: Walter Brambilla, Fabio Antognarelli, Alessandro Conforti, Giovanni De Falco,
Simone Simeone.

Consiglio Nazionale delle Ricerche

IAS – Istituto per lo studio degli Impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino



Sommario

Abstract	3
1.0 Studio del Clima Ondoso	5
1.1. Introduzione	5
1.1.1. Il modello numerico Hindcast.....	7
1.1.2. Individuazione settori di traversia e dei fetch.....	8
1.1.3. Il regime ondoso del Parco Nazionale dell'Asinara	8
1.1.4. Il Paraggio di Levante (Asinara)	10
1.1.5. Il Paraggio di Ponente (Asinara)	12
1.1.6. Il regime ondoso del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena	14
1.1.7. Il Paraggio di Levante (La Maddalena)	15
1.1.8. Il Paraggio di Ponente (La Maddalena).....	17
1.1.9. Il regime ondoso del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni	19
1.1.10. Il Paraggio l'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate.....	20
1.1.11. Il Paraggio l'Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta	22
2.0 Mappatura depositi sabbiosi.....	24
2.1 Introduzione	24
2.2 Metodi	25
2.3 Risultati.....	28
2.3.1 Parco Nazionale dell'Asinara	29
2.3.2 Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena	30
2.3.3 AMP di Santa Maria di Castellabate	31
2.3.4 Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta	32
3.0 Interpretazione dati Sismici.....	33
3.1 Introduzione	33
3.2 Interpretazione dati Sismici - Parco Nazionale dell'Asinara.....	34
3.2.1 Metodi	34
3.2.2 Risultati.....	37
3.3 Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena – Porto della Madonna –	39
3.3.1 Elementi geologici	39
3.3.2 Elementi sulla Prateria di Posidonia oceanica (L.) Delile.....	40
3.3.3 Metodi	41
3.3.3.1 Acquisizione profili sismici.....	41
3.3.3.2 Interpretazione dei dati sismici	43
3.3.4 Risultati.....	43

4.0	Dati Multibeam e backscatter del parco Nazionale dell'Arcipelago de la Maddalena	56
4.1	Acquisizione dei dati batimetrici multibeam.....	56
4.2	Risultati.....	60
	BIBLIOGRAFIA	62
	ALLEGATO A.....	64
1.0	Modelli Idrodinamici.....	65
1.1	Impostazioni	65
1.2.1	Parametrizzazione del modello SWAN	66
1.3	Simulazioni e risultati	66
-	Aree Marine Protette del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni - SIMULAZIONE I – evento estremo media da NW-	73
-	Aree Marine Protette del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni - SIMULAZIONE II – mareggiata media da NW-.....	74
-	Aree Marine Protette del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni - SIMULAZIONE III – mareggiata media da W-SW-.....	75
-	Bibliografia.....	76

Abstract

L'azione preliminare A.1 è stata implementata attraverso una serie di attività finalizzate all'inquadramento conoscitivo delle aree di studio previste dal progetto Life Sea Forest.

Gli studi descritti sono mirati alla definizione del clima meteomarinico, alla caratterizzazione dei fondali e alla mappatura dei depositi sabbiosi costieri attraverso le analisi interpretative di ortofoto, immagini satellitare e dei dati sismici, multibeam e backscatter disponibili.

Sono stati definiti i regimi del clima ondoso dei paraggi marini prospicienti le aree di studio, attraverso l'analisi delle caratteristiche statistiche dei parametri sintetici del moto ondoso. Oltre a caratterizzare il clima marino, questa attività ha permesso di individuare i parametri degli eventi ondosi più rappresentativi e effettuare delle simulazioni di scenari idrodinamici utilizzando il software suite Delft3D.

L'attività di mappatura dei fondali marini rientra nelle attività preparatorie previste dall'azione A1, inoltre è un'attività implementativa delle Azioni C2 e C3.

Gli obiettivi di questa attività sono la definizione dei limiti superiori delle praterie di Posidonia oceanica e l'individuazione dei depositi sabbiosi costieri idonei ad ospitare l'ancoraggio libero delle unità nautiche da diporto e di fornire un elemento di supporto alla gestione e alla progettazione di eventuali nuovi campi boa.

L'acquisizione e l'analisi delle linee sismiche sono attività che supportano principalmente la quantificazione dei depositi di carbonio, la mappatura e caratterizzazione dell'habitat 1120 e la gestione e la progettazione degli ancoraggi e degli ormeggi. Attraverso l'analisi dei dati sismici disponibili sono stati determinati gli spessori dei corpi sabbiosi e delle matte di Posidonia oceanica, inoltre è stata individuata la presenza di substrati.

I risultati ottenuti hanno permesso di eseguire la limitazione degli habitat costieri a bassa profondità e di produrre il database necessario allo sviluppo del piano di gestione degli ormeggi, degli ancoraggi (Azione C2) e alla pianificazione di eventuali interventi sugli ormeggi già esistenti (Azione C3).

Abstract

Different activities were carried out under Action A1 to improve knowledge on envisaged areas of the SeaForest LIFE project.

The studies described below were carried out to define wave climate and to update the seabed habitat maps. The seagrass meadow upper limit and coastal sandy deposits maps were updated through the interpretative analysis of available data, such as orthophotos, satellite images, seismic data, multibeam and backscatter.

The analysis of the statistical characteristics of the synthetic parameters of the wave motion was performed to define the wave climate regimes of the marine sectors overlooking the study areas. To perform wave event and hydrodynamics simulations, to complete the marine climate, and to perform the most representative hydrodynamics scenarios generated by wave events, the software suite Delft3D was used.

The seabed mapping was a preparatory activity foreseen by action A1 and an implementation activity for C2 and C3 Actions. The definition of the upper limits of the *Posidonia oceanica* meadows, the identification of the coastal sandy deposits suitable to host the recreational nautical free berth and the supply of the database for the mooring planning are the objectives of these activities.

the acquisition and analysis of seismic lines were carried out to define the thicknesses of the sandy bodies, the thickness of *Posidonia oceanica* mattes and the detection of solid substrates. The results of the seismic analysis were useful to support the assessment of carbon storage, to improve the characterization of habitat 1120 and to support the management and design of anchors and moorings.

the characterization of the study areas to realize the maps of the coastal habitats at a low depth, and the creation of the database to support the development of the mooring plan (Action C2-C3), where possible.

1.0 Studio del Clima Ondoso

1.1. Introduzione

Lo IAS CNR UOS di Oristano, fornisce con il presente rapporto un studio climatologico del moto ondoso nelle aree di studio previste dal progetto LIFE SEA FOREST (Figura 1-1). Un inquadramento generale dei possibili scenari idrodinamici generati dagli eventi ondosi più significativi (Allegato A) è stato realizzato implementando modelli numerici con i dati ricavati da questo studio.

Il lavoro descritto rientra nelle attività del progetto che ha come obiettivo 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 oceanica* (L.) Delile, 1813. In particolare, questo studio è indispensabile per l'esecuzione di 3 principali "Azioni" previste nel progetto SEA FOREST LIFE:

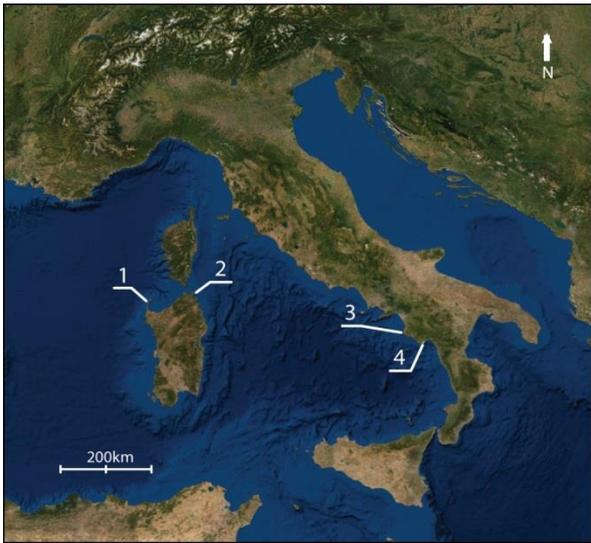
- azione A1 - Attività preparatoria;
- azione C2.1 - Predisposizione di un Piano di gestione degli ancoraggi e degli ormeggi;
- azione C3 - Definizione di Buone Pratiche per la conservazione dell'habitat 1120*-interventi sugli ormeggi.

L'analisi climatologica ha lo scopo di inquadrare i regimi del clima ondoso dei paraggi marini prospicienti le aree di studio e quindi definire le caratteristiche statistiche dei parametri sintetici del moto ondoso. In particolare è stata focalizzata l'attenzione sulla distribuzione di frequenza congiunta di accadimento, magnitudine e direzione di provenienza del moto ondoso relativo a un periodo di 10 anni compresi tra l' 1 gennaio 2007 e il 31 dicembre 2017.

Questo studio non intende sostituire gli studi climatologici ingegneristici di dettaglio necessari ove richiesti, ma intende fornire i datasets utili alla caratterizzazione dei regimi ondosi.

La totale assenza di dati direttamente rilevati nei paraggi in esame, ha imposto l'utilizzo di dati d'onda elaborati tramite il modello matematico MEDITERRANEAN SEA WAVES HINDCAST (Korres et al. 2019) (Fig.2), utilizzato e distribuito dal programma Copernicus. Il database utilizzato copre un intervallo di tempo di 10 anni, a partire dal 01/01/2007 fino al 31/12/2017 con risoluzione oraria.

I Parametri del clima ondoso sono stati acquisiti dal modello numerico tramite dei Punti di Osservazione (P.O.) inseriti opportunamente nella griglia di calcolo, perciò i dati d'onda sono relativi alla cella della griglia nella quale ricadono i P.O.. I parametri acquisiti sono: altezza significativa dell'onda Hs (misurata in metri), periodo medio T (misurato in secondi), periodo di picco Tp (misurato in secondi) e la direzione media di provenienza del moto ondoso (DIR, misurata in gradi-Nord). I parametri degli eventi d'onda più significativi sono stati utilizzati per implementare i modelli idrodinamici inclusi nell'allegato A.



Legenda

- 1 : Area Marina Protetta del Parco Nazionale dell'Asinara.
- 2 : Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.
- 3 : Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabatedel Parco Nazionale del Cilento.
- 4 : Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Massetta del Parco Nazionale del Cilento.

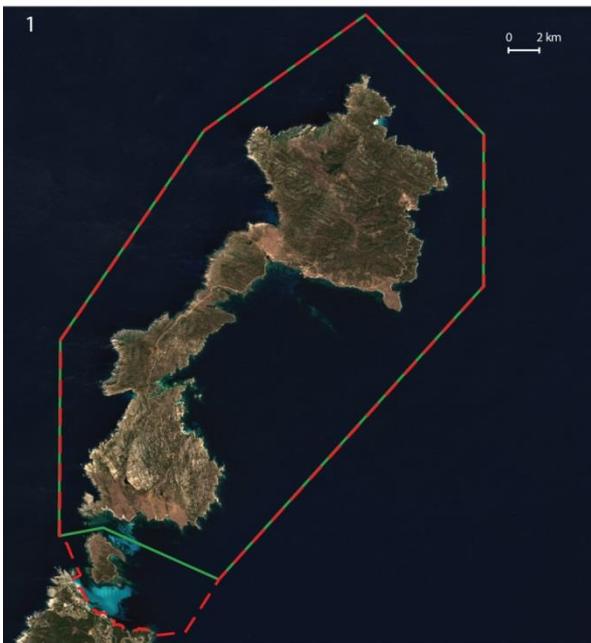


Figura 1-1 Mappa di locazione delle aree di studio del progetto LIFE SEA FOREST

1.1.1. Il modello numerico Hindcast

Il Mediterranean Sea Waves Hindcast (Korres et al. 2019) (Fig. 2), è il sistema di simulazione pluriennale delle onde del Mar Mediterraneo utilizzato e distribuito dal programma COPERNICUS (<http://marine.copernicus.eu/>).

Il Mediterranean Sea Waves Hindcast è basato sul modello d'onda di terza generazione WAM Cycle 4.5.4 (Günther e Behrens, 2012). Il modello è stato sviluppato come una sequenza di due griglie di calcolo nidificate (grossolana e fine) per garantire una propagazione corretta del moto ondoso che si propaga dal Nord Atlantico ed entra nel Mar Mediterraneo attraverso lo stretto di Gibilterra. La griglia grossolana copre l'Oceano Atlantico del Nord da 75 ° W a 10 ° E e da 70 ° N a 10 ° S con risoluzione 1/6 ° mentre la griglia fine nidificata copre il Mar Mediterraneo da 18,125 ° W a 36,2917 ° E e da 30.1875 ° N a 45.9792 ° N con una risoluzione di 1/24 ° (circa 4.6km).

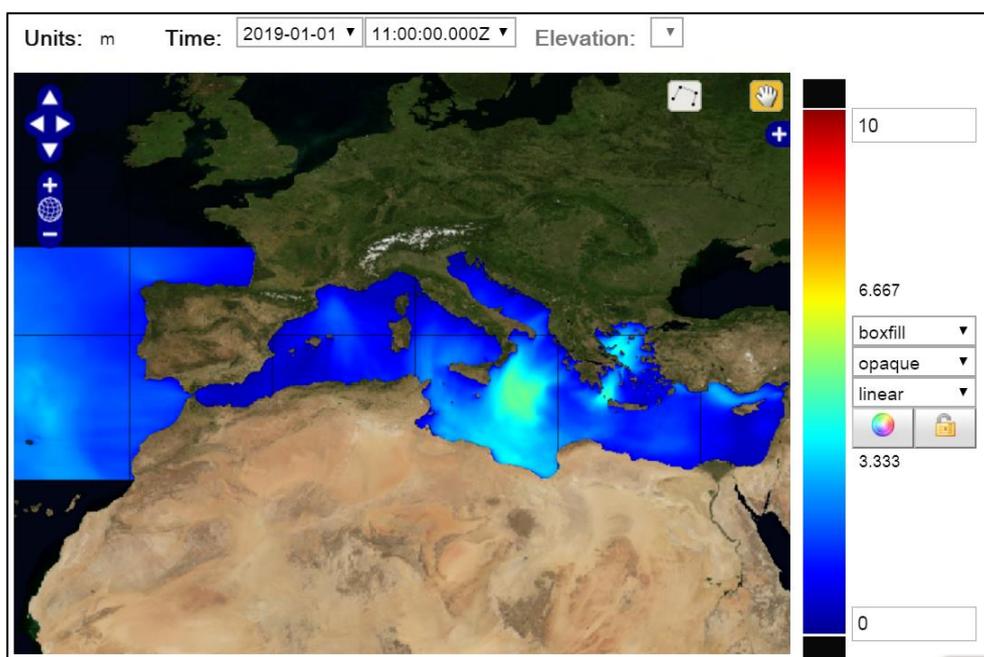


Figura 1-1 l'immagine mostra l'estensione della griglia di calcolo del modello Mediterranean Sea Waves Hindcast. L'immagine è stata acquisita da: http://marine.copernicus.eu/servicesportfolio/accesstoproducts/?option=com_csw&view=details&product_id=MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012

Il modello Hindcast copre un periodo a partire da febbraio 2006 e fornisce parametri d'onda con risoluzione temporale di 1 ora. I parametri prodotti, sono i parametri integrati calcolati dallo spettro totale dell'onda (altezza d'onda significativa, periodo, direzione,... ecc.), nonché le seguenti partizioni: vento relativo all'onda e lo swell. Il Sistema di simulazione e le informazioni inerenti la qualità del modello sono descritte nel documento scaricabile dal seguente link:

- <http://cmemsresources.cls.fr/documents/QUID/CMEMS-MED-QUID-006-012.pdf> .

1.1.2. Individuazione settori di traversia e dei fetch

Per definire l'effettivo regime che caratterizza i paraggi in esame, sono state selezionate le direzioni di provenienza del moto ondoso incidente usando settori di traversia con ampiezza di 30°.

Nei settori delle traversie principali sono stati calcolati i fetch rappresentativi dell'estensione della superficie marina che può contribuire alla generazione del moto ondoso.

I settori di traversia geografica sono stati calcolati per ogni area di studio in corrispondenza dei P.O. mostrati in figura 1-1 utilizzando un riferimento polare e tracciando i limiti della superficie marina per ogni settore di discretizzazione.

I fetch sono stati individuati per avere maggiore contezza dei contesti geografici e per fornire un riferimento generale delle lunghezze dei tratti di mare dal quale proviene il moto ondoso incidente nei paraggi in studio. Una volta note le lunghezze di fetch geografico e gli angoli che essi formano rispetto alla direzione di riferimento si è proceduto alla determinazione del fetch effettivo. La metodologia utilizzata (CERC, 1984; Corsini e Inglesi, 2004) prevede la misura a partire da una direzione principale, di più fetch geografici distanziati l'un l'altro di 3°, con origine la base della direzione principale. Una volta note le lunghezze di fetch geografico e gli angoli che essi formano rispetto alla direzione di riferimento si procede alla determinazione di una media ponderale secondo la formula:

$$1) \quad F_{eff} = \frac{\sum_{j=1}^n F_j \cdot \cos \alpha_j}{\sum_{j=1}^n \cos \alpha_j}$$

dove F_j sono i fetch geografici effettivamente misurati, all'angolo esistente tra direzione centrale e fetch misurato ed n il numero delle direzioni che hanno concorso a formare la media. Il risultato così ottenuto è il cosiddetto fetch efficace assegnato alla direzioni cui si fa riferimento nel testo.

1.1.3. Il regime ondoso del Parco Nazionale dell'Asinara

Il Parco Nazionale dell'Asinara è posizionato all'estremità nord-occidentale della Sardegna, di fronte alla Punta di Capo Falcone, appena distanziata dall'Isola Piana e chiude a nord-ovest il Golfo dell'Asinara (Fig.3). Si sviluppa per circa 17 km in direzione Nord-Est tra punta Salippi, l'estremo sud orientale, e punta dello Scorno, che segna l'estremo limite settentrionale.

Vista la disposizione geografica dell'area in esame, sono stati individuati 2 paraggi, uno di levante, interno al Golfo dell'Asinara, e uno di ponente rivolto al "mare esterno" (Fig.1-3).

Per definire i regimi ondosi dell'area di studio sono stati analizzati i dati d'onda acquisiti da due P.O., uno per paraggio, innestati nella griglia di calcolo del modello Mediterranean Sea Waves Hindcast (Korres et al. 2019).

Le coordinate Geografiche dei punti di osservazione mostrate di seguito sono espresse col datum WGS84:

- Punto di osservazione del paraggio di levante $40^{\circ} 58' 48.0000''$ N, $8^{\circ} 21' 40.6800''$ E
- Punto di osservazione del paraggio di ponente $41^{\circ} 01' 14.8800''$ N, $8^{\circ} 09' 14.7500''$ E

I datasets sono composti da 96432 osservazioni orarie ciascuno, i set di dati sono da considerarsi rappresentativi del regime ondoso che investe i paraggi.

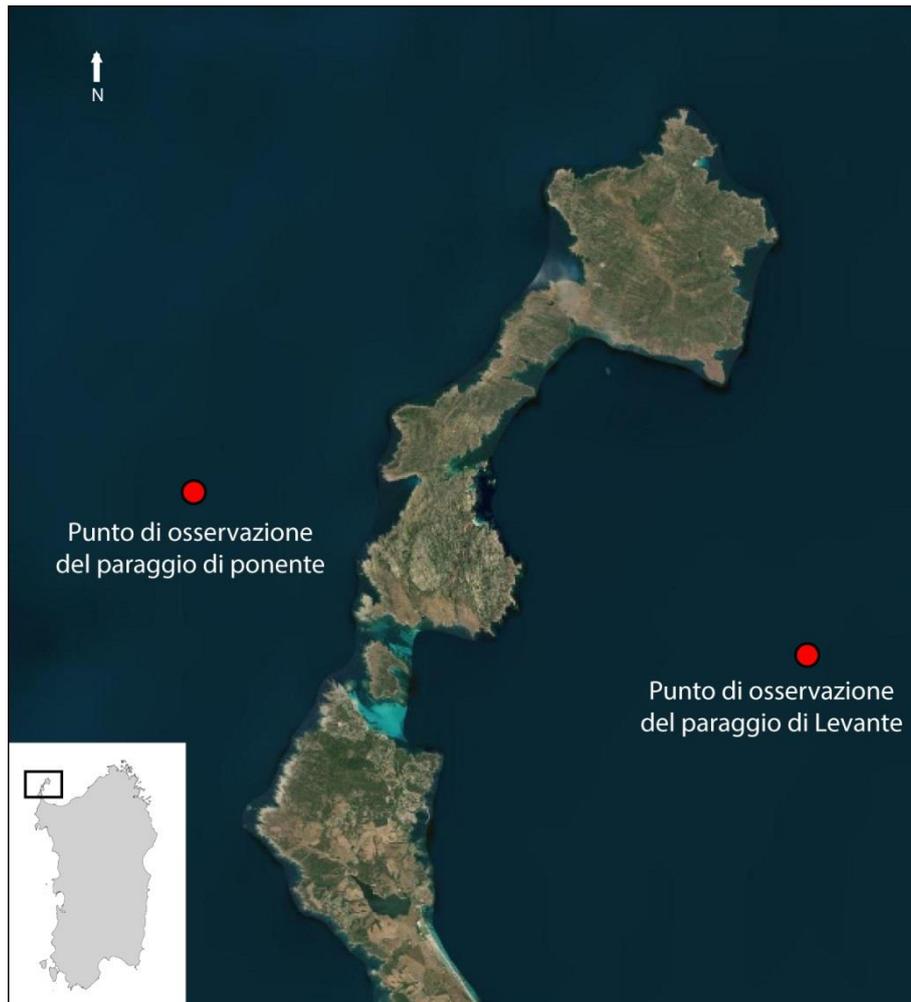


Figura 1-3 Posizione dei punti di osservazione utilizzati per estrarre i dati di clima d'onda per l'Area Marina Protetta del Parco Nazionale dell'Asinara

1.1.4. Il Paraggio di Levante (Asinara)

Le distribuzioni direzionali delle altezze d'onda incidenti nel paraggio di levante rispetto al punto di osservazione sono rappresentate dalla grafico mostrato in figura 1-4, dove i coni, con apertura di 5°, hanno una lunghezza proporzionale alla frequenza percentuale di accadimento. I colori indicano gli intervalli di altezza d'onda.

Dai dati emerge che il paraggio di levante è esposto agli eventi d'onda provenienti prevalentemente dal I e dal IV quadrante, il 70% delle onde proviene da una traversia ampia 120° da Nord Ovest (300° N) a Nord Est (60° N). Dallo stesso settore provengono il 94.5% delle onde con altezza maggiore a 2 metri (Tabella 1-1). Il fetch efficace più grande ha una lunghezza di 245 km, ha una direzione centrale di 0° N e un'ampiezza di 6° rispetto al punto di osservazione. Tuttavia come mostrato dalla tabella 1-1 le onde più alte provengono con maggior frequenza dalla traversia compresa tra 30° e i 60° N; a questa traversia è associato un fetch efficace di circa 78 km, limitato a Nord Est della Corsica.

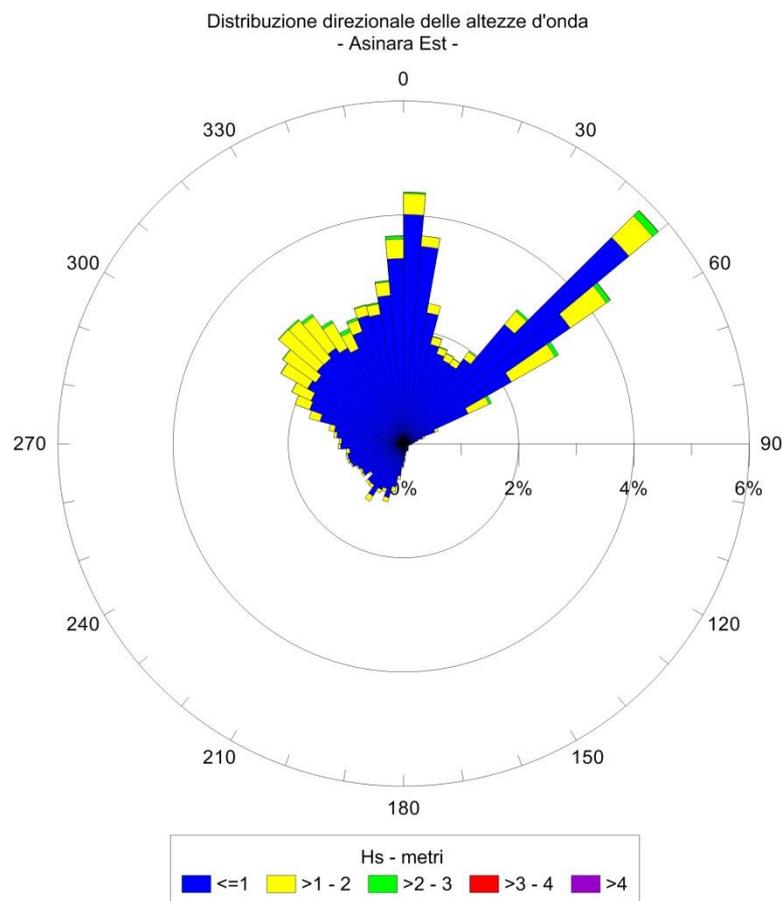


Figura 1-4 Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel P.O. del paraggio di levante del Parco Nazionale dell'Asinara.

Dall'analisi delle frequenze di accadimento (Tabella 1-1 e 1-2) emerge come il 86.75% del moto ondoso ha un'altezza d'onda inferiore al metro, il 12.18% presenta un'altezza d'onda compresa tra 1 e 2 metri, l'1% ha un'altezza tra 2 e 3 metri e solo l'0.08% dei casi hanno altezze d'onda comprese tra i 3 e i 4 m con direzione di provenienza media di 41° N. La frequenza di accadimento

degli eventi d'onda su base annua è rappresentata nella tabella 1-2. Le tempeste con altezza d'onda significativa compresa tra i 3 e i 4 metri si sono manifestati 8 volte in 10 anni tra il 1/01/2007 e il 31/12/2017.

Tabella 1-1 Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti per il paraggio di levante del Parco Nazionale dell'Asinara

Settore (°N)	Frequenza (%)	Classi d'altezza d'onda (m)			
		0÷1	1÷2	2÷3	3÷4
0÷30	16.68	14738	1176	152	17
30÷60	20.56	16333	3117	331	43
60÷90	2.85	2283	412	45	8
90÷120	0.63	591	20	0	0
120÷150	0.65	620	7	0	0
150÷180	1.19	1095	56	0	0
180÷210	4.60	4119	318	0	0
210÷240	5.00	4614	211	0	0
240÷270	5.74	5348	188	0	0
270÷300	9.64	8370	921	5	0
300÷330	15.91	11370	3793	184	0
330÷360	16.54	14171	1526	243	7

Tabella 1-2 Rappresentazione della serie storica dei dati d'onda acquisiti dal modello Mediterranean Sea Waves Hindcast per il paraggio di levante del Parco Nazionale dell'Asinara

Anno	Classi di altezza d'onda (m)				TOT	%
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4		
2007	7433	1190	128	9	8760	9.08
2008	7711	990	83	0	8784	9.11
2009	7752	965	43	0	8760	9.08
2010	7550	1167	43	0	8760	9.08
2011	7692	971	97	0	8760	9.08
2012	7625	1083	68	8	8784	9.11
2013	7558	1112	74	16	8760	9.08
2014	7894	820	46	0	8760	9.08
2015	7596	1041	109	14	8760	9.08
2016	7405	1282	88	9	8784	9.11
2017	7436	1124	181	19	8760	9.08
TOT	83652	11745	960	75	96432	
%	86.75	12.18	1	0.08		100.00

1.1.5. Il Paraggio di Ponente (Asinara)

Il paraggio di ponente del Parco Nazionale dell'Asinara, è soggetto alle agitazioni del moto ondoso proveniente dal III e del IV quadrante (Figura 1-5). In particolare dalla traversia compresa tra 270°N e i 330° N proviene il 55% dei casi totali riscontrati e l'80% del moto ondoso con altezza significativa superiore ai 2m. I fetch efficaci di questa traversia variano tra i 372 km e i 330 km, riscontrati rispettivamente tra i 270°-300°N e i 300°-330°N. Fetch geografici maggiori di 1000Km si riscontrano a Sud Est traguardando il mare di Alboran, tuttavia, la determinazione del fetch efficace possono essere limitate a 500 km in ragione delle massime dimensioni delle perturbazioni meteorologiche agenti sui mari del bacino Mediterraneo (Corsini e Inghilesi, 2004).

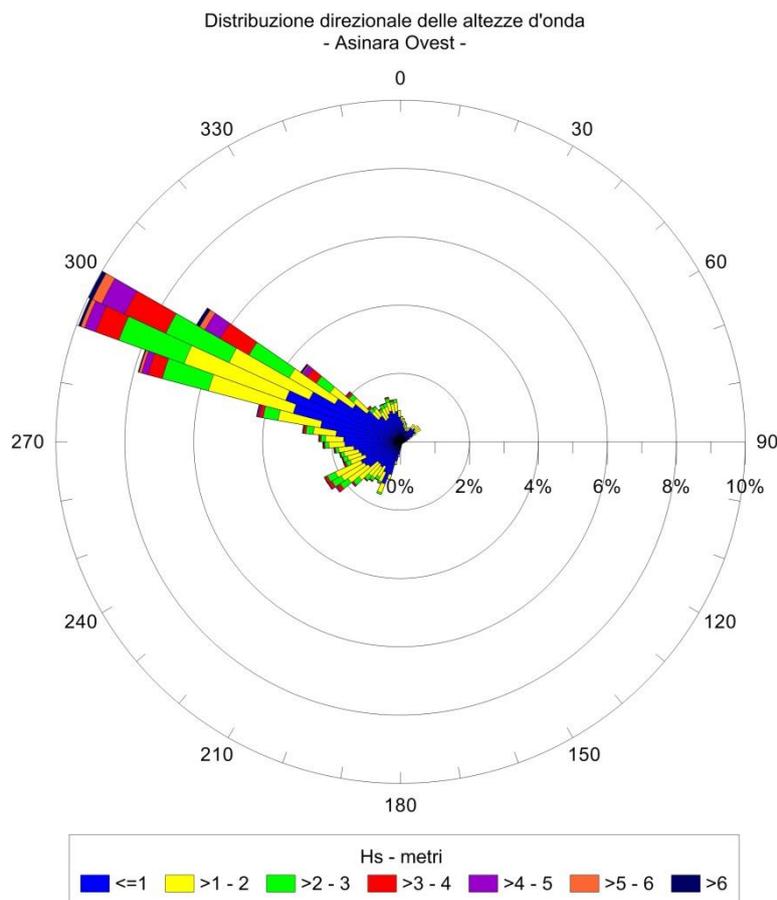


Figura 1-5 Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel P.O. del paraggio di ponente del Parco Nazionale dell'Asinara.

Dall'analisi delle frequenze di accadimento in questo settore, (Tabella 1-3 e 1-4) emerge come il 54.64% del moto ondoso ha un altezza d'onda significativa inferiore al metro, il 25.09 % presenta altezze comprese tra 1 e 2 metri e il 11.68% ha un altezza d'onda compresa tra i 2 e i 3 metri. l'8.6% dei casi ha altezze d'onda superiore ai 3 metri. Le onde estreme di questo paraggio hanno altezze superiori agli 8 metri, hanno una direzione di provenienza media di 302°N e sono state riscontrate durante 3 mareggiate verificatesi nell'arco di 10 anni.

Tabella 3-3 Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti per il paraggio di ponente del Parco Nazionale dell'Asinara.

Settore (°N)	Frequenza (%)	Classi di altezza d'onda (m)								
		0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7	7÷8	8÷9
0÷30	3.57	2494	788	163	0	0	0	0	0	0
30÷60	3.91	2864	884	26	0	0	0	0	0	0
60÷90	1.64	1211	367	0	0	0	0	0	0	0
90÷120	0.55	427	106	0	0	0	0	0	0	0
120÷150	0.39	318	59	0	0	0	0	0	0	0
150÷180	0.70	580	96	0	0	0	0	0	0	0
180÷210	4.97	3878	780	115	22	0	0	0	0	0
210÷240	10.21	5393	2900	1134	283	128	10	0	0	0
240÷270	11.50	7207	2648	861	254	83	15	19	0	0
270÷300	36.78	14445	10237	6041	2785	1271	436	181	64	5
300÷330	17.77	8428	3839	2348	1350	729	280	100	47	11
330÷360	8.00	5446	1486	563	164	35	13	5	0	0

Tabella 1-4 Rappresentazione della serie storica dei dati d'onda acquisiti dal modello Mediterranean Sea Waves Hindcast per il paraggio di ponente del Parco Nazionale dell'Asinara.

Anno	Classi di altezza d'onda (m)									TOT	%
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7	7÷8	8÷9		
2007	4841	2186	906	435	186	129	63	14	0	8760	9.08
2008	4836	2280	1043	382	173	25	13	21	10	8783	9.11
2009	4880	2193	959	458	205	49	11	4	0	8759	9.07
2010	4359	2277	1172	560	262	101	28	0	0	8759	9.08
2011	5340	1995	883	321	159	28	28	6	0	8760	9.08
2012	4791	2260	926	384	253	98	47	25	0	8784	9.11
2013	4232	2410	1263	480	250	87	29	9	0	8760	9.08
2014	4764	2269	1020	469	178	39	13	11	0	8763	9.09
2015	5109	2011	864	468	192	87	24	5	0	8760	9.08
2016	4749	2219	1111	505	149	26	25	0	0	8784	9.11
2017	4790	2090	1114	396	239	85	24	16	6	8760	9.08
TOT	52691	24190	11261	4858	2246	754	305	111	16	96432	
%	54.64	25.09	11.68	5.04	2.33	0.78	0.32	0.12	0.02		100.00

1.1.6. Il regime ondoso del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena

Il Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena 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. Vista la disposizione geografica dell'area in esame, sono stati individuati 2 paraggi, uno di levante, che si affaccia sul mar Tirreno, e uno di ponente rivolto verso le Bocche di Bonifacio (Figura 1-6). Per definire i regimi ondosi dell'area di studio sono stati analizzati i dati d'onda acquisiti da due P.O., uno per paraggio, innestati nella griglia di calcolo del modello Mediterranean Sea Waves Hindcast (Korres et al. 2019). Le coordinate Geografiche dei punti di osservazione mostrate di seguito sono espresse col datum WGS84:

- Punto di osservazione del paraggio di levante $41^{\circ}22'8.88''N$, $9^{\circ}36'57.79''E$
- Punto di osservazione del paraggio di ponente $41^{\circ}01'14.8800''N$, $8^{\circ}09'14.7500''E$

I datasets sono composti da 96409 osservazioni orarie ciascuno, i set di dati sono da considerarsi rappresentativi del regime ondoso che investe i paraggi.

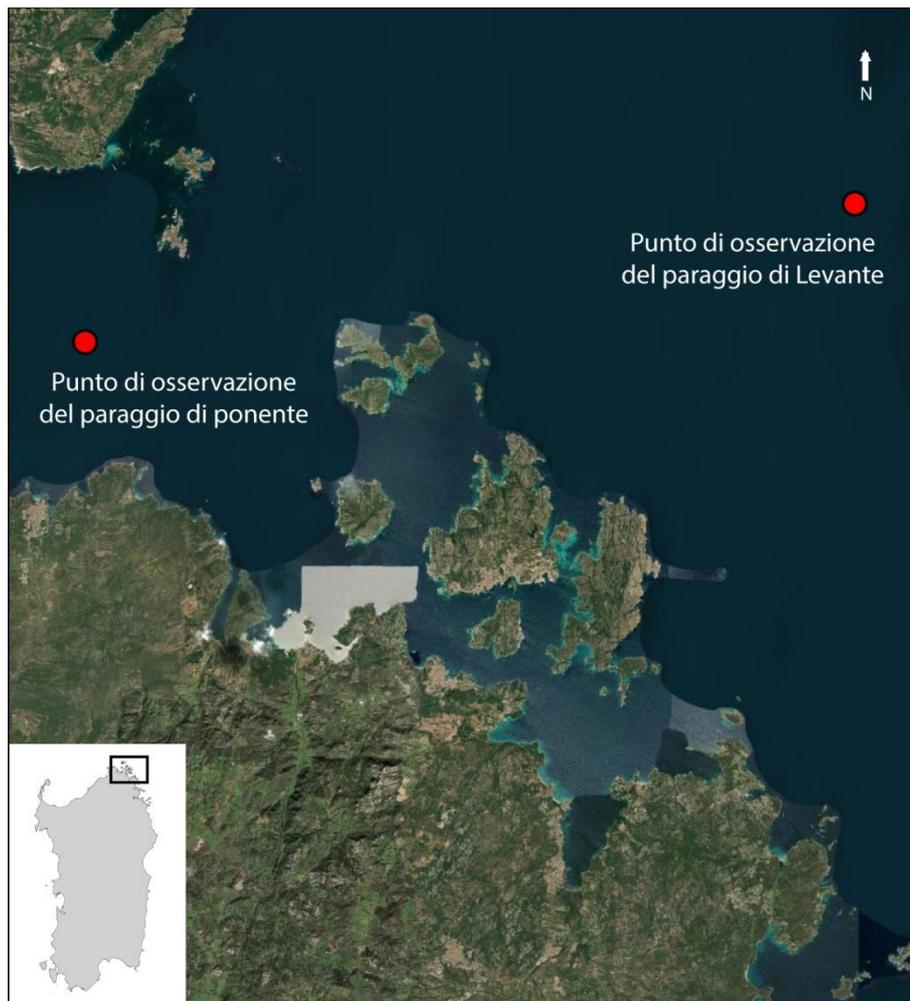


Figura 1-6 Posizione dei punti di osservazione utilizzati per estrarre i dati di clima d'onda per il Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.

1.1.7. Il Paraggio di Levante (La Maddalena)

Il paraggio costiero di levante del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena è soggetto prevalentemente alle agitazioni del I, del II e del III quadrante (Figura 1-7). In ragione della posizione geografica del punto di osservazione, è stato riscontrato che il moto ondoso proviene per il 42% dei casi da una traversia rivolta a ponente con apertura da 250°N a 280°N. Tuttavia il moto ondoso incidente sulle coste orientali delle isole del parco proviene in modo importante da due settori di traversia. Dal primo provengono il 20% dello onde, è rivolto a Sud-Est con apertura tra i 120° e i 160° e ha un fetch effettivo potenziale di 500 km. Il secondo è rivolto a Nord-Nord-Est con apertura tra 0° e i 40° N. Da quest'ultima traversia proviene il 10% del moto ondoso e il 100% delle onde estreme più alte di 6 m e con direzione media di 18°N. Dall'analisi delle frequenze di accadimento (Tabella 1-5 e 1-6) emerge come il 58.37% del moto ondoso ha un altezza d'onda inferiore al metro, il 30% presenta un altezza d'onda compresa tra 1 e 2 metri, l'8.5% ha un altezza tra 2 e 3 metri e il 2,24% dei casi hanno altezze d'onda superiori ai 3 m. Nell'arco dei 10 anni analizzati Sono stati contati solo 5 eventi con altezza d'onda significativa maggiore 5 m.

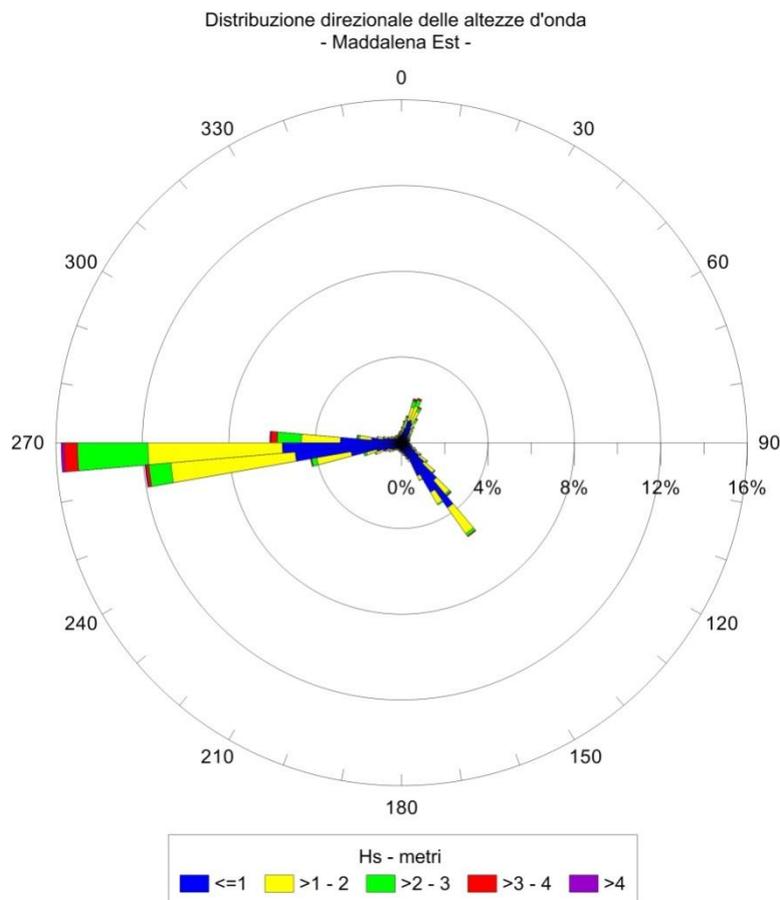


Figura 1-7 Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel P.O. del paraggio di Levante del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.

Tabella 4-5 Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti per il paraggio di levante del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.

Settore (°N)	Frequenza (%)	Classi d'altezza						
		0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7
0÷30	9.40	4672	2685	1160	383	115	39	5
30÷60	4.90	3073	1129	444	77	4	0	0
60÷90	2.46	1744	507	85	27	11	0	0
90÷120	3.42	2341	739	142	60	16	2	0
120÷150	16.40	11319	3918	429	112	31	5	0
150÷180	5.02	4099	645	95	2	0	0	0
180÷210	2.24	1692	437	27	3	0	0	0
210÷240	3.02	2242	606	57	6	0	0	0
240÷270	36.38	14996	14616	4540	776	140	8	0
270÷300	11.31	6528	3019	1059	259	37	3	0
300÷330	2.63	1788	674	72	5	0	0	0
330÷360	2.80	1776	750	144	34	0	0	0

Tabella 1-4 Rappresentazione della serie storica dei dati d'onda acquisiti dal modello Mediterranean Sea Waves Hindcast per il paraggio di levante del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena

Anno	Classi di altezza d'onda (m)							TOT	%
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7		
2007	5296	2344	843	219	58	0	0	8760	9.09
2008	5268	2625	686	153	42	10	0	8784	9.11
2009	5240	2801	580	127	13	0	0	8761	9.09
2010	4780	2905	887	169	20	0	0	8761	9.09
2011	5413	2474	676	173	24	0	0	8760	9.09
2012	5149	2637	805	149	43	1	0	8784	9.11
2013	5017	2621	890	191	26	12	0	8757	9.08
2014	4876	3218	558	85	23	0	0	8760	9.09
2015	5229	2590	739	146	30	21	5	8760	9.09
2016	4792	3012	816	145	12	7	0	8784	9.11
2017	5210	2498	774	187	63	6	0	8738	9.06
TOT	56270	29725	8254	1744	354	57	5	96409	
%	58.37	30.83	8.56	1.81	0.37	0.06	0.01		100.00

1.1.8. Il Paraggio di Ponente (La Maddalena)

Il paraggio di ponente del Parco Nazionale dell'arcipelago de La Maddalena è soggetto alle agitazioni del moto ondoso proveniente prevalentemente dal IV quadrante (Figura 1-8). In particolare dalla traversia compresa tra 260°N e i 290° N proviene il 56.75% dei casi totali riscontrati e l'85% del moto ondoso con altezza significativa superiore ai 2m e il 100% del moto ondoso con altezza superiore a 4m. I fetch efficaci di questa traversia sono stati ottenuti traguardando le coste Spagnole della Catalonia e sono limitati alla distanza massima per il mediterraneo di 500 km.

Dall'analisi delle frequenze di accadimento in questo settore, (Tabella 1-7 e 1-8) emerge come il 63.9% del moto ondoso ha un altezza d'onda significativa inferiore al metro, il 24.68 % presenta altezze comprese tra 1 e 2 metri e il 8.4% ha un altezza d'onda compresa tra i 2 e i 3 metri. Il 3% dei casi ha altezze d'onda superiore ai 3 metri. Le onde estreme di questo paraggio hanno altezze comprese tra i 6 e i 7 metri, hanno una direzione di provenienza media di 280°N e sono state riscontrate durante 3 mareggiate verificatesi nell'arco di 10 anni.

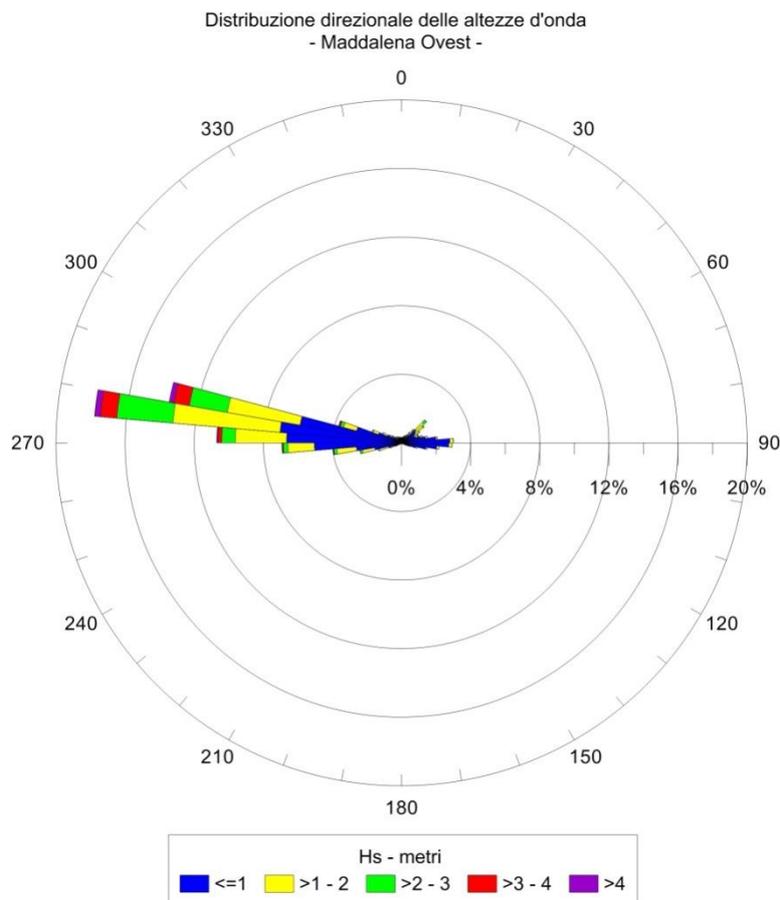


Figura 1-8 Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel P.O. del paraggio di ponente del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.

Tabella 5-7 Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti per il paraggio di ponete del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.

Settore (°N)	Frequenza (%)	Classi d'altezza						
		0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7
0÷30	2.43	1606	569	147	23	0	0	0
30÷60	7.66	4574	2153	558	101	0	0	0
60÷90	10.25	8784	940	120	37	0	0	0
90÷120	7.88	6983	591	22	1	0	0	0
120÷150	0.58	535	21	1	0	0	0	0
150÷180	0.26	239	12	1	0	0	0	0
180÷210	0.28	242	24	1	0	0	0	0
210÷240	0.67	581	57	4	0	0	0	0
240÷270	15.48	10196	3915	674	118	17	1	0
270÷300	48.92	23845	14401	6343	1998	451	110	19
300÷330	3.48	2505	709	137	5	1	0	0
330÷360	2.11	1512	403	115	7	0	0	0

Tabella 1-8 Rappresentazione della serie storica dei dati d'onda acquisiti dal modello Mediterranean Sea Waves Hindcast per il paraggio di ponente del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena

Anno	Classi di altezza (m)							TOT	%
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7		
2007	5572	2005	839	216	98	30	0	8760	9.09
2008	5681	2196	669	183	24	23	8	8784	9.11
2009	5757	2089	712	154	46	2	0	8760	9.09
2010	5302	2318	780	296	64	0	0	8760	9.09
2011	6036	2012	534	139	35	4	0	8760	9.09
2012	5701	2024	773	224	37	18	7	8784	9.11
2013	5381	2280	777	271	50	1	0	8760	9.09
2014	5705	2175	669	166	38	7	0	8760	9.09
2015	5699	2098	736	206	15	6	0	8760	9.09
2016	5305	2508	760	179	24	8	0	8784	9.11
2017	5463	2090	874	256	38	12	4	8737	9.06
TOT	61602	23795	8123	2290	469	111	19	96409	100.00
%	63.90	24.68	8.43	2.38	0.49	0.12	0.02		

1.1.9. Il regime ondoso del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni

Il Parco nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni si affaccia sul Mar Tirreno con una costa che si estende per circa 98 km. Il parco ospita le due aree marine protette che sono oggetto di questo studio: l'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate e l'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta. Per definire i regimi ondosi dei settori marini delle aree di studio sono stati analizzati i dati d'onda acquisiti da due P.O., uno area marina, innestati nella griglia di calcolo del modello Mediterranean Sea Waves Hindcast (Korres et al. 2019). Le coordinate Geografiche dei punti di osservazione (Figura 1-9) mostrate di seguito sono espresse col datum WGS84:

- Punto di osservazione del paraggio di Santa Maria di Castellabate $40^{\circ}13'45.12''N$, $14^{\circ}47'30.12''E$
- Punto di osservazione del paraggio della Costa degli Infreschi e della Masseta $39^{\circ}53'44.88''N$, $15^{\circ}27'29.88''E$

I datasets sono composti da 96432 osservazioni orarie ciascuno, i set di dati sono da considerarsi rappresentativi del regime ondoso che investe i paraggi.

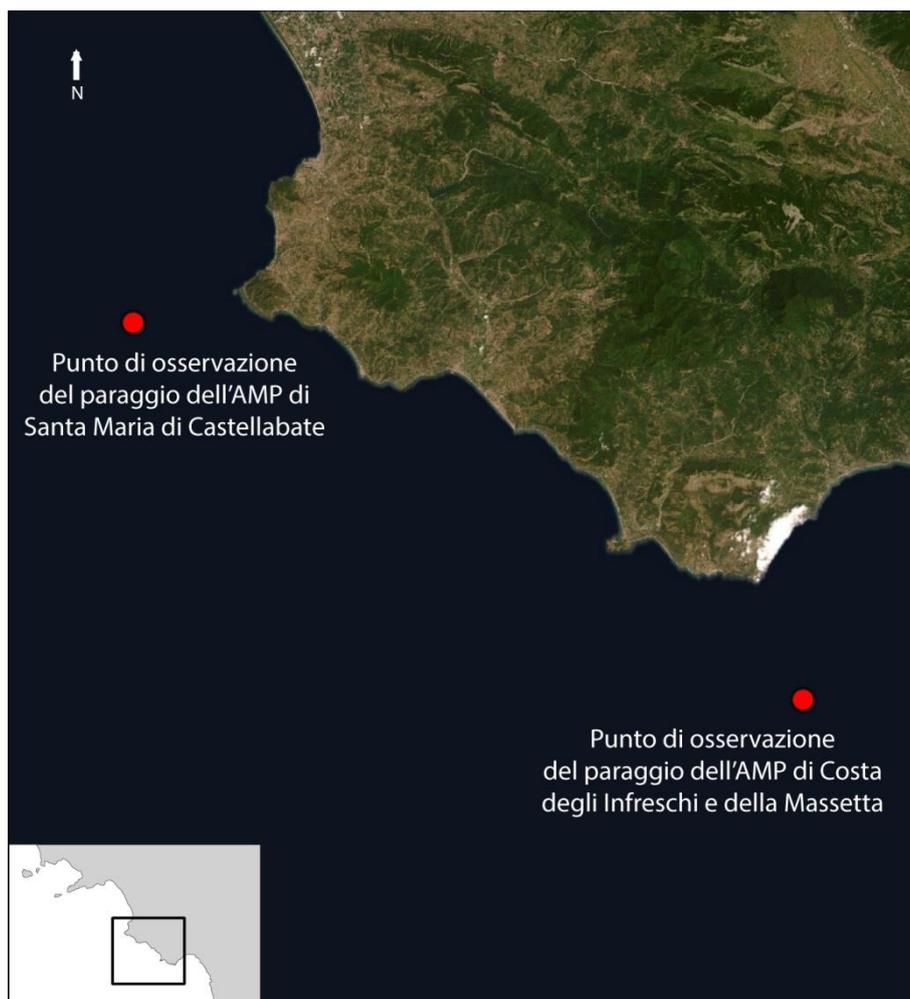


Figura 1-9 Posizione dei punti di osservazione utilizzati per estrarre i dati di clima d'onda per le AMP del Parco Nazionale del Cilento.

1.1.10. Il Paraggio l'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate

Il paraggio costiero dell'AMP di Santa Maria di Castellabate è soggetto prevalentemente alle agitazioni del III, del IV quadrante e in piccola parte del II (Figura 1-10). Il moto ondoso incidente proviene per il 64% dei casi da una traversia ampia 60° con apertura da 240°N a 300°N. Da questa traversia provengono il 100% delle onde con altezza significativa maggiori di 3 m. I fetch effettivi variano tra i 440 km per la direzione centrale di 285°N e i 475 km per la direzione centrale di 255°N.

Le agitazioni del II quadrante provengono da una traversia ampia 30° compresa tra i 150°N e i 180°N e rappresentano circa 6 % dei casi totali.

Dall'analisi delle frequenze di accadimento (Tabella 1-9 e 1-10) emerge come il 76.4% del moto ondoso ha un'altezza d'onda inferiore al metro, il 17.5% presenta un'altezza d'onda compresa tra 1 e 2 metri, l'4.45% ha un'altezza tra 2 e 3 metri e il 1.6% dei casi hanno altezze d'onda superiori ai 3 m. Le onde estreme con altezza compresa tra 6 e 7m sono state riscontrate durante un solo evento registrato nel 2007.

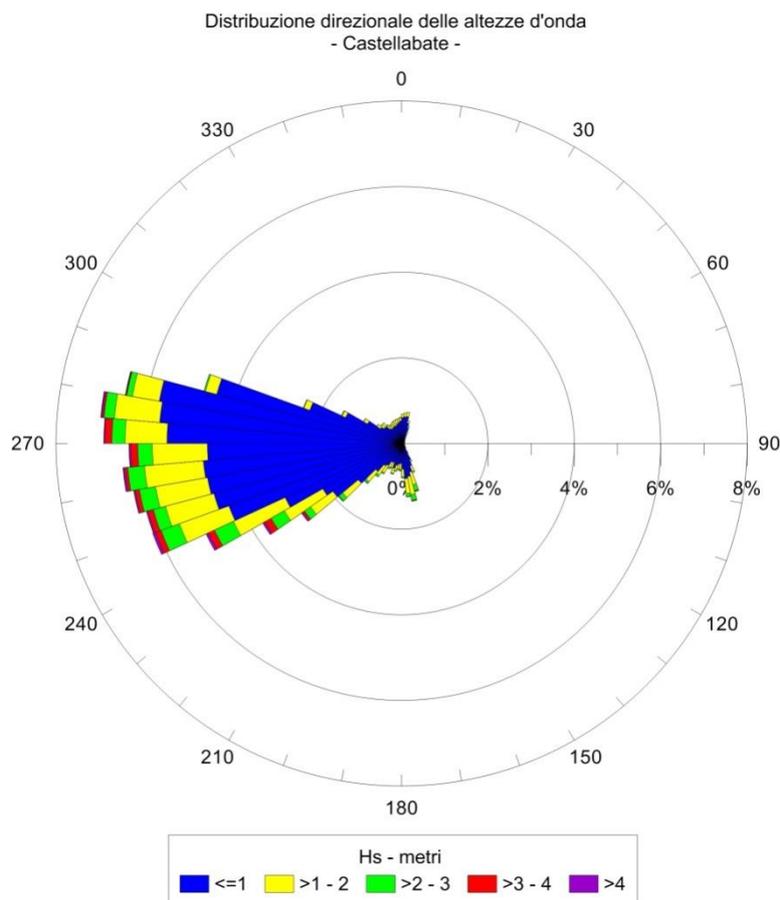


Figura 1-10 Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel P.O. del paraggio dell'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate.

Tabella 6-7 Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti per il paraggio dell'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate.

Settore (°N)	Frequenza (%)	Classi d'altezza						
		0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7
0÷30	3.46	2914	418	2	0	0	0	0
30÷60	0.71	648	35	0	0	0	0	0
60÷90	0.39	378	1	0	0	0	0	0
90÷120	0.35	326	8	0	0	0	0	0
120÷150	0.83	734	62	1	0	0	0	0
150÷180	5.79	3742	1394	388	56	1	0	0
180÷210	4.26	3146	825	125	8	0	0	0
210÷240	11.60	7436	2646	780	218	82	24	0
240÷270	35.68	24337	6953	2191	688	172	65	0
270÷300	28.81	23559	3248	729	191	41	11	5
300÷330	4.38	3531	648	47	2	0	0	0
330÷360	3.75	2938	652	26	0	0	0	0

Tabella 1-8 Rappresentazione della serie storica dei dati d'onda acquisiti dal modello Mediterranean Sea Waves Hindcast per il paraggio di ponente dell'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate

Anno	Classi di altezza (m)							TOT	%
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7		
2007	6824	1557	202	125	33	13	5	8759	9.08
2008	6787	1397	458	113	20	9	0	8784	9.11
2009	6484	1690	460	104	22	0	0	8760	9.08
2010	6054	1860	542	179	92	34	0	8761	9.09
2011	7182	1310	204	44	9	11	0	8760	9.08
2012	6704	1488	397	131	48	16	0	8784	9.11
2013	6324	1659	612	160	5	0	0	8760	9.08
2014	6662	1632	402	44	17	3	0	8760	9.08
2015	7194	1241	206	79	26	14	0	8760	9.08
2016	6683	1533	492	72	4	0	0	8784	9.11
2017	6791	1523	314	112	20	0	0	8760	9.08
TOT	73689	16890	4289	1163	296	100	5	96432	100.00
%	76.42	17.51	4.45	1.21	0.31	0.10	0.01		

1.1.11. Il Paraggio l'Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta

Il paraggio costiero dell'AMP di Costa degli Infreschi e della Masseta è soggetto prevalentemente alle agitazioni del III e del IV quadrante (Figura 1-11). Il moto ondoso incidente proviene per il 68% dei casi da una traversia ampia 50° con apertura da 240°N a 290°N. Da questa traversia provengono il 91% delle onde che hanno altezza significativa maggiori di 3 m e il 100% delle onde estreme con altezza significativa compresa tra 5 e 6 m. I fetch effettivi variano tra 490 km per la direzione centrale di 275°N e 500 km per la direzione centrale di 255°N.

Dall'analisi delle frequenze di accadimento (Tabella 1-9 e 1-10) emerge come il 78.5% del moto ondoso ha un'altezza d'onda inferiore al metro, il 16% presenta un'altezza d'onda compresa tra 1 e 2 metri, l'3.8% ha un'altezza tra 2 e 3 metri e il 1.58% dei casi hanno altezze d'onda superiori ai 3 m.

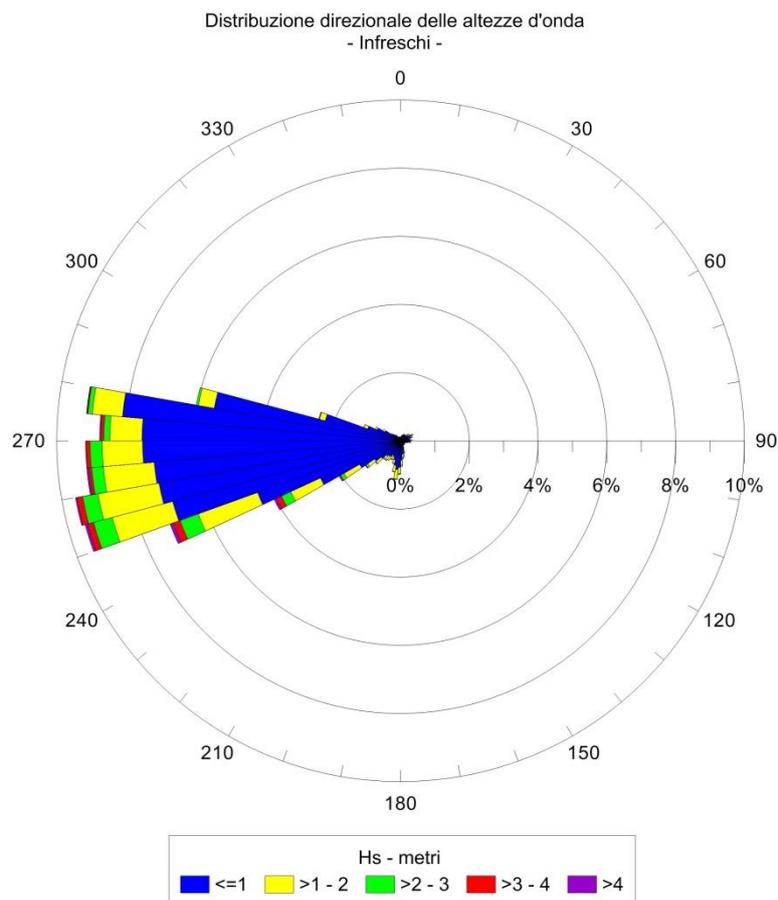


Figura 1-11 Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel P.O. del paraggio dell'Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta.

Tabella 7-7 Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti per il paraggio dell'Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta.

Settore (°N)	Frequenza (%)	Classi d'altezza					
		0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6
0÷30	1.29	695	550	0	0	0	0
30÷60	1.20	998	160	0	0	0	0
60÷90	1.62	1399	165	0	0	0	0
90÷120	1.34	1202	89	0	0	0	0
120÷150	1.29	1111	120	9	4	0	0
150÷180	3.68	2713	690	138	11	0	0
180÷210	4.66	3629	803	59	2	0	0
210÷240	6.76	4896	1225	284	85	10	16
240÷270	43.77	31027	7514	2526	821	253	63
270÷300	29.48	23992	3555	624	218	33	6
300÷330	3.97	3241	509	79	0	0	0
330÷360	0.94	832	76	0	0	0	0

Tabella 1-8 Rappresentazione della serie storica dei dati d'onda acquisiti dal modello Mediterranean Sea Waves Hindcast per il paraggio dell'Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta.

Anno	Classi di altezza (m)						TOT	%
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6		
2007	7146	1264	201	110	32	7	8760	8.39
2008	7155	1219	316	59	27	8	8784	8.41
2009	6858	1503	288	98	13	0	8760	8.39
2010	6480	1579	431	182	67	21	8760	8.39
2011	7622	966	129	24	14	5	8760	8.39
2012	7024	1251	337	117	37	18	8784	8.41
2013	6313	1673	567	180	27	0	8760	8.39
2014	6670	1634	385	47	14	10	8760	8.39
2015	7103	1317	202	93	31	14	8760	8.39
2016	6633	1512	507	124	8	0	8784	8.41
2017	6730	1538	356	108	26	2	8760	8.39
TOT	75734	15456	3719	1142	296	85	96432	100.00
%	78.54	16.03	3.86	1.18	0.31	0.09		

2.0 Mappatura depositi sabbiosi

2.1 Introduzione

Lo IAS CNR UOS di Oristano, fornisce con il presente rapporto un aggiornamento delle mappature dei depositi sabbiosi costieri all'interno delle seguenti aree:

- AMP del Parco Nazionale dell'Asinara incluso SIC Isola dell'Asinara ITB010082
- Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena
- AMP dei Santa Maria di Castellabate
- AMP di Costa Degli Infreschi e della Masseta

L'attività di rimappatura dei depositi sabbiosi costieri rientra nelle attività preparatorie previste dall'azione A1, inoltre è un'attività implementativa delle Azioni C2 e C3.

L'obiettivo di questa attività è individuare i depositi sabbiosi costieri idonei ad ospitare l'ancoraggio libero delle unità nautiche da diporto e di fornire un elemento di supporto alla gestione e alla progettazione di eventuali nuovi campi boa.

In primo luogo sono stati raccolti dati cartografici più recenti relativi alle mappature geomorfologiche e degli Habitat dei fondali (Tabella 2-1).

Dopo l'analisi dei dati bibliografici raccolti si è reputato necessario aggiornare le mappature dei depositi 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.

Table 2-1 Dati bibliografici raccolti per la caratterizzazione dei fondali delle aree di studio.

Aree di studio	Dati bibliografico
Parco Nazionale dell'Asinara	<ul style="list-style-type: none">- Sea grass map Ministeriale, 2005.- Carta delle biocenosi, 2018.- Carta degli spessori dei depositi della piattaforma interna, 2019.- Dati sismoacustici dell'intera area, Ente Parco, 2018.
Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena	<ul style="list-style-type: none">- Sea grass map APAT, 2005.- Dati sismoacustici della Spiaggia Rosa – Cala di Roto, della Spiaggia del Cavaliere e della Spiaggia di Santa Maria, IAMC-CNR, 2016 .
Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate	<ul style="list-style-type: none">- Sea grass map APAT, 2005.- DTM del fondo mare, ISPRA.
Area Marina Protetta della Costa degli Infreschi e della Masseta	<ul style="list-style-type: none">- Sea grass map APAT, 2005.- DTM del fondo mare, ISPRA.

2.2 Metodi

L'aggiornamento e l'identificazione dei depositi sabbiosi costieri è stato realizzato con l'analisi di tutte le ortofoto aeree e immagini satellitari recenti (tabella 2-2). I risultati delle analisi sono stati elaborati ed integrati ai dati cartografici esistenti (Tabella 2-1). 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 2-1). Tutte le immagini utilizzate sono state acquisite nell'arco di 3 anni.

Tabella 2-2. Elenco delle foto aeree e immagini satellitari utilizzate con relativa risoluzione spaziale, ente fornitore e siti coperti.

Dato	Anno/i	Risoluzione spaziale	Fonte	Siti
Ortofoto	2016	20 cm	Regione Autonoma della Sardegna (RAS)	- Parco Nazionale dell'Asinara - Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena
Immagini satellitari Word Imagery	2018	30,50,60 cm	Global Mapper Blue Mable (GM)	- Parco Nazionale dell'Asinara - Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena - Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate - l'Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta
Immagine satellitare GeoEye	2014 2016 2017 2019	50 cm	Google	- Parco Nazionale dell'Asinara - Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena - Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate - l'Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta

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.

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 2-2).

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 2-2). 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 2-2).

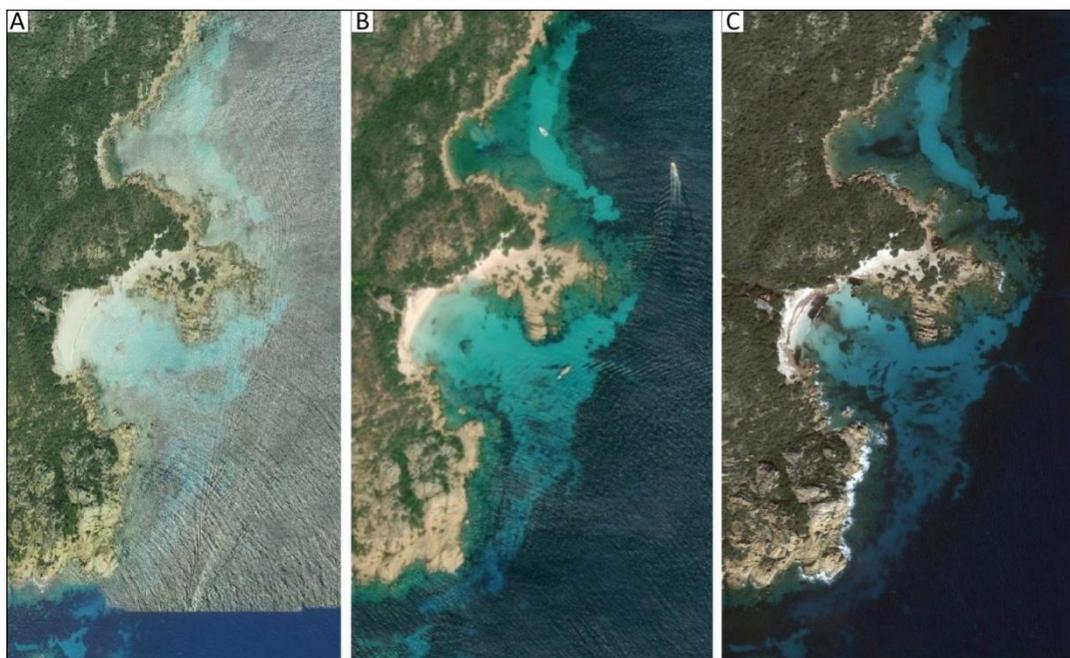


Figura 2-1 In figura mostra a titolo esemplificativo la copertura sud-occidentale dell'isola di Budelli (Parco Nazionale dell'arcipelago de La Maddalena) restituita con l'ortofoto della RAS (A), la word imagery di GM (B) e l'immagine GeoEye (C).

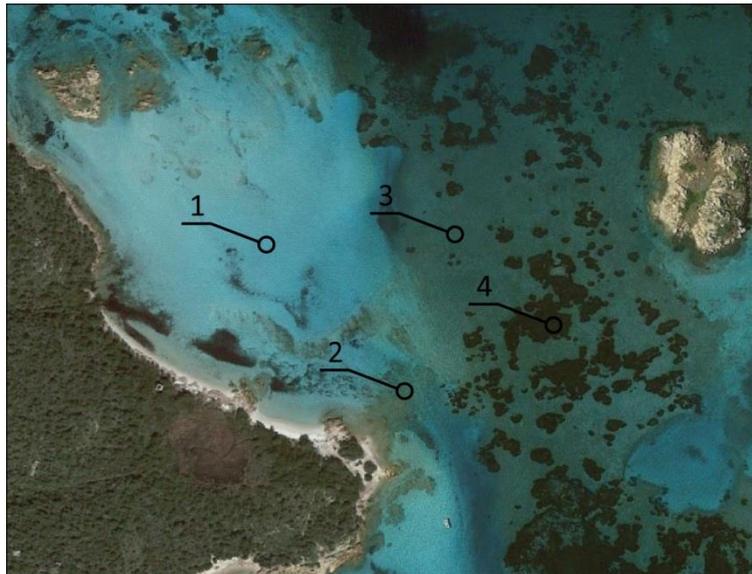


Figura 2-2 In figura vengono indicati i quattro principali elementi del fondo mare riconosciuti: depositi sabbiosi (1), roccia (2), posidonia con matte morta (3), posidonia con matte viva (4).

Viste le ampie dimensioni delle aree di studio e le risoluzioni spaziali delle immagini, la mappatura dei limiti dei depositi sabbiosi è stata effettuata a una scala di lavoro pari a 1:2500, 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 prima. Di seguito nelle figure 2-3 e 2-4 vengono mostrati alcuni esempi.

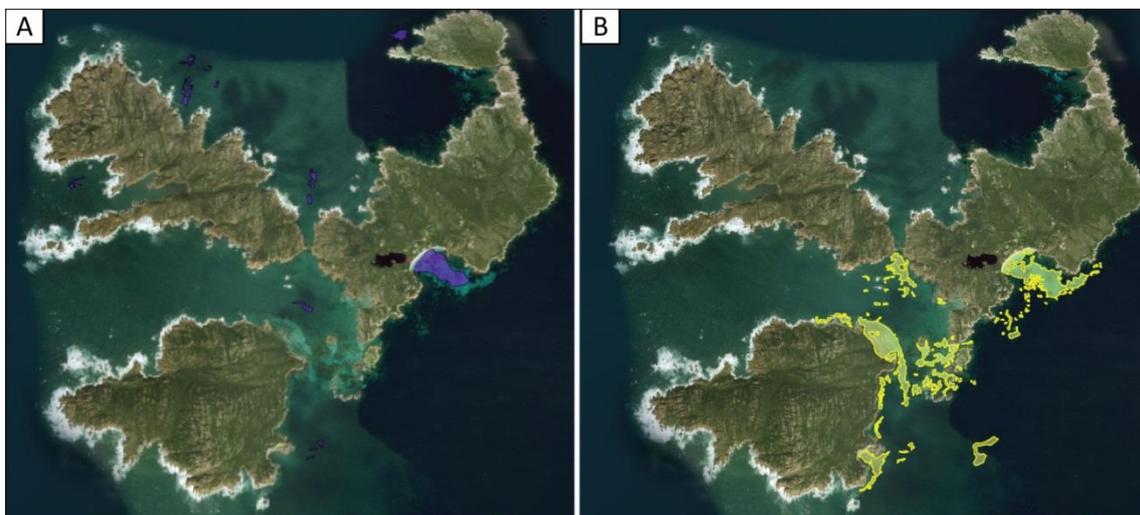


Figura 2-3 La figura mostra il tratto di mare chiamato Porto della Madonna, situato tra le isole Budelli, Razzoli e S.Maria nel Parco Nazionale de La Maddalena. In A sono mostrati i depositi sabbiosi costieri mappati nella SeaGrassMap del 2005, mentre in B viene mostrata la mappatura aggiornata per questo settore.

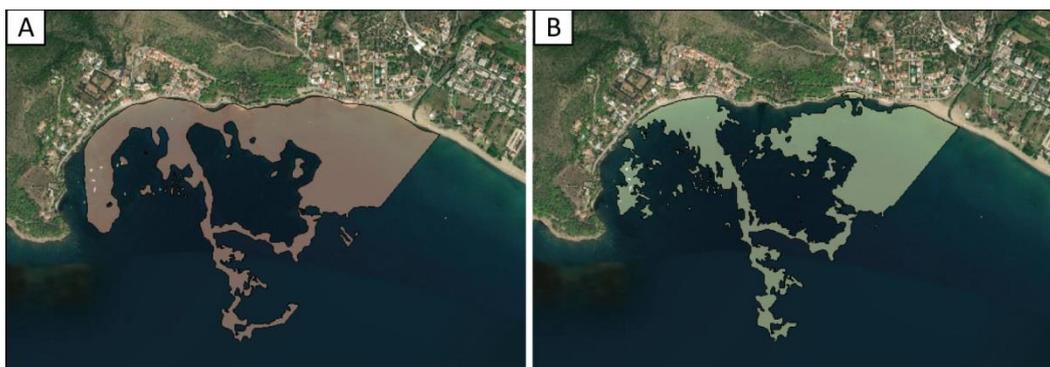


Figura 2-4 La figura mostra le mappature eseguite nella Baia di Ogliastro Marina nell’Aria Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate. In A sono mostrati i depositi sabbiosi costieri mappati nella SeaGrassMap del 2003, mentre in B viene mostrata la mappatura aggiornata per questo settore.

I sistemi di riferimento geografici utilizzati per le rappresentazioni cartografiche sono coerenti con quelli dei dati bibliografici:

- ED50 UTM 32N per il parco Nazionale dell’Asinara e per il Parco Nazionale dell’Arcipelago de La Maddalena;
- WGS84 UTM 33N per l’Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate e per l’Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta.

2.3 Risultati

Il prodotto finale dell’attività di rimappatura dei depositi sabbiosi consiste nella realizzazione di shape files conteneti elementi vettoriali poligonari che rappresentano i depositi sabbiosi. Di seguito sono elencati i nomi dei file contenenti le mappature e consegnati in allegato al presente report:

- Depositi_Sabbiosi_ASINARA.shp
- Depositi_Sabbiosi_MADDALENA.shp
- Depositi_Sabbiosi_CASTELLABATEshp
- Depositi_Sabbiosi_INFRESCHI.shp

A ogni singolo elemento sono stati attribuite feature class contenenti informazioni sulla dimensione areale espressa in m² e dove presenti, informazioni sulla classe dimensionale dei sedimenti sciolti (Tabella 2-3).

Tabella 2-2. La tabella mostra le features class associate a ogni elemento mappato con alcune righe di esempio della presentazione del dato.

ID	TIPO_SEDIMENTO	PERIMETRO	AREA
1	Sabbie grossolane	595 m	5247 sq m
2	Sabbie grossolane	1 km	13349 sq m
...

Di seguito vengono presentati i risultati dell'aggiornamento delle mappature dei depositi sabbiosi.

2.3.1 Parco Nazionale dell'Asinara

- Mappatura dei depositi sabbiosi del Parco Nazionale dell'Asinara (Figura 2-5) è stata ottenuta integrando i nuovi dati con quelli già presenti in bibliografia. Estensione areale dei depositi di 46252 km², estensione perimetrale di 655 km.

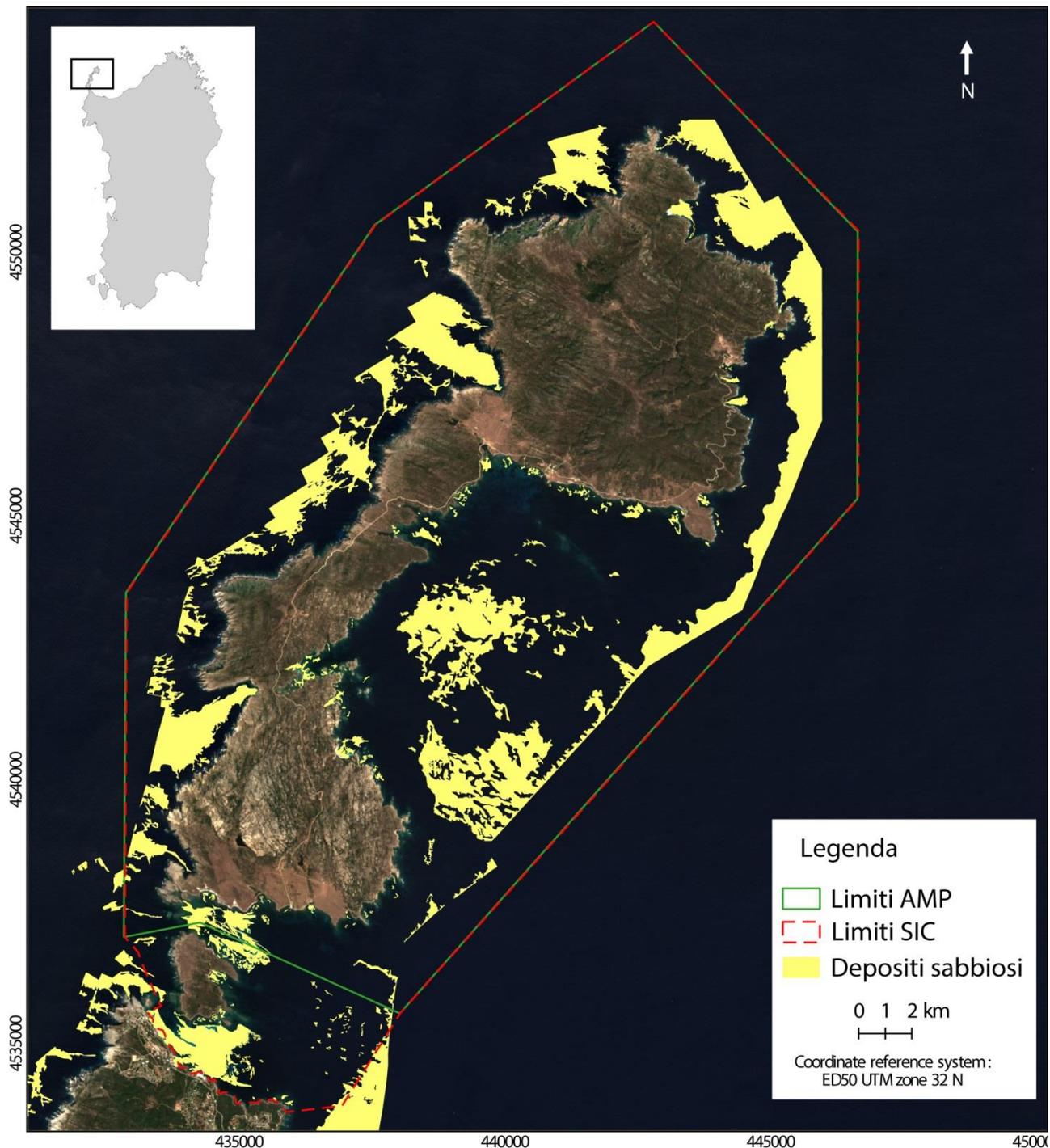


Figura 2-5 Mappatura dei depositi sabbiosi del Parco Nazionale dell'Asinara ottenuta integrando i nuovi dati con quelli già presenti in bibliografia. Estensione areale dei depositi di 46252 km², estensione perimetrale di 655 km.

2.3.2 Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena

- La Mappa dei depositi sabbiosi del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena (Figura 2-6) è ottenuta integrando i nuovi dati con quelli già presenti in bibliografia. L'estensione areale dei depositi è di 45244 km², l'estensione perimetrale è di 580 km.

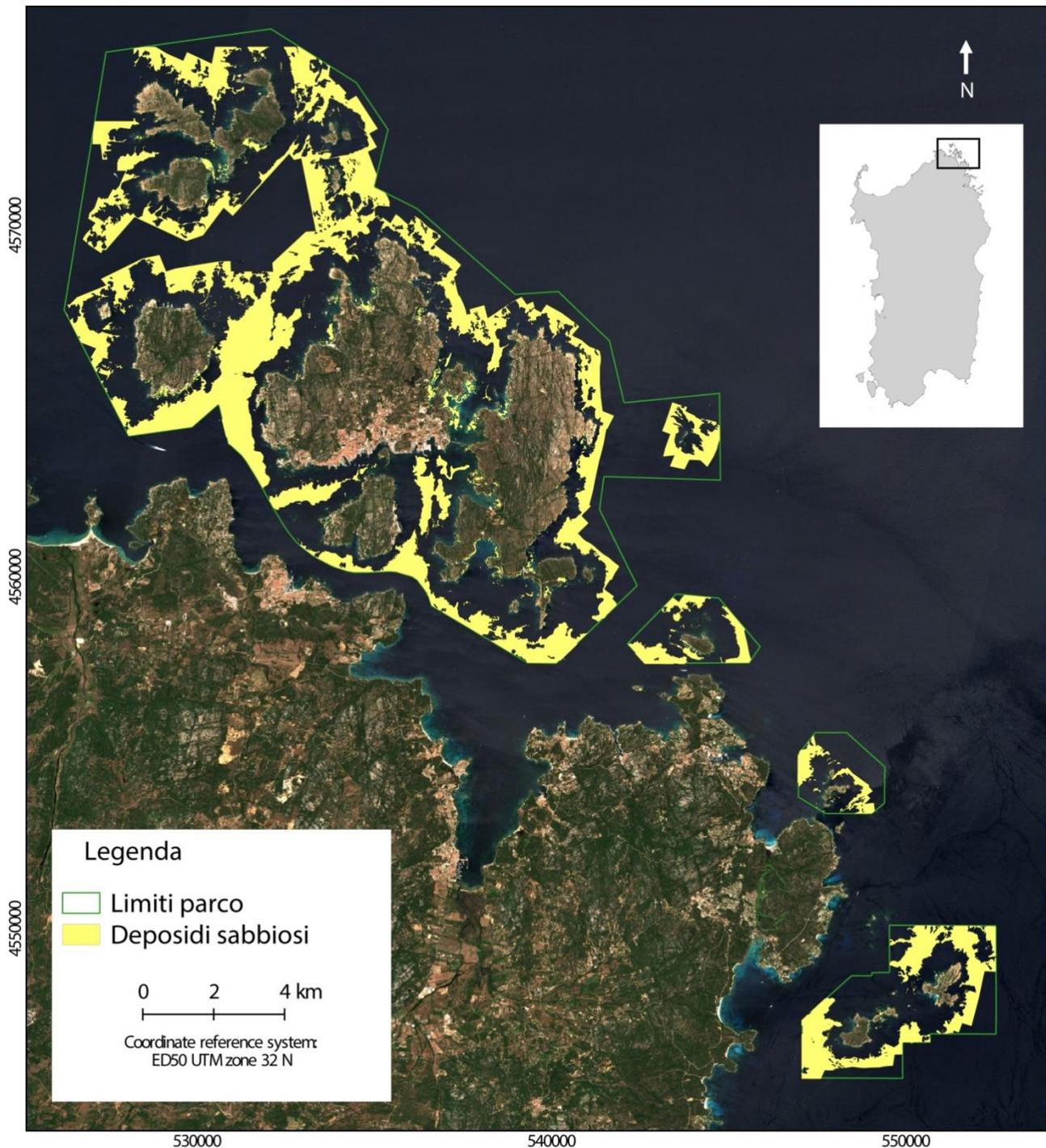


Figura 2-6 Mappatura dei depositi sabbiosi del Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena.

2.3.3 AMP di Santa Maria di Castellabate

- La Mappa dei depositi sabbiosi dell'AMP di Santa Maria di Castellabate (Figura 2-7), è stata ottenuta integrando i nuovi dati con quelli già presenti in bibliografia. L'estensione areale dei depositi è di 17686 km², l'estensione perimetrale è di 152 km.

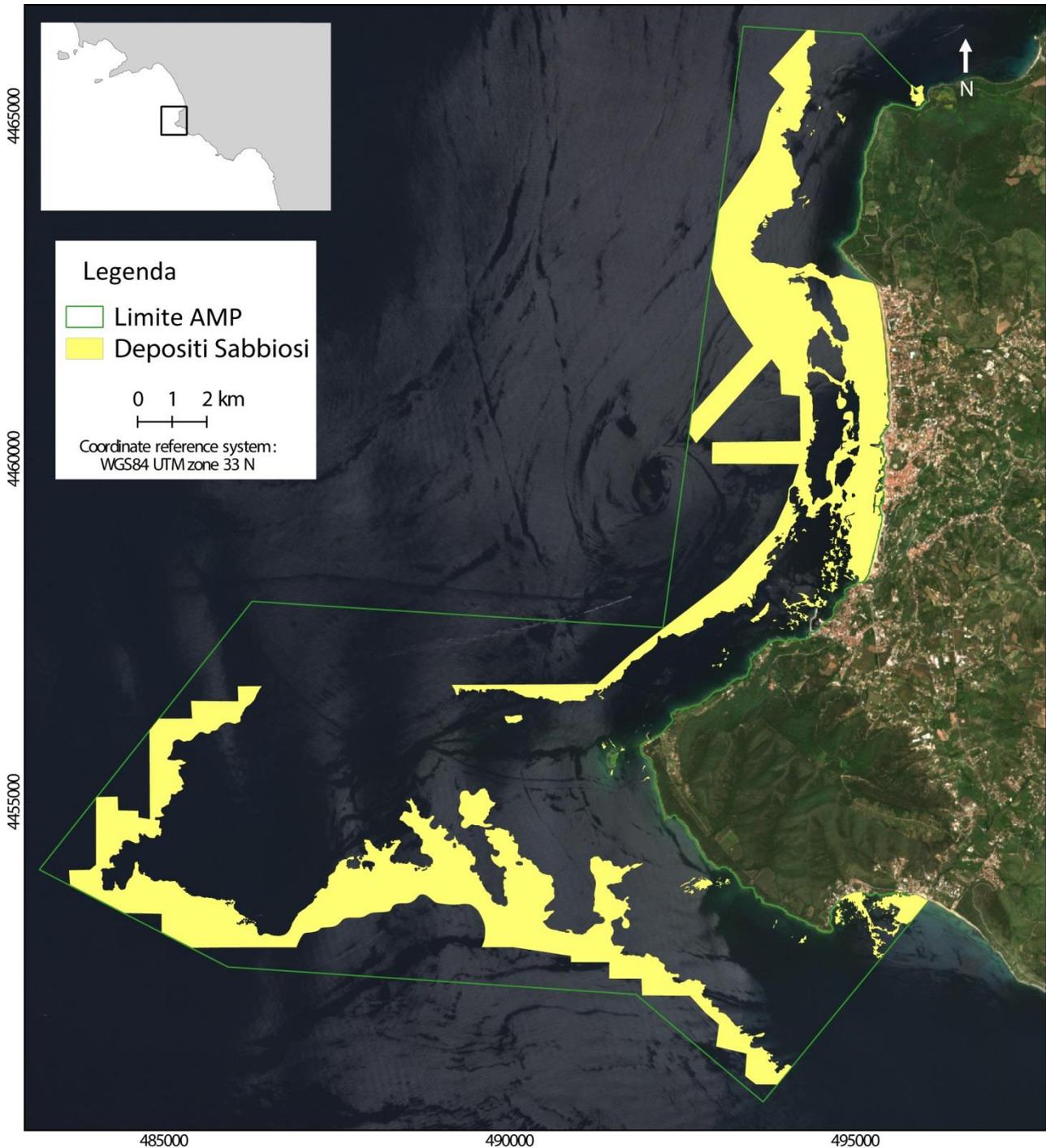


Figura 2-7 Mappatura dei depositi sabbiosi dell'AMP di Santa Maria di Castellabate.

2.3.4 Area Marina Protetta di Costa degli Infreschi e della Masseta

- La Mappa dei depositi sabbiosi dell'AMP di Costa degli Infreschi e della Masseta (Figura 2-8), è stata ottenuta integrando i nuovi dati con quelli già presenti in bibliografia. L'estensione areale dei depositi è di 3450 km², l'estensione perimetrale è di 55 km.

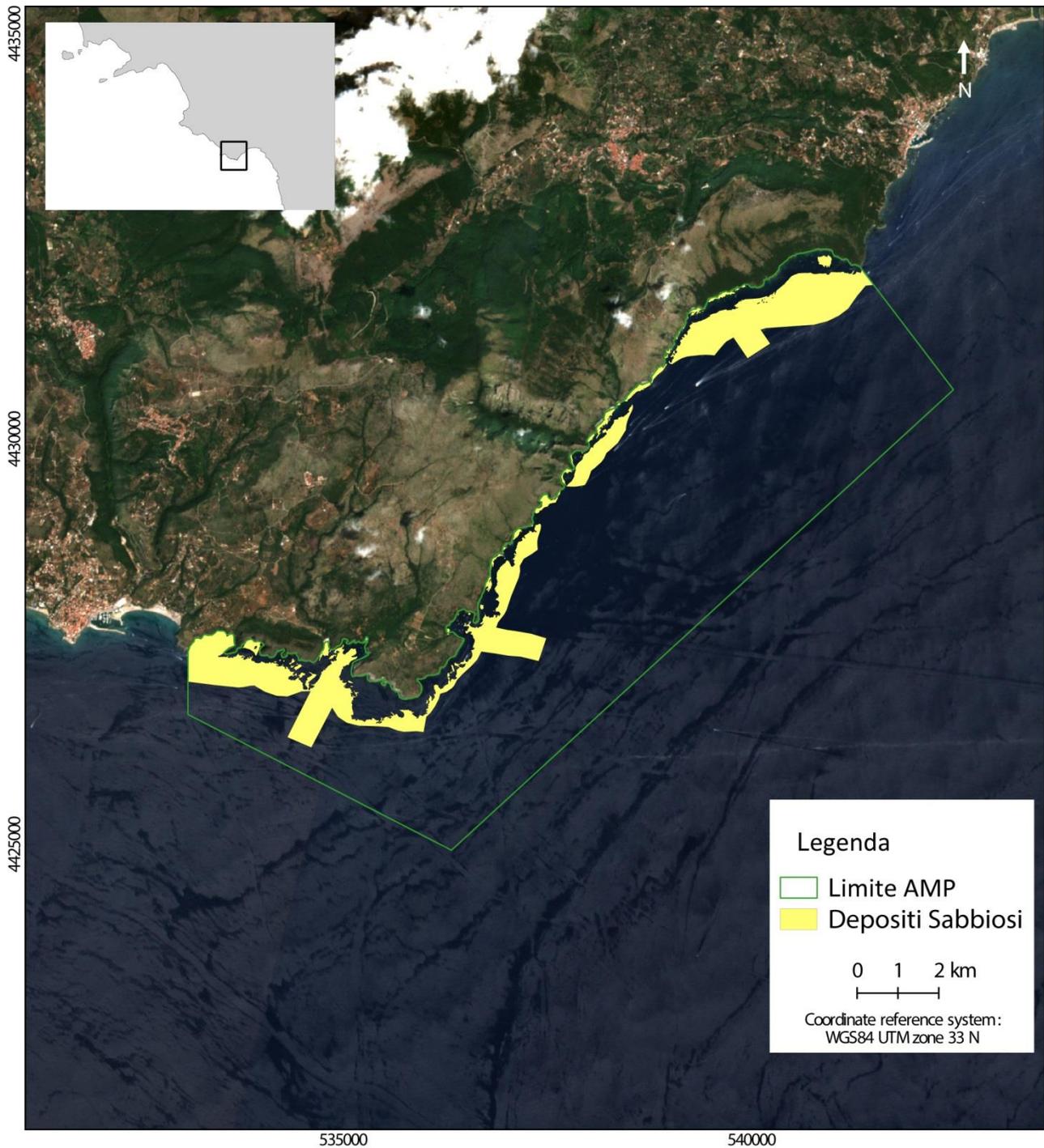


Figura 2-8 Mappatura dei depositi sabbiosi dell'AMP di Costa degli Infreschi e della Masseta, ottenuta integrando i nuovi dati con quelli già presenti in bibliografia. L'estensione areale dei depositi è di 3450 km², l'estensione perimetrale è di 55 km.

3.0 Interpretazione dati Sismici

3.1 Introduzione

Lo IAS CNR UOS di Oristano, fornisce con il presente rapporto un'analisi interpretativa dei dati sismici riguardanti l'intera Area Marina Protetta dell'Asinara e delle linee sismiche acquisite nel Porto della Madonna (Arcipelago della Maddalena).

Il lavoro descritto rientra nelle attività del progetto SEA FOREST LIFE che ha come obiettivo 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 (*Posidonia oceanica*).

L'acquisizione e l'analisi delle linee sismiche sono attività previste dalle azioni A.1 ("Quantificazione di depositi di carbonio e tasso di modifica in relazione al degrado dell'habitat") A.1.1("Cartografia e caratterizzazione dell'habitat 1120* per le aree protette coinvolte nel progetto"), C.2 (Definizione di buone pratiche per la conservazione dell'habitat 1120) e C.3 ("Gestione degli ancoraggi e degli ormeggi") del progetto SEA FOREST LIFE.

Attraverso l'analisi della sismica ad alta risoluzione è possibile determinare gli spessori dei corpi sabbiosi, delle matte di *Posidonia oceanica* e la presenza di substrati rocciosi oltre che a stabilire una base univoca e complessiva di conoscenze utili alla conservazione dell'habitat 1120* e alla gestione degli ancoraggi e ormeggi.

3.2 Interpretazione dati Sismici - Parco Nazionale dell'Asinara

Il presente capitolo mostra una revisione di dati relativi a delle indagini geofisiche svolte nel 2015 dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste e dedicate alla stima degli spessori dei sedimenti sciolti della piattaforma interna dell'Isola dell'Asinara. Inoltre per la stesura di questa parte del report, sono state utilizzate immagini e contenuti dal lavoro di Romeo et al., 2019.

I dati sono stati forniti dal Parco Nazionale dell'Asinara e fanno parte di uno studio dedicato alla valutazione del possibile impatto delle attività antropiche sull'area marina protetta e al monitoraggio della distribuzione della *Posidonia oceanica* e delle più importanti specie endemiche di alghe del Mar Mediterraneo presenti nell'AMP (Romeo et al., 2019).

3.2.1 Metodi

L'indagine sismica ad alta risoluzione che ha coperto l'intera area dell'AMP dell'Asinara è stata svolta nel 2015, sono state acquisite 104 linee sismiche per una lunghezza totale di 284 km (Figura 3-1).

I rilievi sismici sono stati eseguiti con un Boomer installato su un catamarano con piastra elettrodinamica UWAK di Nordik Nord posizionata a una profondità di 40 cm sotto il livello del mare. La piastra è stata alimentata da un gruppo di condensatori PULSAR 2002 collegati a un generatore da 3,5 kW. L'impulso generato dalla piastra è di tipo impulsivo ad ampio spettro (da 400 a 6000 Hz, con una frequenza dominante di 2000 Hz) e restituisce i profili sismici a risoluzione sub-metrica.

Il sistema di ricezione utilizzato è un Geo Sense Streamer a canale singolo, composto da 8 idrofoni preamplificati collegati in serie e distribuiti su una linea attiva di 3 m. Questo streamer a canale singolo raggiunge un forte aumento del rapporto segnale-rumore aggiungendo in fase i segnali coerenti (riflessioni

proveniente dai sedimenti) e riducendo il rumore casuale. La frequenza di campionamento utilizzata è 0.05ms, con una frequenza di shot di 3 impulsi al secondo, e una durata di registrazione di 120-200 ms.

La massima penetrazione raggiunta è stata di circa 80 m sotto il fondo marino, con una risoluzione verticale di circa 0,2 m.

Dall'interpretazione dei profili sismici acquisiti è stata realizzata una mappa dello spessore dei sedimenti (mappa degli spessori), prodotta sottraendo dalla profondità del fondale marino lo spessore dei depositi sedimentari (Figura 3-2, 3-3 e 3-4).

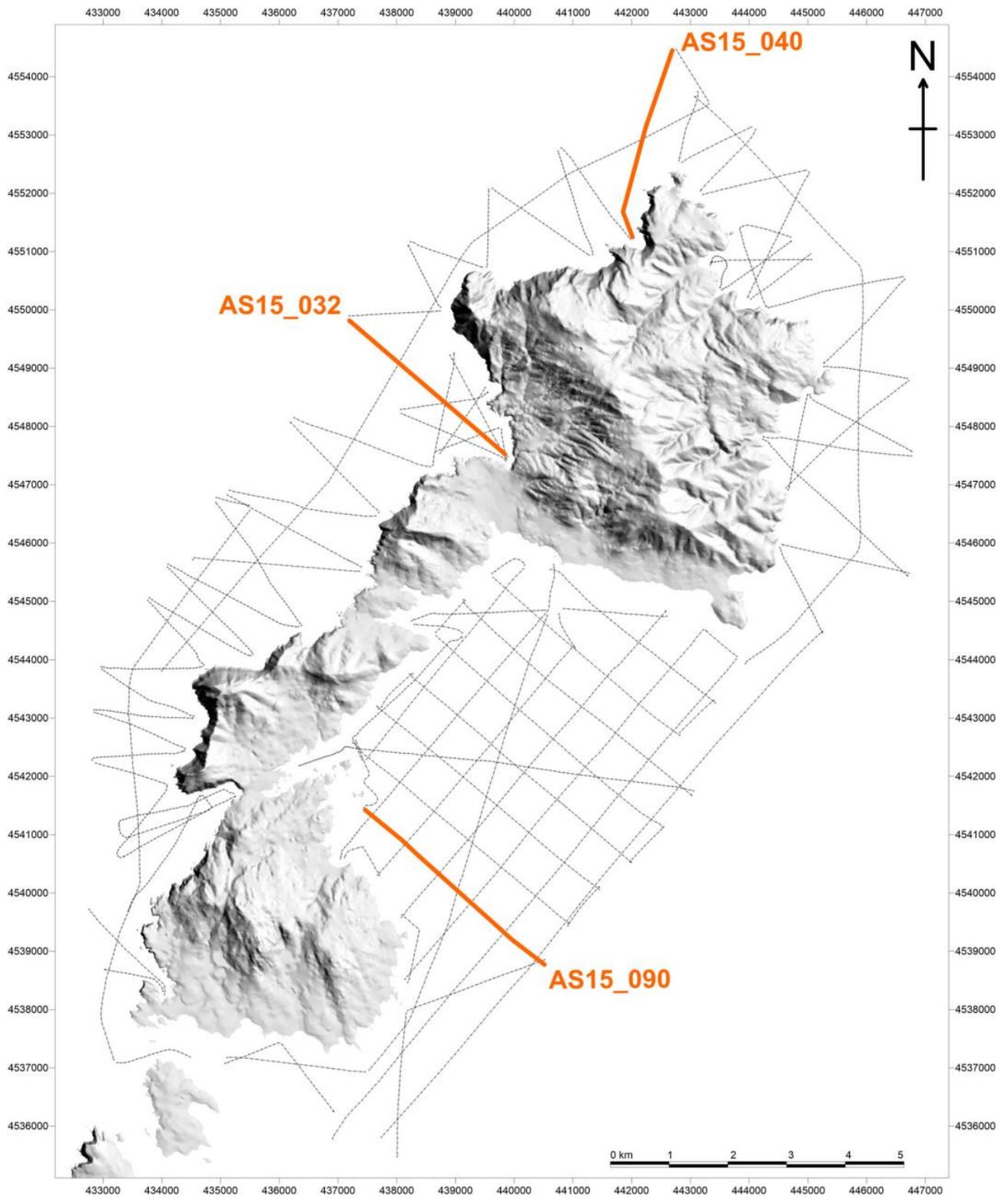


Figura 3-1. Mappa di posizionamento dei profili sismici acquisiti. Immagine presa da Romeo et al., 2019.

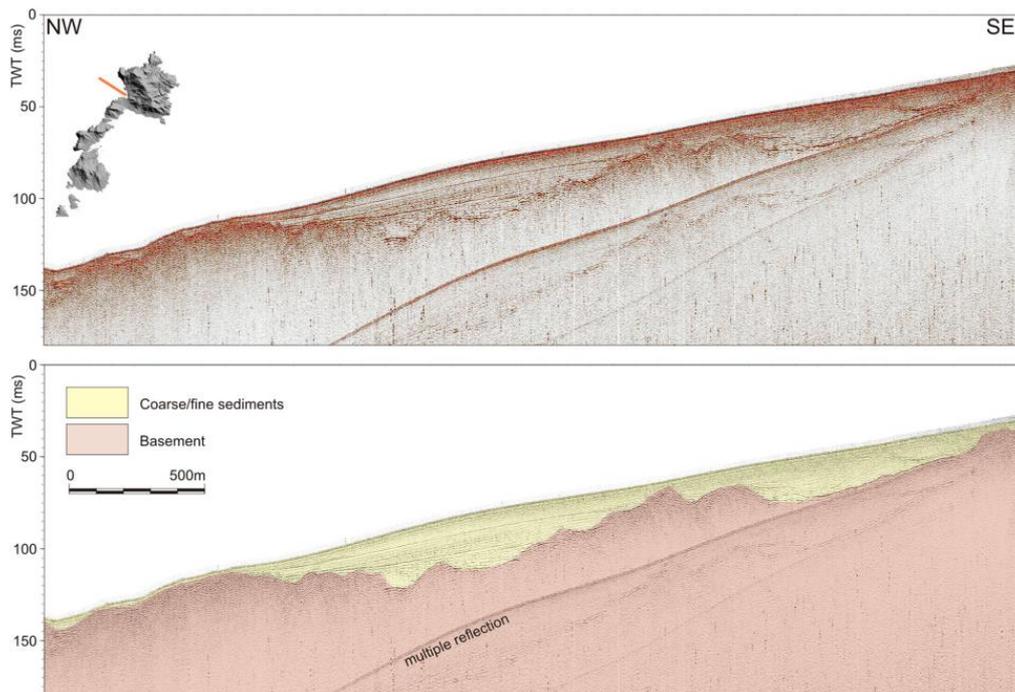


Figura 3-2 Profilo sismico non interpretato (sopra) e interpretato (sotto) acquisito nella baia di Porto Mannu della Reale, dove sono stati rilevati depositi spessi circa 27 m. La parte superiore del del basamento roccioso (marcato in rosa) è caratterizzata da un segnale acustico ben riconoscibile alla base di depositi, che risultano organizzati in strati sottili piano-paralleli che si sovrappongono. Immagine da Romeo et al., 2019.

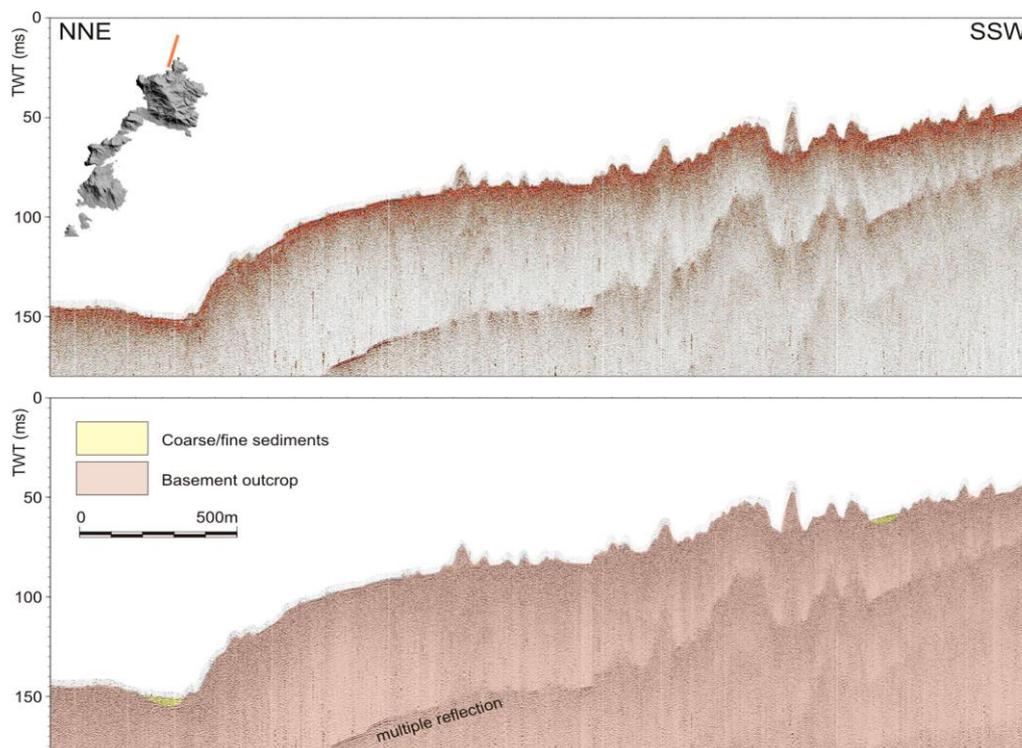


Figura 3-3 Profilo sismico non interpretato (sopra) e interpretato (sotto) acquisito nel settore settentrionale dell'area di studio, dove il basamento è ampiamente affiorante e caratterizzato da rilievi e depressioni ricoperte di sedimenti fino a 15 m di altezza. Immagine da Romeo et al., 2019.

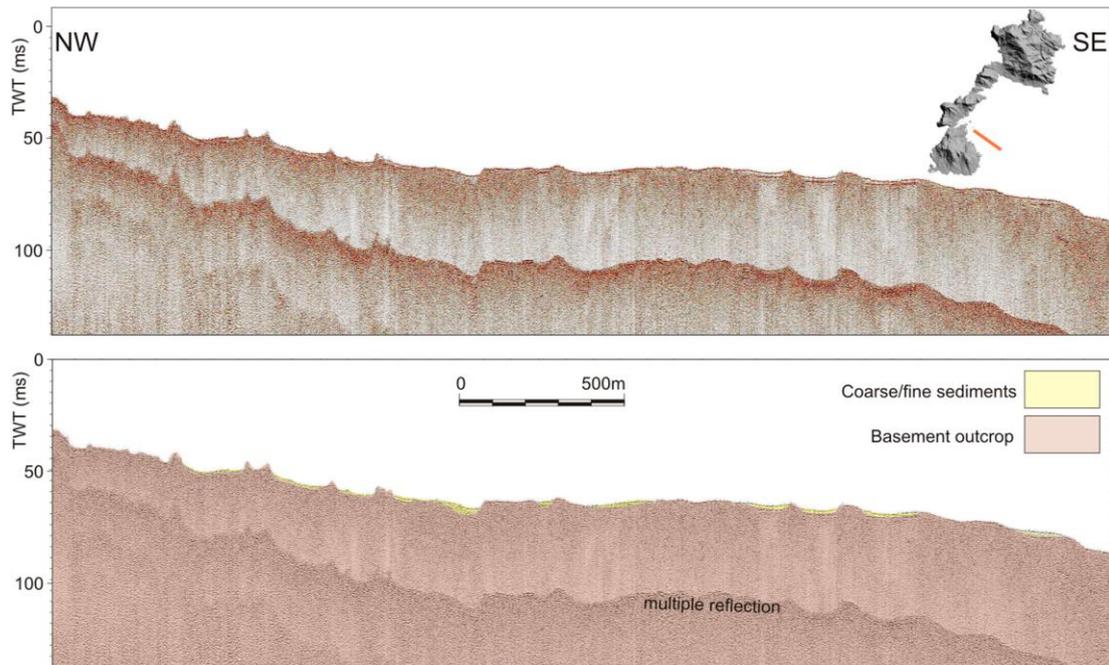


Figura 3-4 Profilo sismico non interpretato (sopra) e interpretato (sotto) acquisito nel settore settentrionale dell'area di studio, dove il basamento è ampiamente affiorante e caratterizzato da rilievi e depressioni ricoperte di sedimenti fino a 15 m di altezza. Immagine da Romeo et al., 2019.

3.2.2 Risultati

I dati sismici ad alta risoluzione hanno consentito di individuare la posizione del basamento roccioso sia nel sottofondo che quello affiorante, caratterizzato da un segnale acustico opaco e non filtrante. Inoltre è stato possibile distinguere i depositi sabbiosi riuscendo a discriminare la dimensione dei sedimenti a grana fine da quelli a grana grossa.

Nella parte settentrionale dell'area di studio, il basamento è ampiamente affiorante ed è costituito da rilievi a volte ricoperti di sedimenti spessi fino a 15 m (Figura 3-3). Nelle aree centrali e meridionali, i sedimenti si riscontrano normalmente depositati tra i bassorilievi del basamento, caratterizzato da una morfologia più uniforme rispetto al settore settentrionale.

In particolare, i dati sismici hanno evidenziato la presenza di una o più sequenze sedimentarie, caratterizzate da diverse facies acustiche, che sono delimitate sia alla base che alla sommità da orizzonti con terminazioni di on-lap e down-lap.

La mappa degli spessori (Figura 3-5), mette in evidenza le differenze tra il settore occidentale e quello orientale dell'area di studio. Il settore orientale, in particolare all'interno di Rada della Reale, lo spessore del sedimento varia notevolmente e si possono identificare due aree distinte: nella parte meridionale di Rada della Reale, il basamento è in gran parte affiorante, la copertura del sedimento è molto sottile (0,5-1 m) (Figura 3-4); viceversa, nella parte settentrionale di Rada della Reale, predominano spessori con i sedimenti da fini a grossolani.

Il settore occidentale è invece caratterizzato dalla presenza dei depositi sedimentari maggiori, sia in estensione che in spessore. Il deposito di Cala Scombro di Fuori ha uno spessore massimo di circa 17 m, con la presenza di sedimenti ben stratificati sovrapposti al basamento.

Lo spessore del sedimento più elevato è stato registrato sul profilo sismico mostrato in figura 3-19 nella baia di Porto Mannu della Reale, dove il basamento è ricoperto da depositi spessi 27 m.

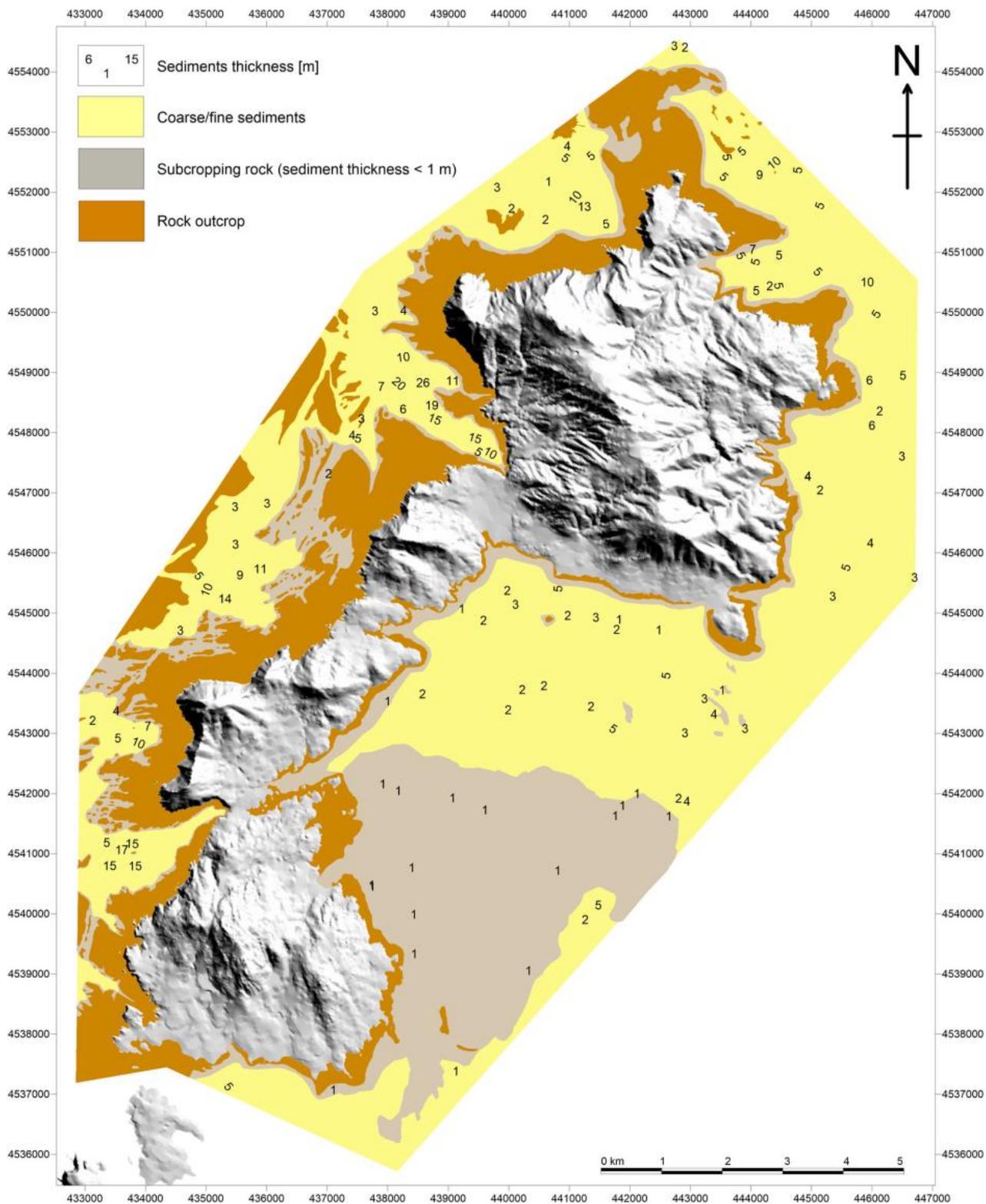


Figura 3-5 la mappa rappresenta la tipologia e la distribuzione degli spessori dei sedimenti identificati sulla piattaforma interna dell'isola dell'Asinara. Immagine da Romeo et al., 2019.

3.3 Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena – Porto della Madonna –

I profili sismici reinterpretati e descritti in questo report sono stati acquisiti durante lo svolgimento delle attività previste dalla convenzione operativa stipulata nel 2015 fra il Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena e il C.N.R. (Report interno CNR, 2016). Si sottolinea che i risultati ottenuti non sono stati confrontati e calibrati con informazioni di verità mare come carotaggi, perché non disponibili e non previsti nella convenzione sopra citata. L'interpretazione descritta di seguito si è basata solo sui dati sismici disponibili.

3.3.1 Elementi geologici

L'area in studio del Porto della Madonna, è ubicata all'interno del Parco Nazionale de La Maddalena (Sardegna settentrionale), si sviluppa per una superficie di ~1.29 kmq in un piccolo specchio di mare compreso tra il complesso di isole Razzoli, Santa Maria e Budelli. Nell'area d'indagine sono presenti essenzialmente rocce granitoidi, in particolare monzograniti inequigranulari, localizzati durante gli stadi post-collisionali dell'orogenesi post-varisica, tra il Carbonifero superiore ed il Permiano inferiore.

Solo nella punta meridionale di Caprera, nella porzione settentrionale dell'isola di Santa Maria, nelle isolette di Corcelli e Barrettini 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 falcature che costellano le parti più interne delle principali insenature. Queste spiagge note come pocket-beaches sono soggette a scarso ripascimento vista la mancanza di importanti corsi d'acqua e si conservano grazie all'ambiente protetto in cui si trovano. Le sabbie rispecchiano in maniera evidente la litologia dell'entroterra; la loro composizione è essenzialmente arcossica, costituita nell'ordine da: quarzo, feldspati alcalini, plagioclasti 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).

Sulla piattaforma continentale interna ed esterna e sulla scarpata continentale sono presenti lineazioni e dislocamenti tettonici prodotti dalle diverse fasi orogenetiche e la configurazione

morfologica prodotta dalle azioni di modellamento che hanno interessato questo settore della Sardegna settentrionale.

In particolare sulla piattaforma interna sono stati rilevati:

- Paleo alvei;
- Linee di drenaggio ed antiche valli, profondamente incise dai paleoalvei 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 da 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).

3.3.2 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 maggiore 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 morte. 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).

3.3.3 Metodi

3.3.3.1 Acquisizione profili sismici

Nell'anno 2016, grazie ad una convenzione operativa 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 3-6) 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 SEG-Y.

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.

Di seguito sono riportate le caratteristiche strumentali del SES-2000.

Tabella 3-1: 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 frequencies	low 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.



Figura 3-6: Mappa di posizionamento dell'area studiata (A); rotte seguite per l'esecuzione delle linee sismiche (B)

3.3.3.2 Interpretazione dei dati sismici

Le linee rilevate sono state interpretate allo scopo di individuare e digitalizzare i principali riflettori acustici visibili nell'area di indagine. I principali elementi individuati sono la Posidonia oceanica, la matre morta, sedimenti e la roccia. Tali riflettori 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 matre viva di Posidonia oceanica che assorbe quasi completamente il segnale, rendendo poco evidenti eventuali riflettori 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 riflettori.

L'analisi di immagini aeree, abbinata a informazioni pregresse, hanno permesso di fornire una interpretazione qualitativa e semi-quantitativa delle facies acustiche .

3.3.4 Risultati

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.

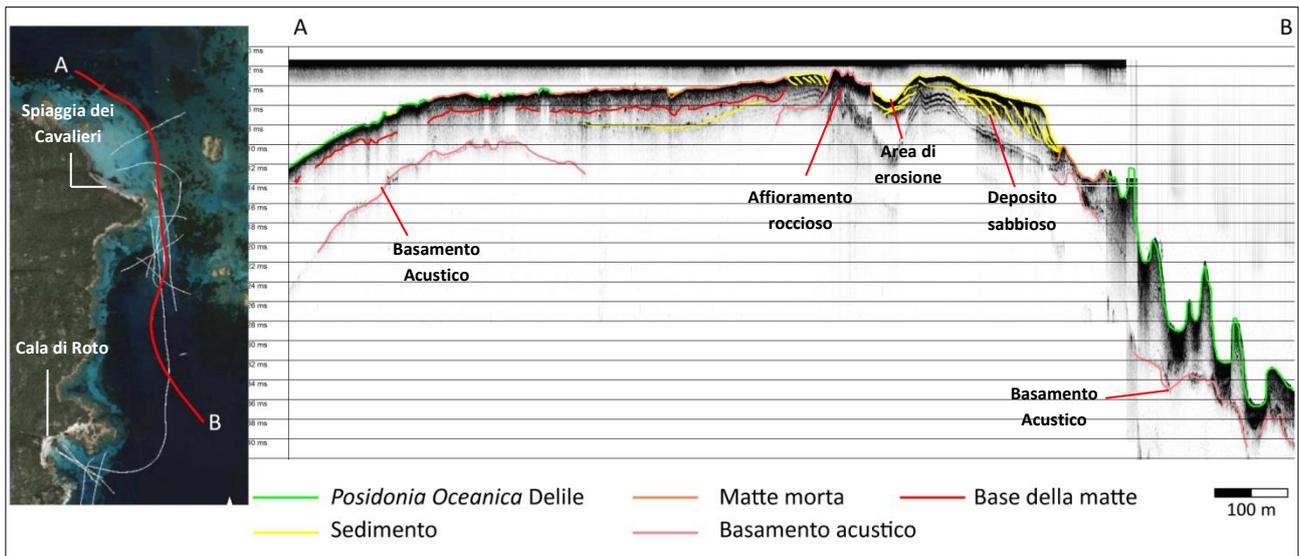


Figura3-7: Interpretazione della linea 103334SES_LF

Il profilo sismico “103334SES_LF” mostrato in Figura 3-7, 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 nella figura 3), riduce la penetrazione del segnale acustico, per questo motivo, i riflettori 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 in figura 3) 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 riflettori. 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.

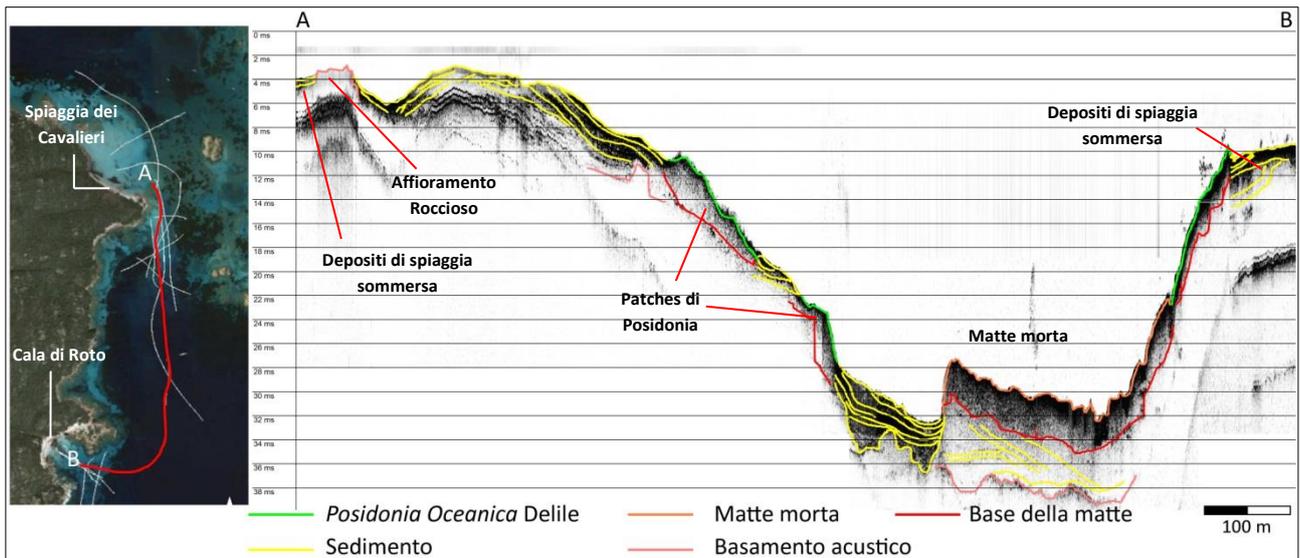


Figura 3-8: interpretazione linea 112727SES_LF

La linea "112727SES_LF" (Figura 3-8) 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 riflettori 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 depositi 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.

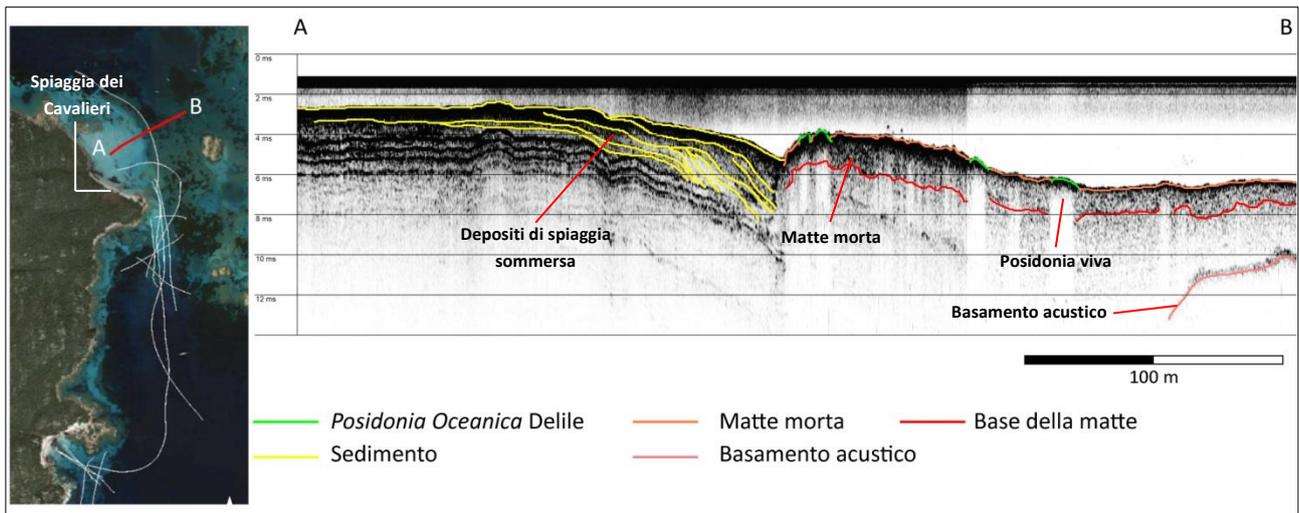


Figura 3-9: interpretazione della linea 105307SES_LF

La linea sismica illustrata nella Figura 3-9, 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 riflettori 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.

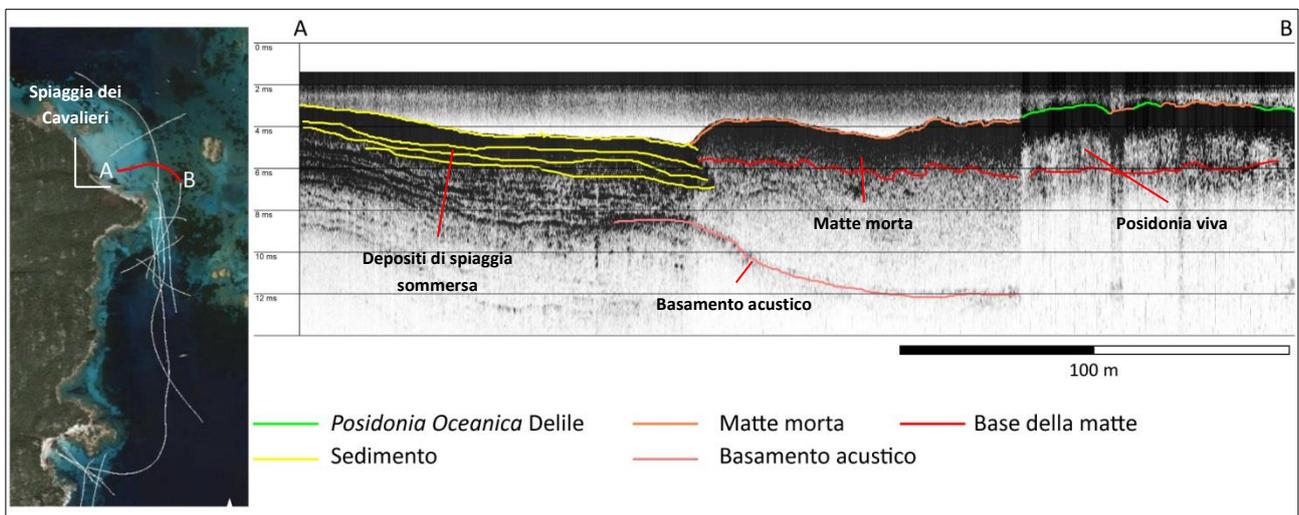


Figura 3-10: interpretazione della linea 105901SES_LF

Il profilo sismico "105901SES_LF" illustrato nella Figura 3-10, attraversa una fascia caratterizzata da depositi di spiaggia sommersa ben sviluppati di spessore indeterminabile a causa della multipla che copre eventuali riflettori, 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 nella figura 5) 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.

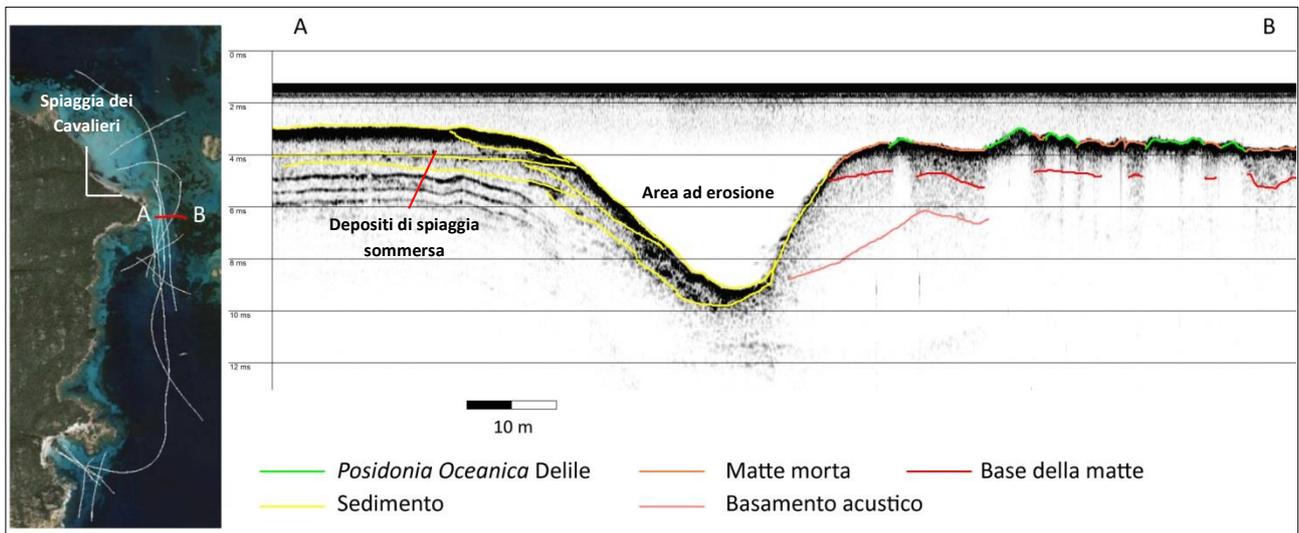


Figura 3-11: interpretazione della linea 111219SES_LF

La sezione sismica “111219SES_LF” illustrata in Figura 3-11 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 7) 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 riflettori 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

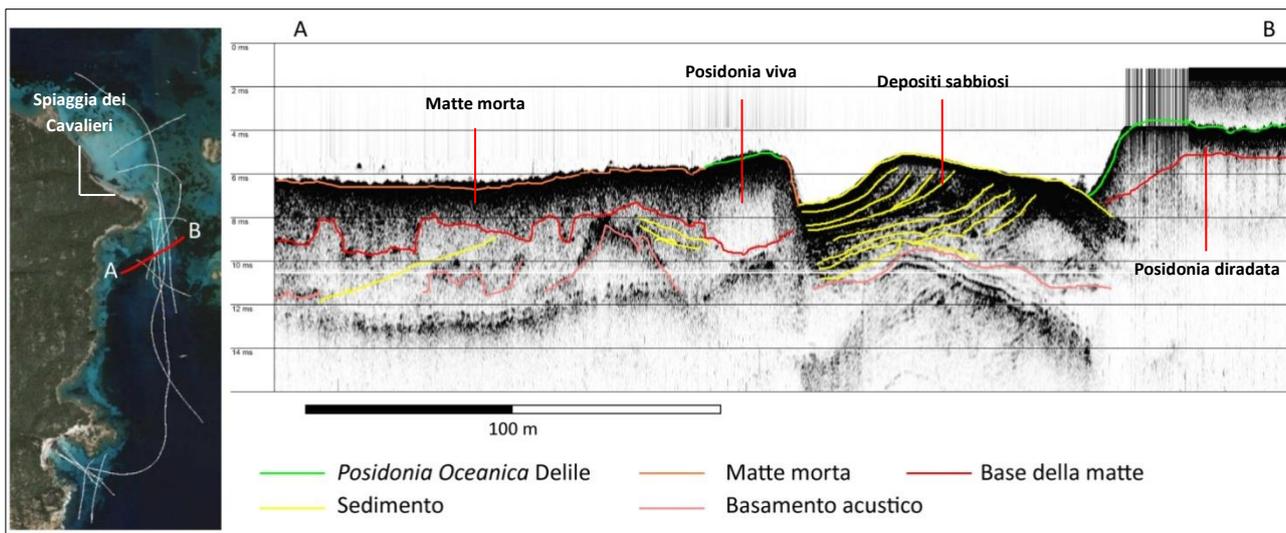


Figura 3-12: interpretazione della linea 110901SES_LF

La sezione sismica “110901SES_LF” mostrata nella Figura 3-12 si estende per 228 m con un orientamento SudOvest- NordEst (dal Punto A al punto B - Figura 8). 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.

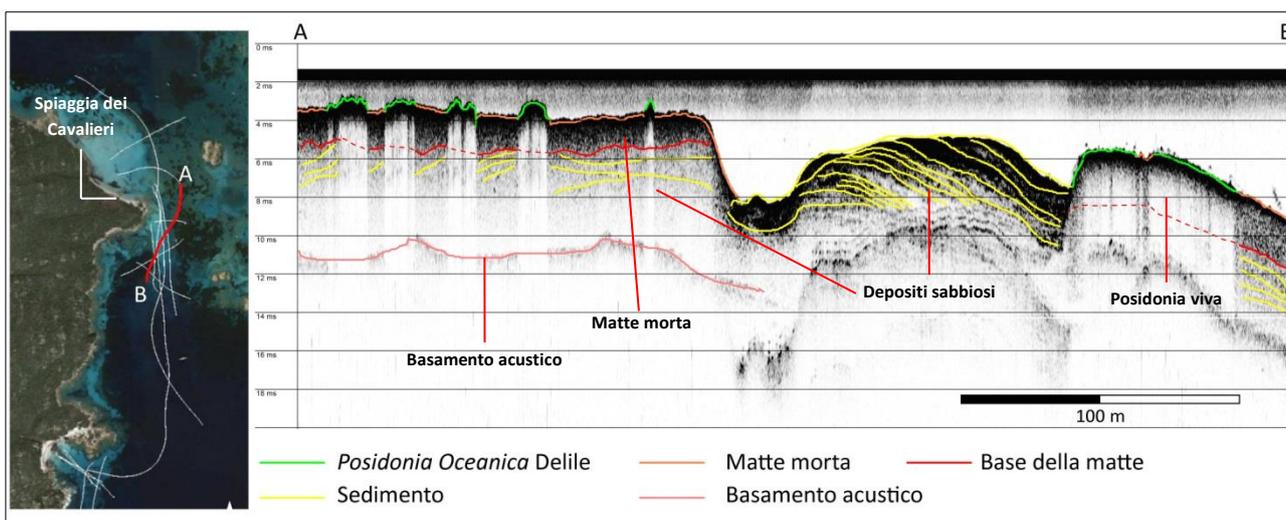


Figura 3-13: interpretazione della linea 110300SES_LF

La linea “110300SES_LF” illustrata in Figura 3-13 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 (marcatore arancione) e da sporadiche patch di posidonia viva (marcatore verde) in questa parte della linea gli spessori delle 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 riflettore 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.

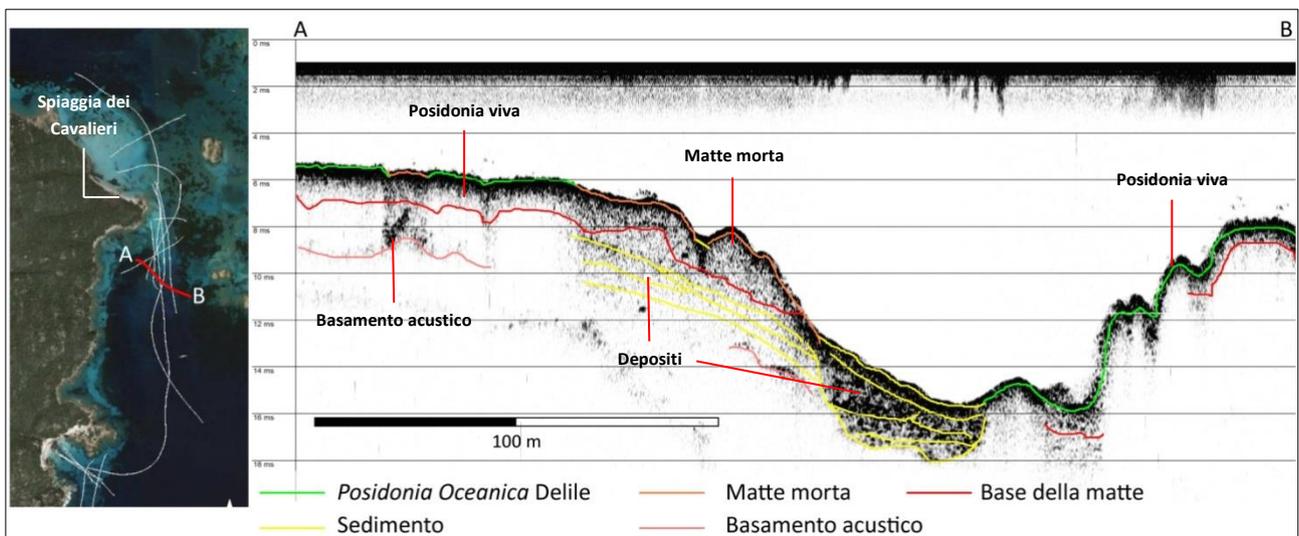


Figura 3-14: interpretazione della linea 111917SES_LF

La linea sismica “111917SES_LF” mostrata in Figura 3-14, è lunga circa 210 m. I primi 80 m del profilo sono caratterizzati dalla presenza di posidonia degradata. Gli spessori delle matte 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 riflettori. Nell'ultimo tratto del profilo, dove si riscontra posidonia diradata è possibile stimare spessori della matte di circa 0.80 m.

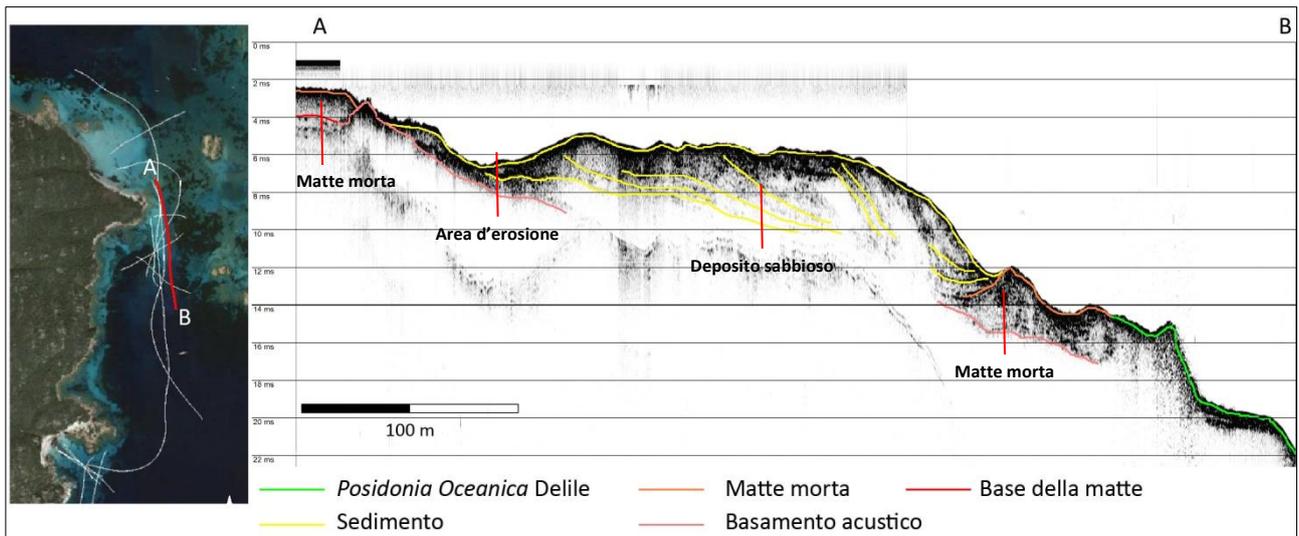


Figura 3-15: interpretazione della linea 112311SES_LF

La linea illustrata in Figura 3-15 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 clinostратificato (marcato in giallo) già rilevati nei precedenti profili (Figure 3, 4, 7, 8 e 9). 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 riflettore di base.

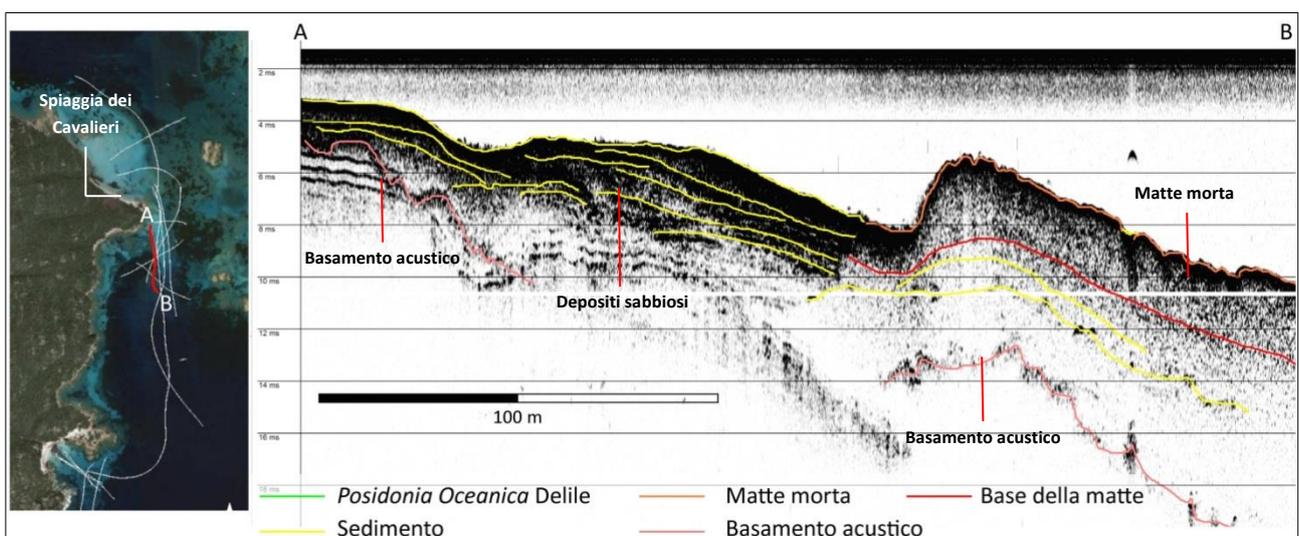


Figura 3-16: interpretazione della linea 111359SES_LF

La sezione sismica “111359SES_LF” illustrata in Figura 3-16 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 massimo 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.

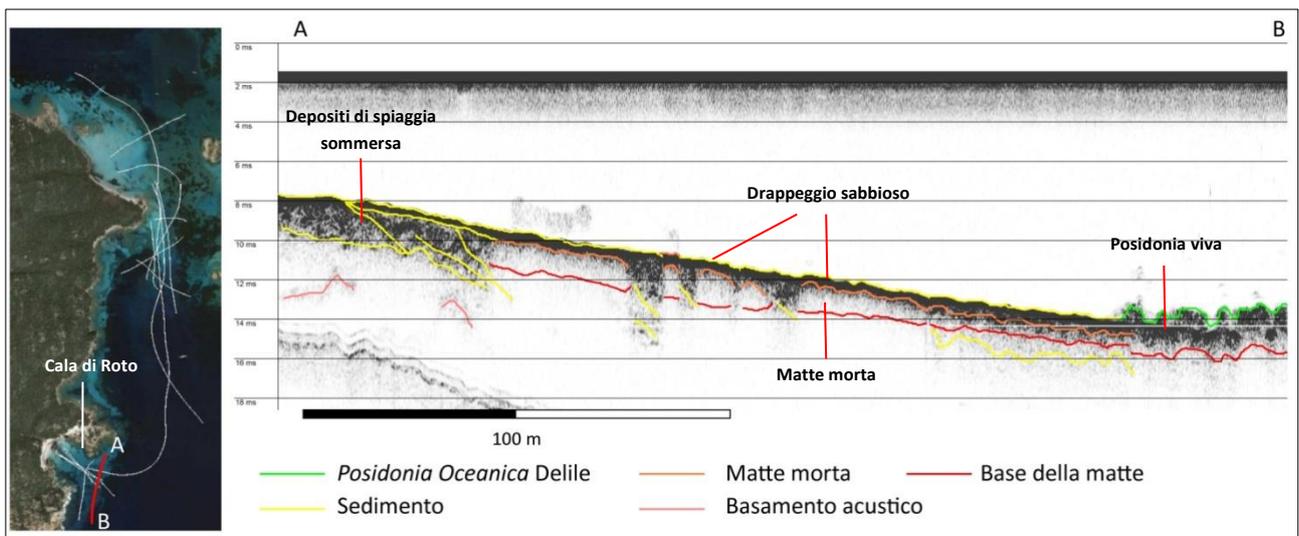


Figura 3-17: interpretazione della linea 114223SES_LF

La sezione “114223SES_LF” illustrata in Figura 3-17, 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.

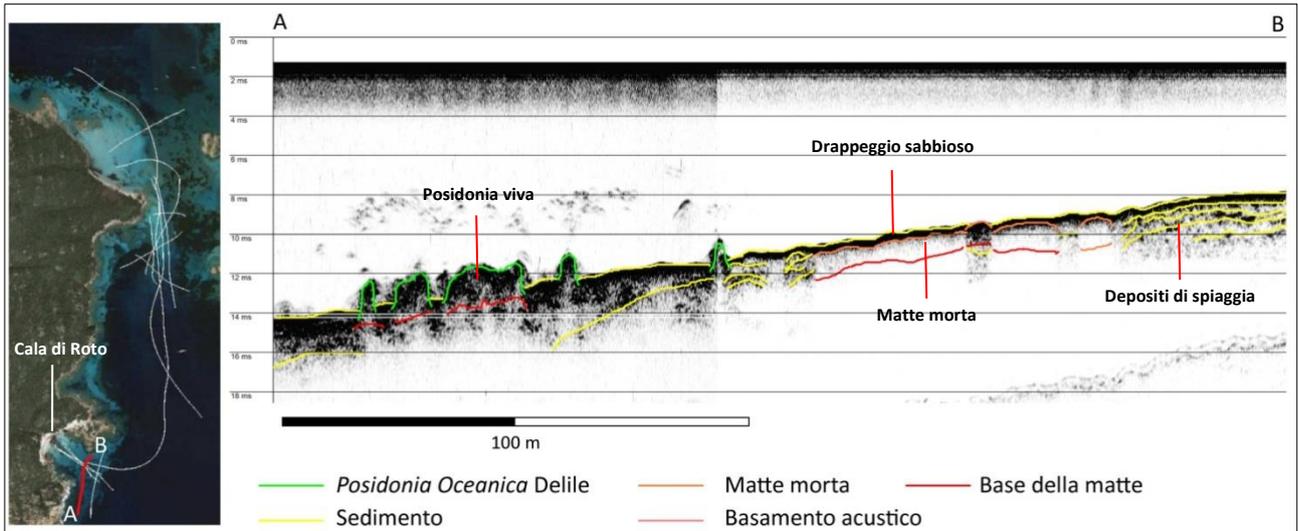


Figura 3-18: interpretazione della linea 114459SES_LF

La Figura 3-18 mostra il profilo sismico “114459SES_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 riflettore. 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.

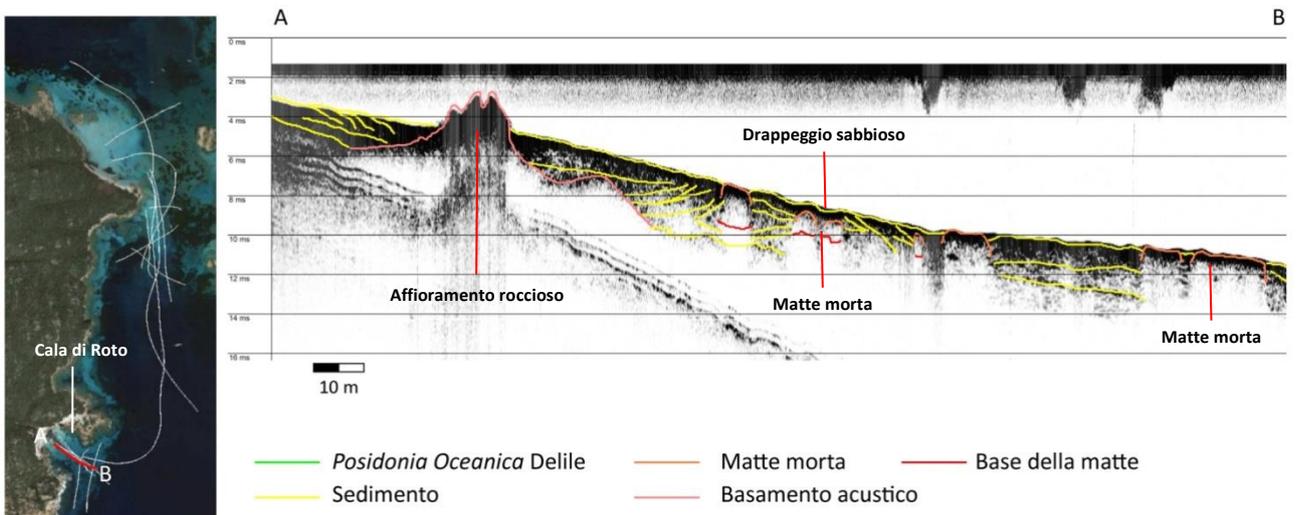


Figura 3-19: interpretazione della linea 120000SES_LF

La linea “120000SES_LF”, illustrata in figura 3-19, 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.

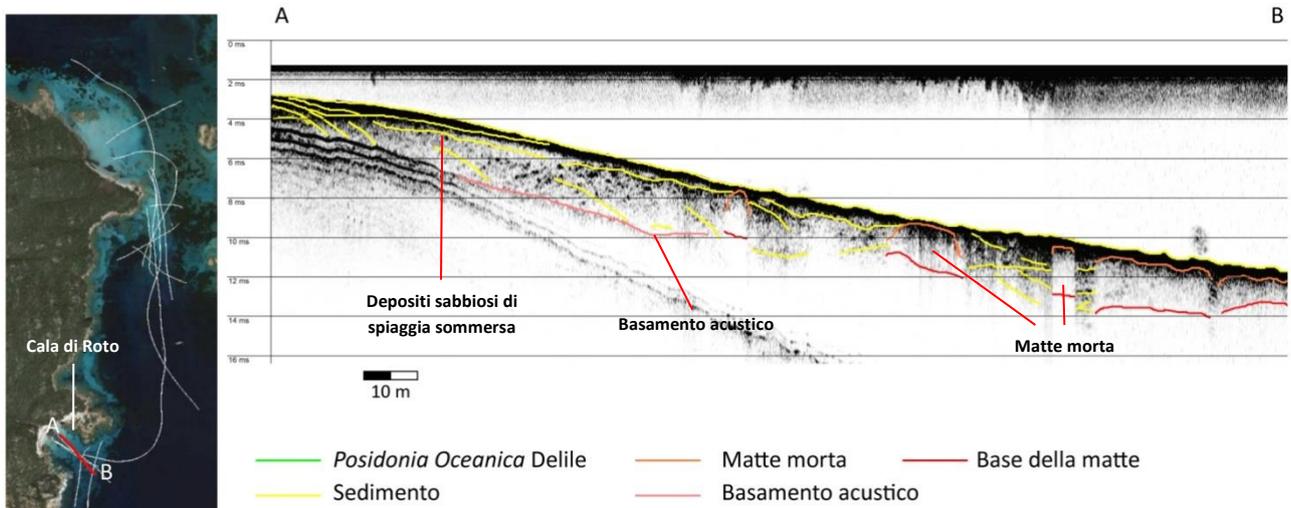


Figura 3-20: interpretazione della linea 120305SES_LF

La linea “120305SES_LF” illustrata in Figura 3-20, 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.

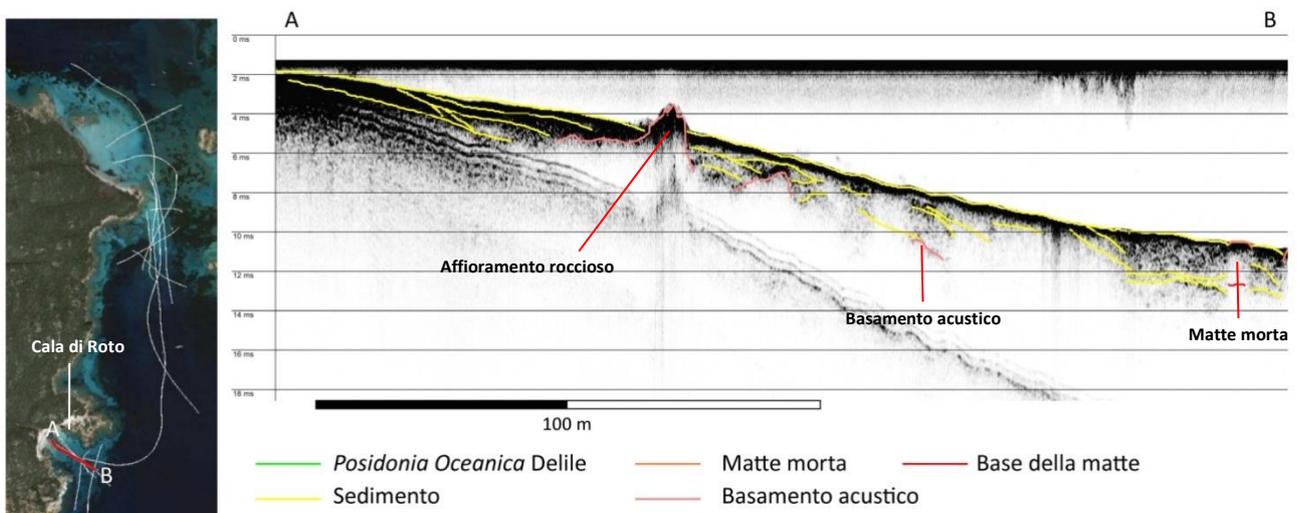


Figura 3-21: interpretazione della linea 120520SES_LF

La linea “120520SES_LF” illustrata in figura 3-21 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 depositi 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.

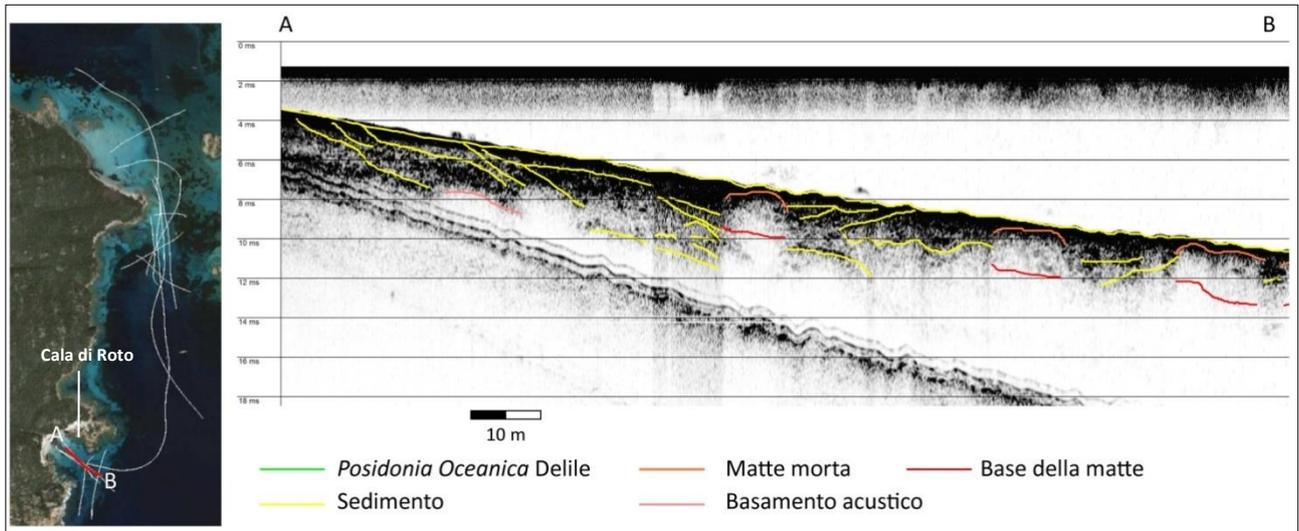


Figura 3-22: interpretazione della linea 120759SES_LF

La linea “120759SES_LF” illustrata in Figura 3-22 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.

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 quanto 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.

4.0 Dati Multibeam e backscatter del parco Nazionale dell'Arcipelago de la Maddalena

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.

4.1 Acquisizione dei dati batimetrici multibeam

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 sono riportate le specifiche tecniche dello strumento (Report CNR, 2016).

Tabella 4-1 caratteristiche multibeam

Frequency	200kHz 400kHz
Max ping rate	50Hz (± 1 Hz)
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	30 μ s – 300 μ s Continuous Wave 300 μ s – 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 4-1 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 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: $\pm(8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{baseline length})$ Vertical: $\pm(15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{baseline length})$
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 equi - distant 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 4-2, 4-3 e 4-4) 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 i dati di spazzate adiacenti (Report CNR, 2016).



Figura 4-2 la figura mostra le linee di navigazione percorse di fronte la spiaggia di Santa Maria. Immagine tratta da Report CNR, 2016.

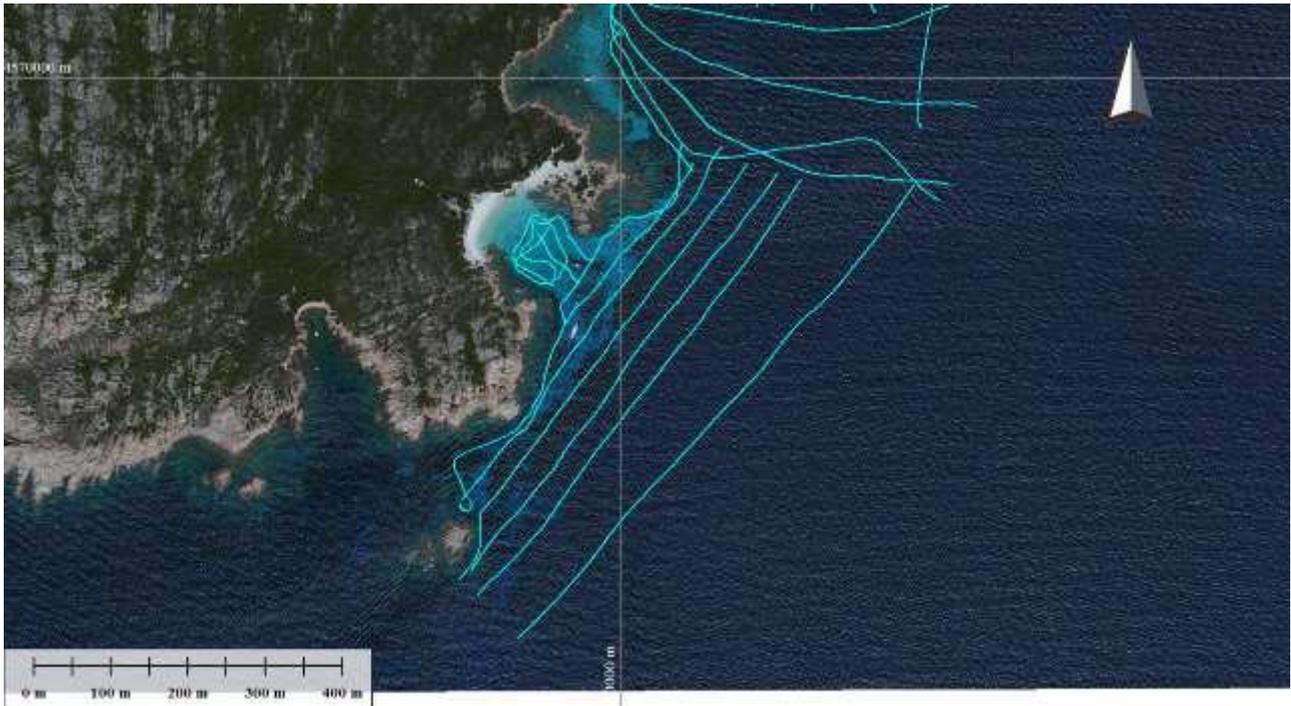


Figura 4-3 la figura mostra le linee di navigazione dell'acquisizione multibeam di fronte la spiaggia Rosa - Cala di Roto. Immagine tratta da Report CNR, 2016.



Figura 4-4 la figura mostra le linee di navigazione dell'acquisizione multibeam di fronte la spiaggia dei Cavalieri – Porto Madonna. Immagine tratta da Report CNR, 2016.

4.2 Risultati

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, anche se non richiesto dalla convenzione operativa, 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.

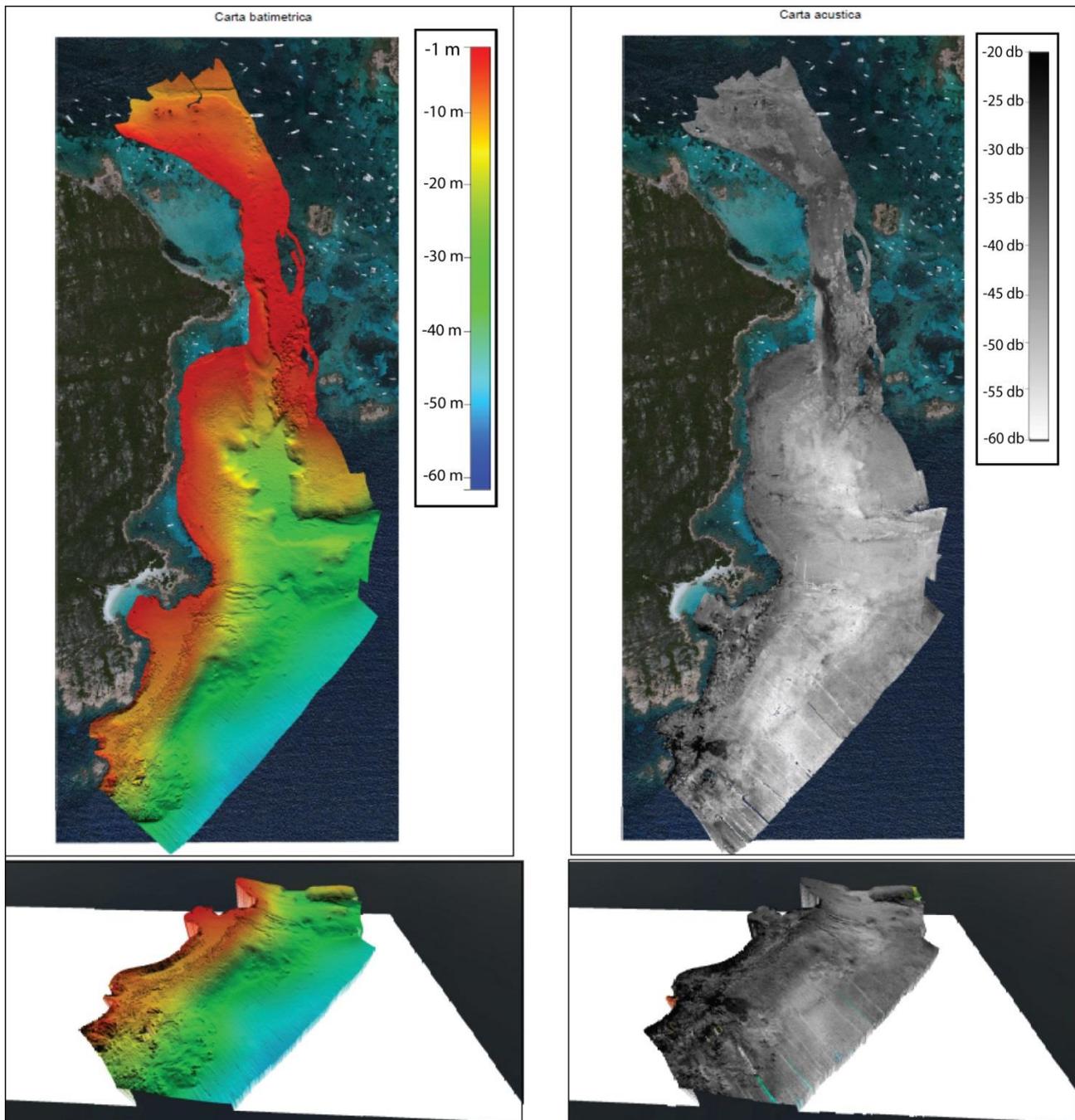


Figura 4-5 DTM del fondo mare e relativo mosaico acustico backscatter ottenuti con una risoluzione a 25 cm dai dati multibeam Reson Seabat 7125 del sito di Porto Madonna comprendente la Spiaggia Rosa e la Spiaggia del Cavalieri. Immagine modificata da Report CNR, 2016.

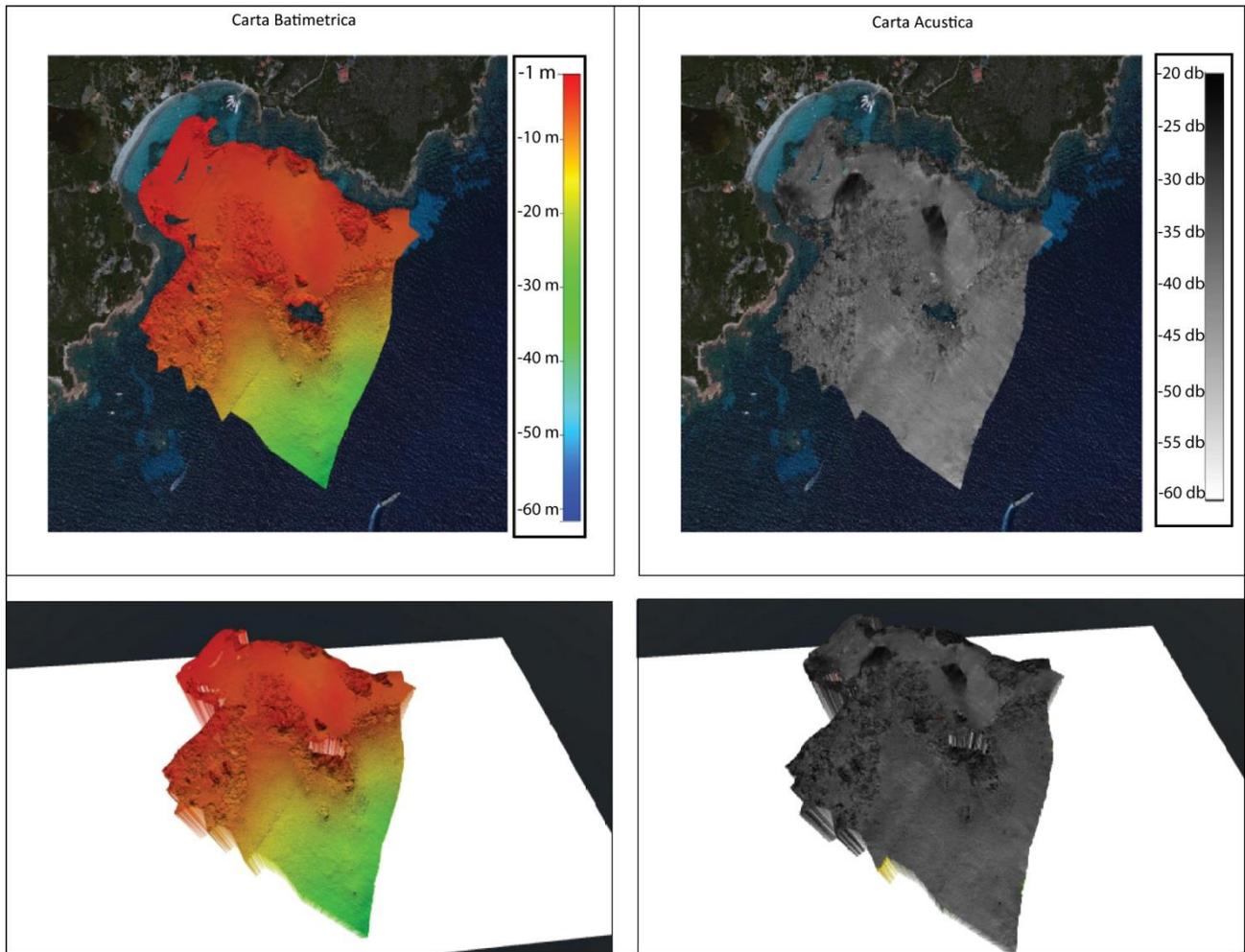


Figura 4-6 DTM del fondo mare e relativo mosaico acustico backscatter ottenuti con una risoluzione di 25 cm dai dati multibeam Reson Seabat 7125 della spiagge di Santa Maria. Immagine modificata da Report CNR, 2016.

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. & Salvatoril., 1996. Carta Geologica della Sardegna, Servizio Geologico Nazionale, Carmignani L. (ed.) Litografia Artistica Cartografica. 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 Cavaliere 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: Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna e 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>

ALLEGATO A

1.0 Modelli Idrodinamici

I modelli numerici di simulazione del moto ondoso e delle correnti costiere sono stati eseguiti per completare la caratterizzazione climatica delle aree di studio. I modelli che verranno presentati di seguito non vogliono e non possono essere di supporto alle possibili progettazioni ingegneristiche ma vogliono fornire un quadro qualitativo dei possibili scenari idrodinamici generati dagli eventi d'onda più significativi.

I modelli idrodinamici sono stati eseguiti con il software suite Delft3D 4.04.01 utilizzando i moduli di simulazione del moto ondoso WAVE versione 3.07.00 e di simulazione idrodinamica FLOW versione 3.59.01.57433.

IL modulo WAVE utilizza il modello spettrale SWAN (Simulating WAVes Nearshore) di terza generazione (Booij et al, 1999;.. Ris et al, 1999). La modellizzazione della trasformazione d'onda comprende la propagazione delle onde, la generazione dal vento, l'interazione onda-onda non lineare, la dissipazione di potenza e la rifrazione.

Il modulo FLOW è un programma di simulazione idrodinamica (e di trasporto) multidimensionale (2D e 3D) che computa correnti e fenomeni di trasporto generati dalle forzanti meteorologiche.

1.1 Impostazioni

Le griglie computazionali utilizzate per l'applicazione del modello, ricoprono i paraggi costieri delle aree di studio e i settori marini prospicienti. I valori batimetrici utilizzati sono relativi al data set batimetrico GEBCO-2008 (<https://www.gebco.net/>). Viste le dimensioni delle aree modellizzate e la risoluzione del dato batimetrico disponibile, le griglie sono state realizzate con una risoluzione spaziale di 200 m.

I dati climatici di input utilizzati per implementare le boundary condition dei vari scenari simulati sono stati estratti direttamente dalla griglia del modello hindcast di Copernicus.

Sono stati simulati due tipi di eventi meteomarinari per ogni area di studio, i primi sono i casi estremi che presentano le onde più alte, i secondi sono quelli ritenuti tipici e più significativi. Gli eventi significativi sono stati individuati in base alla frequenza di accadimento, alla durata (minima di 6 ore) e all'altezza d'onda significativa (H_s) minima uguale al doppio dell'altezza significativa media annuale (Mendoza & Jimenez, 2004).

1.2.1 Parametrizzazione del modello SWAN

Tabella 1-1 Parametri fisici impostati ai modelli.

Parametri	Valori
Generation of formulations	Third generation
Bottom friction	Jonswap formulation, Coefficient 0.038
Depth-induced breaking	B&J model, $\alpha=1$, $\gamma=0.8$
Non-linear triad interactions	Inattivo
Wind growth	Attivo
Whitecapping	Activated - Komen
Quadruplets	Inattivo
Refraction	Attivo
Difraction	Attivo
Frequency shift	Attivo

Parametri climatici di settaggio, utilizzati:

- Altezza d'onda significativa - $H_s = H_{1/3}$: Media del 1/3 delle onde più alte registrate; di solito coincide con l'altezza d'onda osservata.
- Direzione - Dir: direzione di provenienza del moto ondoso.
- Periodo di picco - T_p : Periodo d'onda al quale è associato il maggior contenuto energetico dell'onda stessa.
- Directional spreading: parametro che rappresenta lo stato di formazione dell'onda, es. onda in scaduta (10°), onda di mare vivo (30°) ecc.

La tabella 1-2 mostra i dati sintetici rappresentativi degli eventi che sono stati simulati nelle aree di studio del progetto.

Simulazione	Asinara			Maddalena			Cilento		
	H_s (m)	Dir ($^\circ$ N)	T_p (sec)	H_s (m)	Dir ($^\circ$ N)	T_p (sec)	H_s (m)	Dir ($^\circ$ N)	T_p (sec)
I	8	300	12.2	6.8	18	12	6.7	290	11
II	2.2	290	7.5	2.4	24	7.3	1.9	295	8.4
III	2.3	50	6.5	2.3	277	11.3	2	245	8.2

1.3 Simulazioni e risultati

Le simulazioni numeriche consentono di definire solo qualitativamente gli scenari idrodinamici generati dal moto ondoso, in quanto non sono stati raccolti dati per effettuare le validazioni necessarie a un'analisi qualitativa.

I risultati forniscono su grande scala una visione generale di insieme della magnitudo e della distribuzione del moto ondoso e delle correnti nelle aree di studio.

- Parco Nazionale dell'Asinara - SIMULAZIONE I - evento estremo da NW -

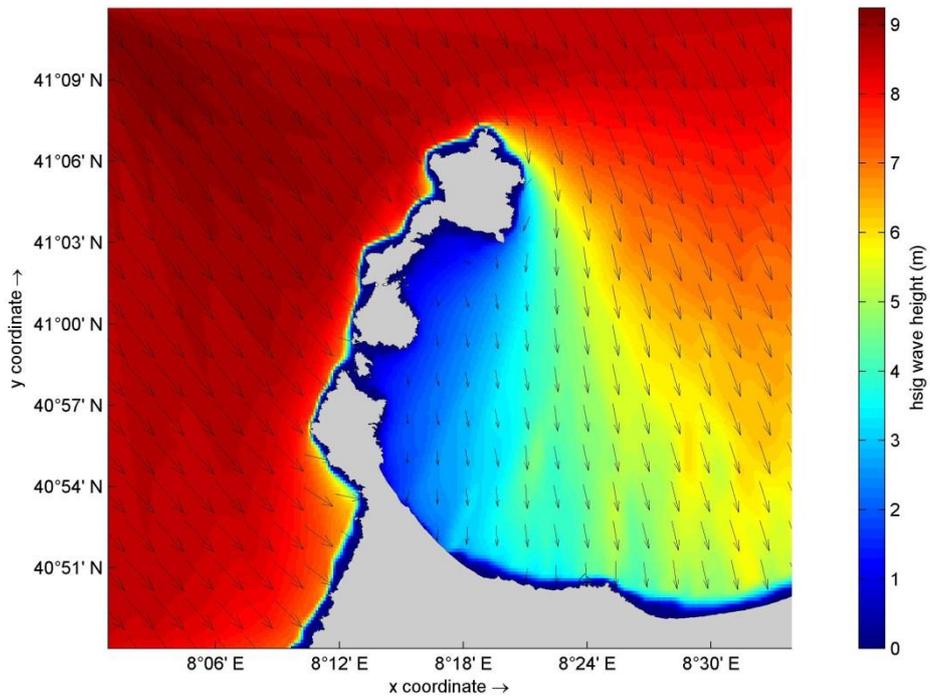


Figura 2 Campo d'onda del settore costiero dell'Asinara risultante dalla prima simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s = 8\text{m}$; $T_p = 12.2\text{ s}$; $\text{Dir} = 300^\circ\text{N}$

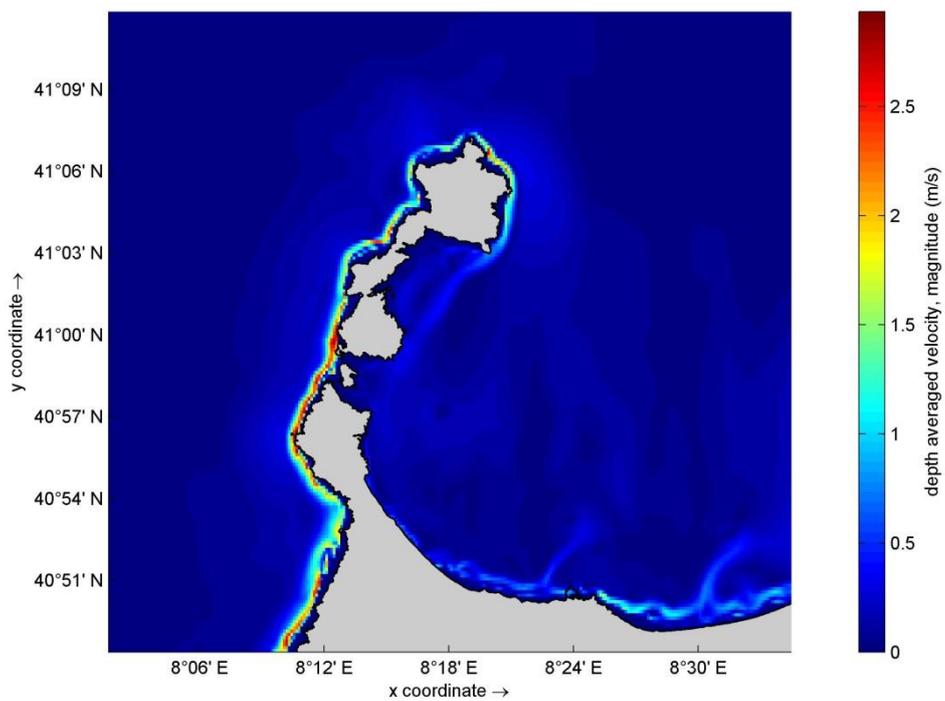


Figura 2 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la prima simulazione di onda estrema.

- Parco Nazionale dell'Asinara - SIMULAZIONE II - mareggiata media da NW -

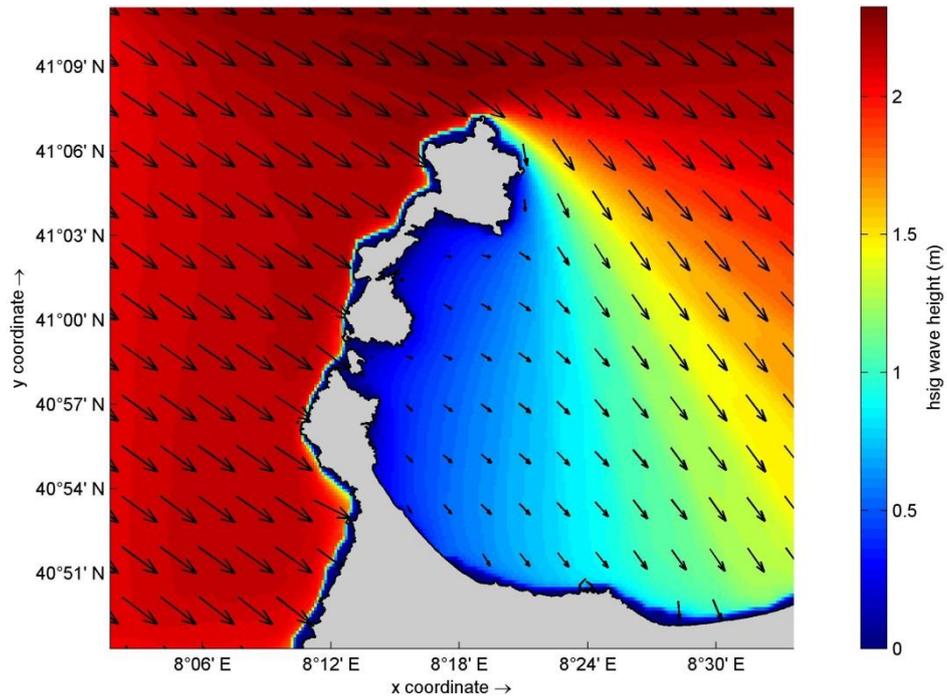


Figura 3 Campo d'onda del settore costiero dell'Asinara risultante dalla seconda simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s = 2.2\text{m}$; $T_p = 7.5\text{s}$; $\text{Dir} = 290^\circ\text{N}$

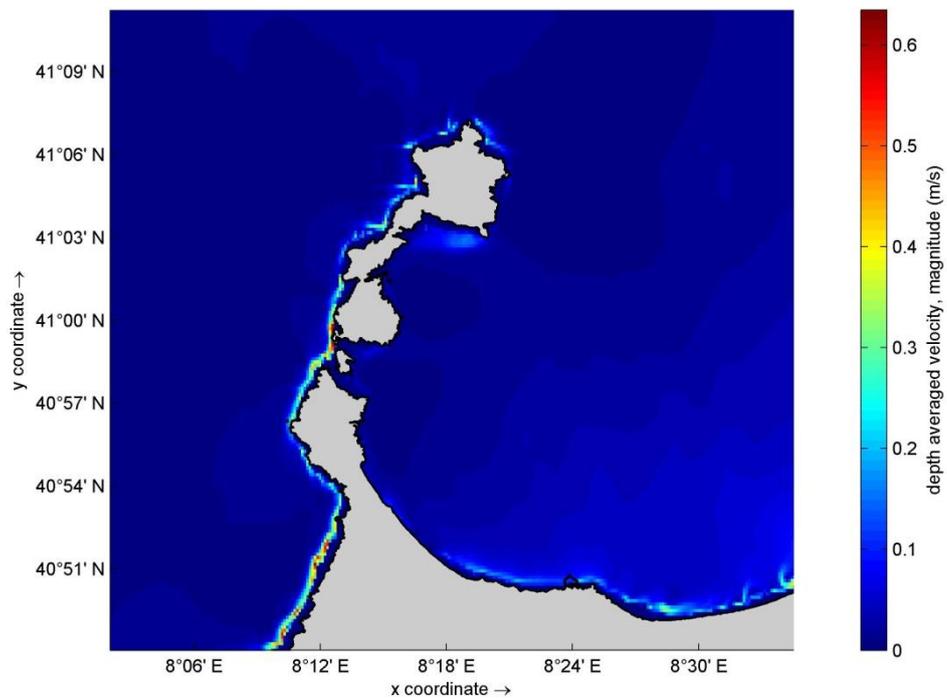


Figura 4 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la seconda simulazione per l'isola dell'Asinara: mareggiata media proveniente da NW.

- Parco Nazionale dell'Asinara - SIMULAZIONE III - mareggiata media da NE -

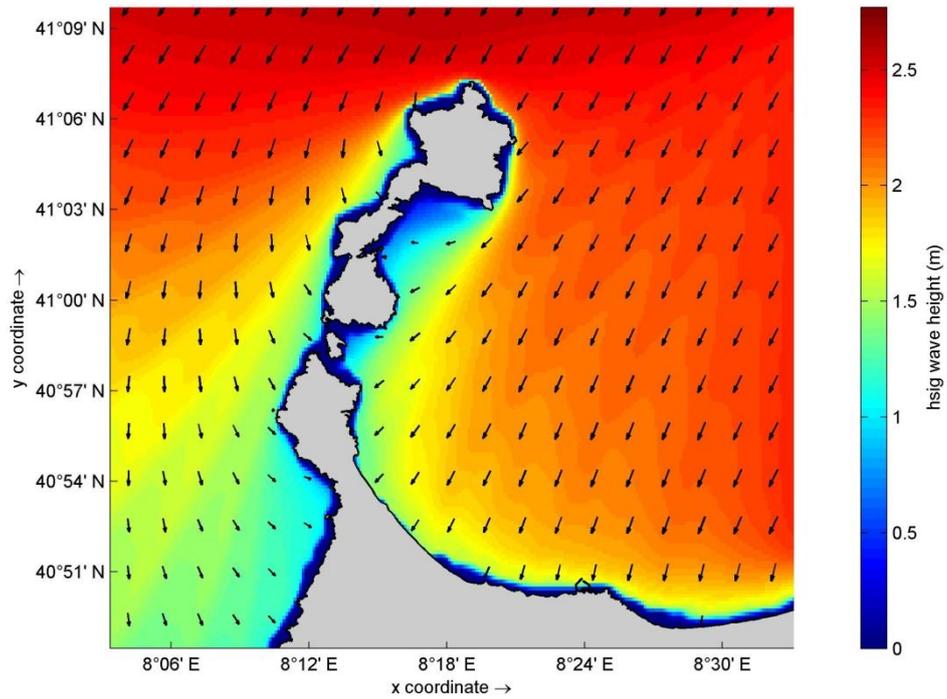


Figura 5 Campo d'onda del settore costiero dell'Asinara risultante dalla terza simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s = 2.3\text{m}$; $T_p = 6.5\text{s}$; $Dir = 50^\circ\text{N}$

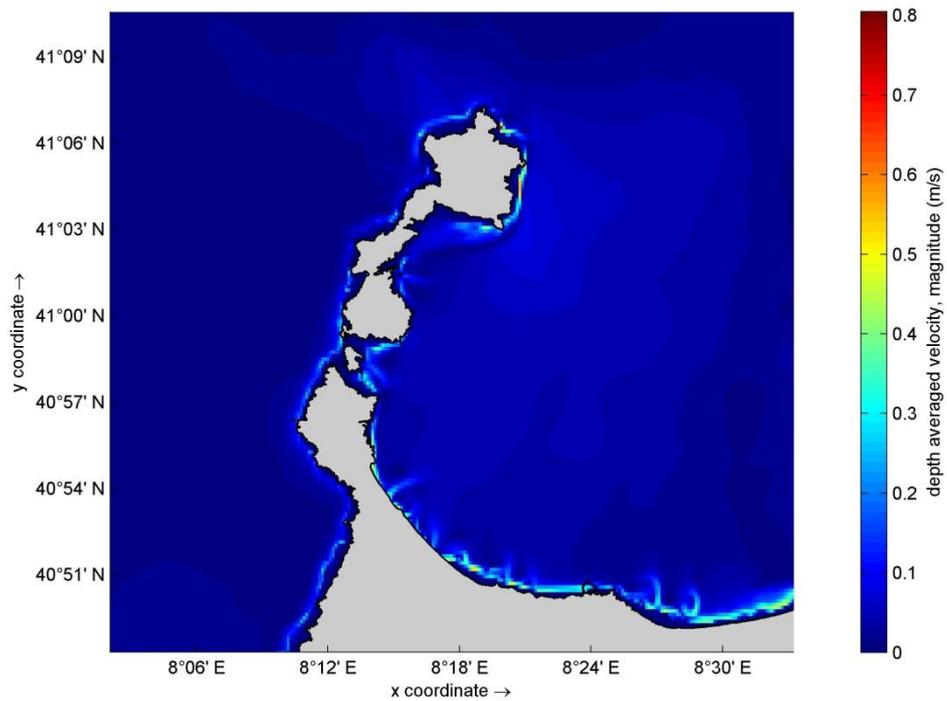


Figura 6 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la terza simulazione per l'isola dell'Asinara: mareggiata media proveniente da NE.

- Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena- SIMULAZIONE I - mareggiata estrema da NE-

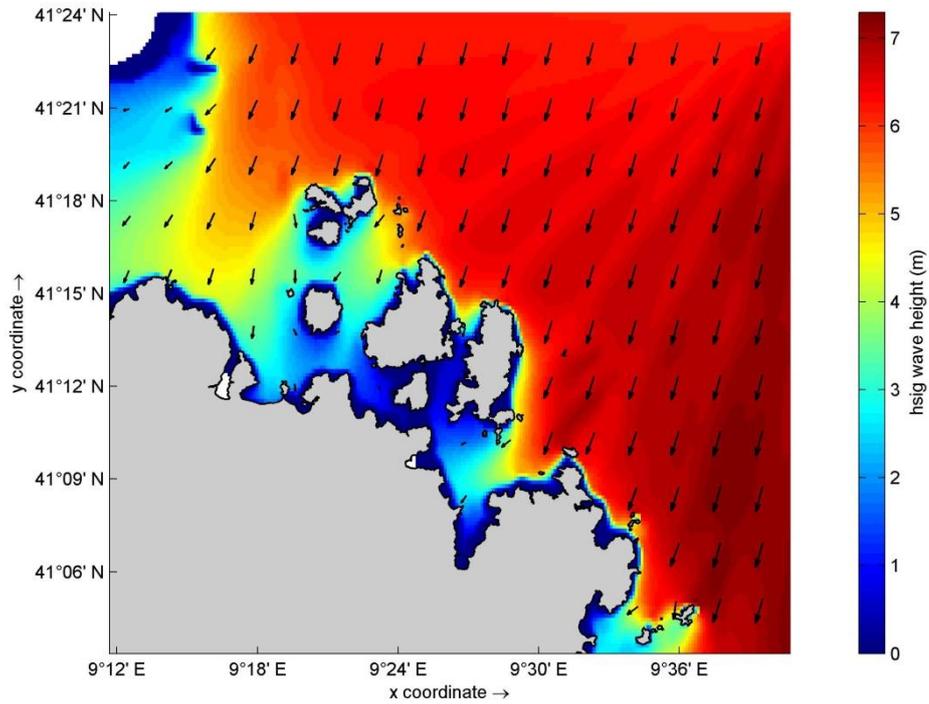


Figura 7 Campo d'onda del settore costiero dell'Arcipelago del La Maddalena risultante dalla prima simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s = 6.8\text{m}$; $T_p = 12\text{s}$; $\text{Dir} = 18^\circ\text{N}$

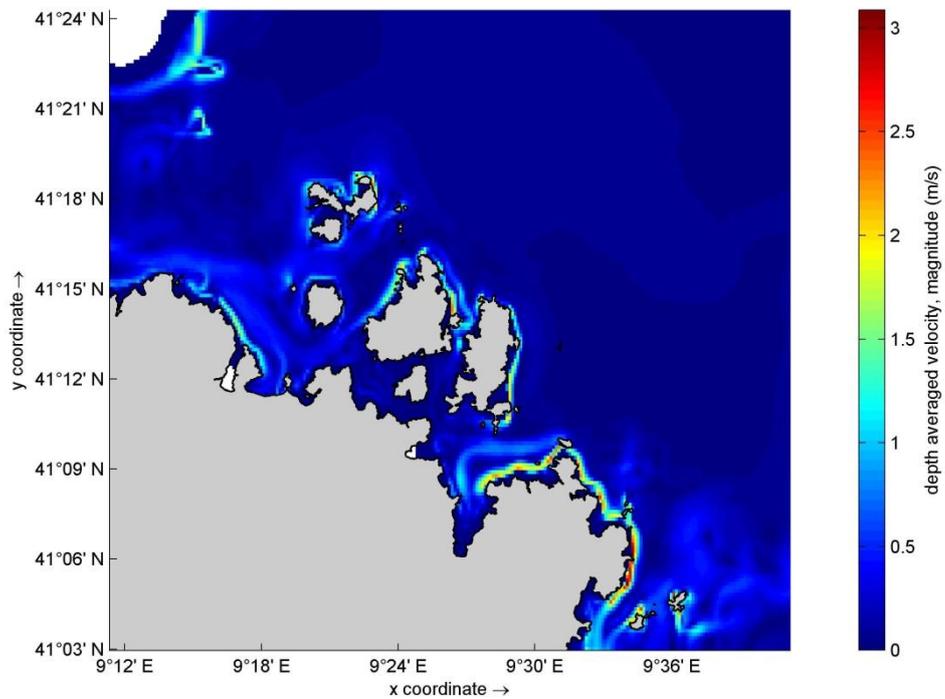


Figura 8 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la prima simulazione di onda estrema per l'arcipelago de La Maddalena.

- Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena- SIMULAZIONE II - mareggiata media da NE-

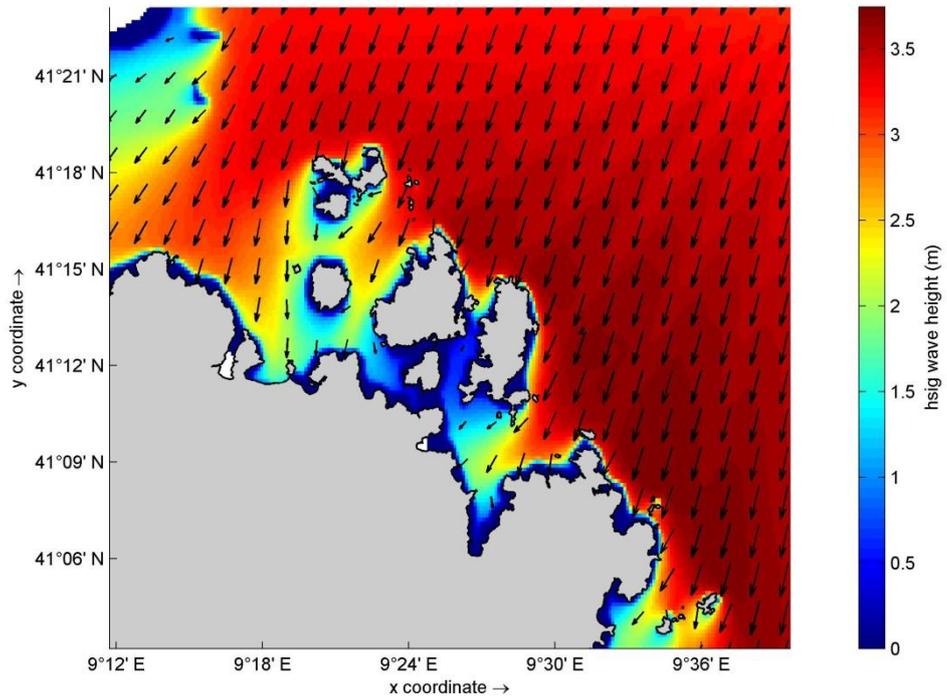


Figura 9 Campo d'onda del settore costiero dell'Arcipelago de La Maddalena risultante dalla seconda simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s = 2.4\text{m}$; $T_p = 7.3\text{ s}$; $\text{Dir} = 24^\circ\text{N}$

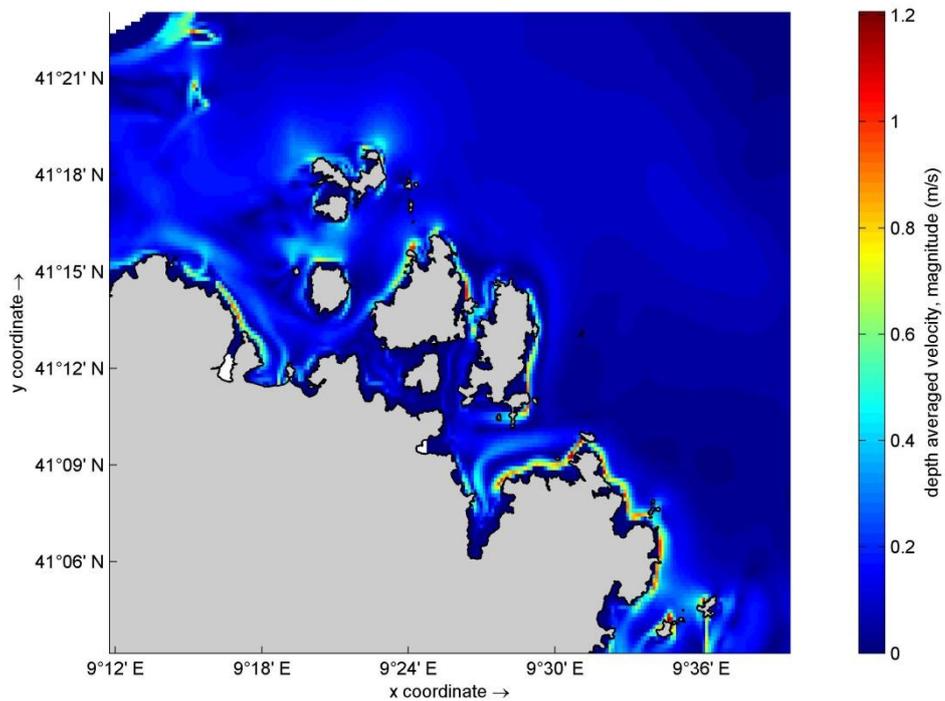


Figura 10 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la seconda simulazione per l'arcipelago de La Maddalena: mareggiata media proveniente da NE.

- Parco Nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena - SIMULAZIONE III - mareggiata media da W-

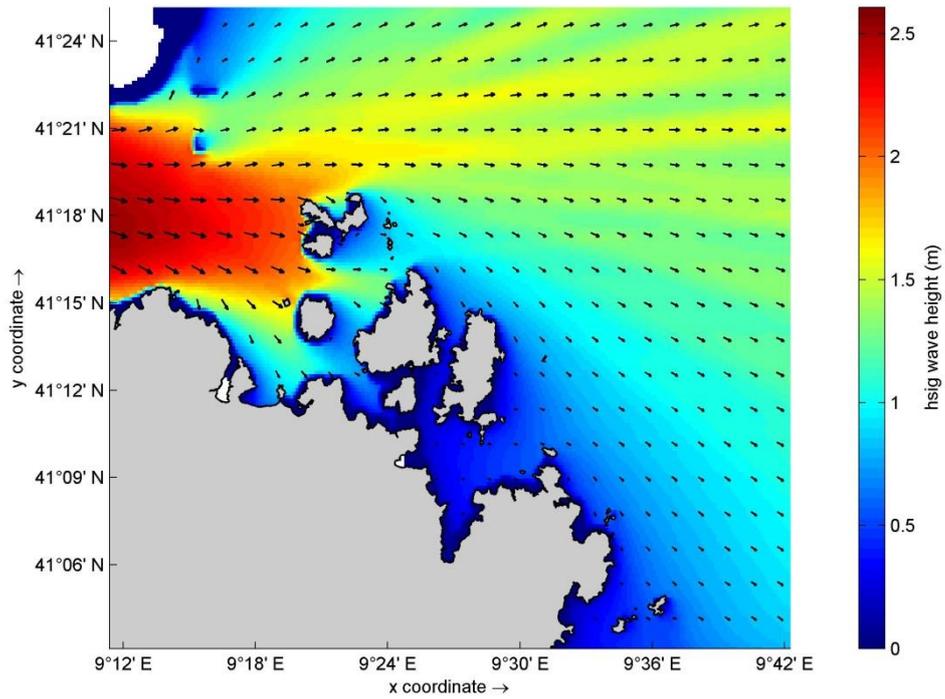


Figura 11 Campo d'onda del settore costiero dell'Arcipelago de La Maddalena risultante dalla terza simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s= 2.3\text{m}$; $T_p= 11.3\text{ s}$; $\text{Dir}=277^\circ\text{N}$

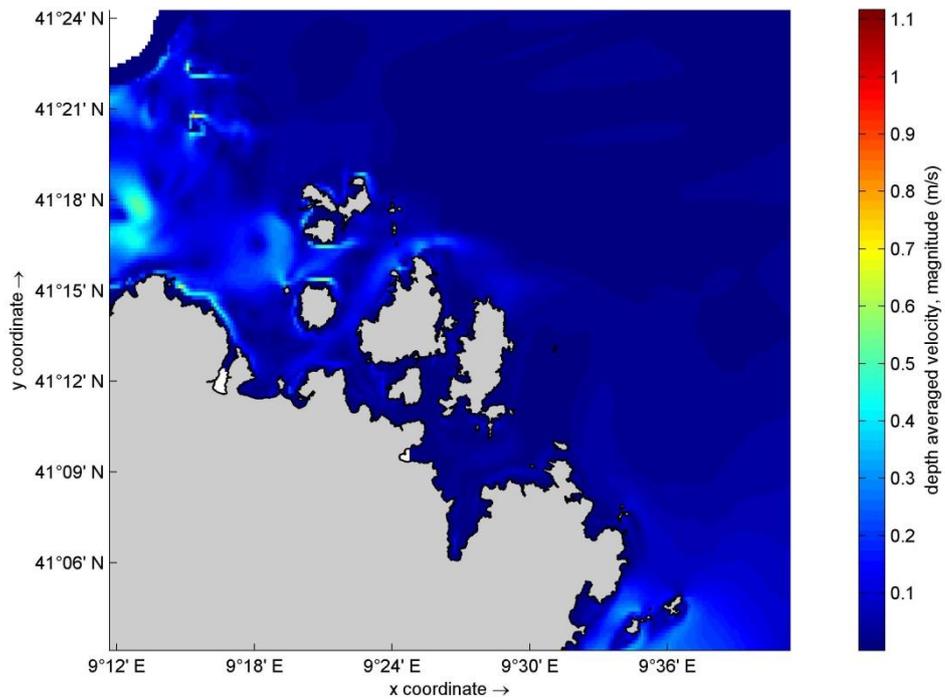


Figura 12 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la terza simulazione per l'arcipelago de La Maddalena: mareggiata media proveniente da W.

- Aree Marine Protette del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni -
SIMULAZIONE I – evento estremo media da NW-

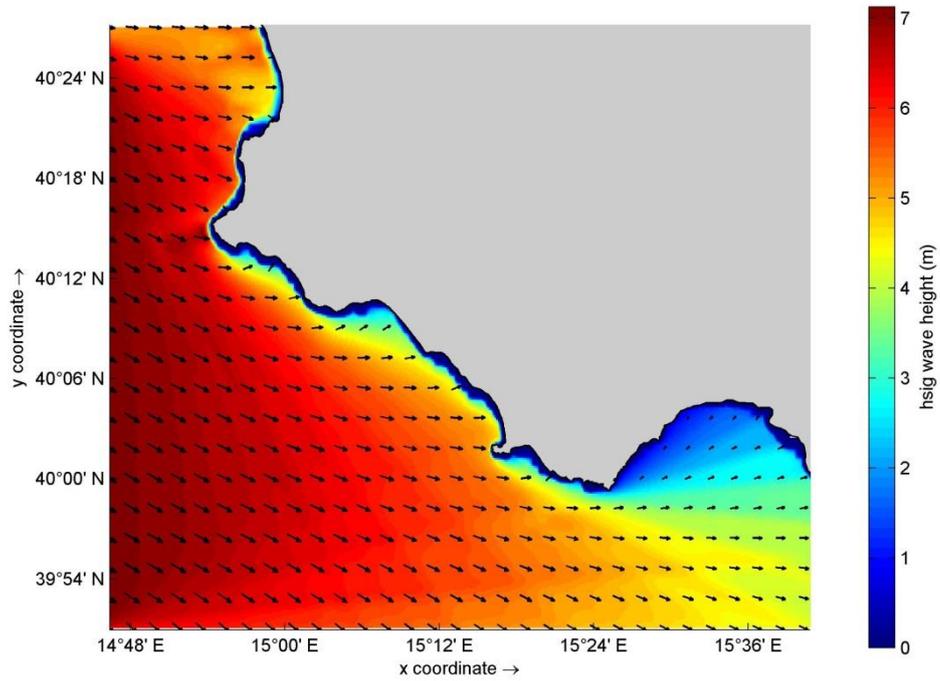


Figura 13 Campo d'onda del settore costiero del Cilento risultante dalla prima simulazione, con caratteristiche estreme di onda a largo pari a $H_s = 6.7\text{m}$; $T_p = 11\text{ s}$; $\text{Dir} = 290^\circ\text{N}$

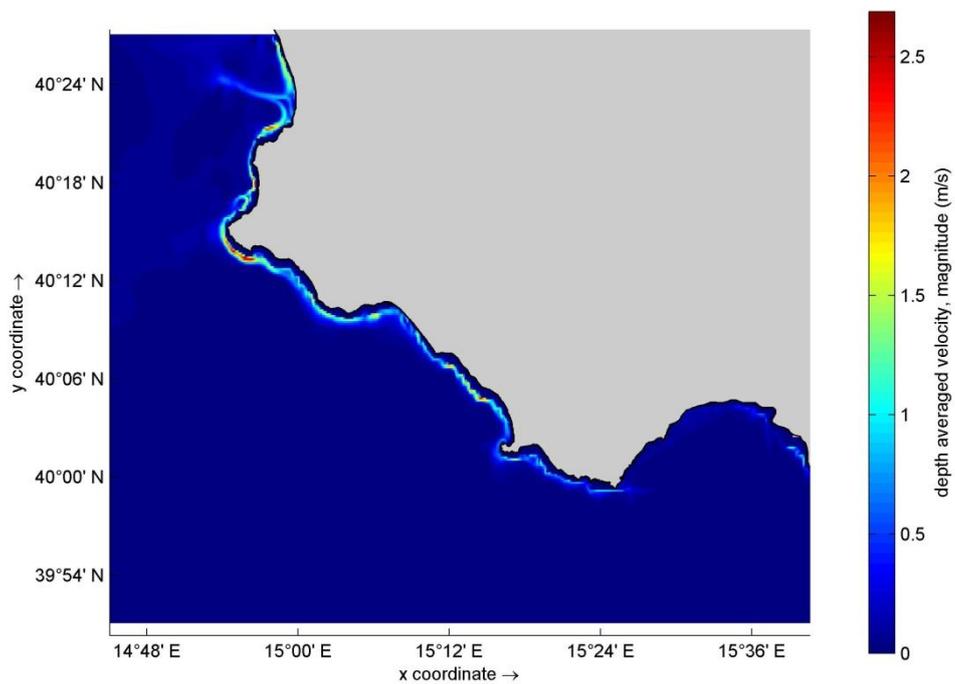


Figura 14 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la prima simulazione di onda estrema per il parco del Cilento.

- Aree Marine Protette del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni - SIMULAZIONE II – mareggiata media da NW-

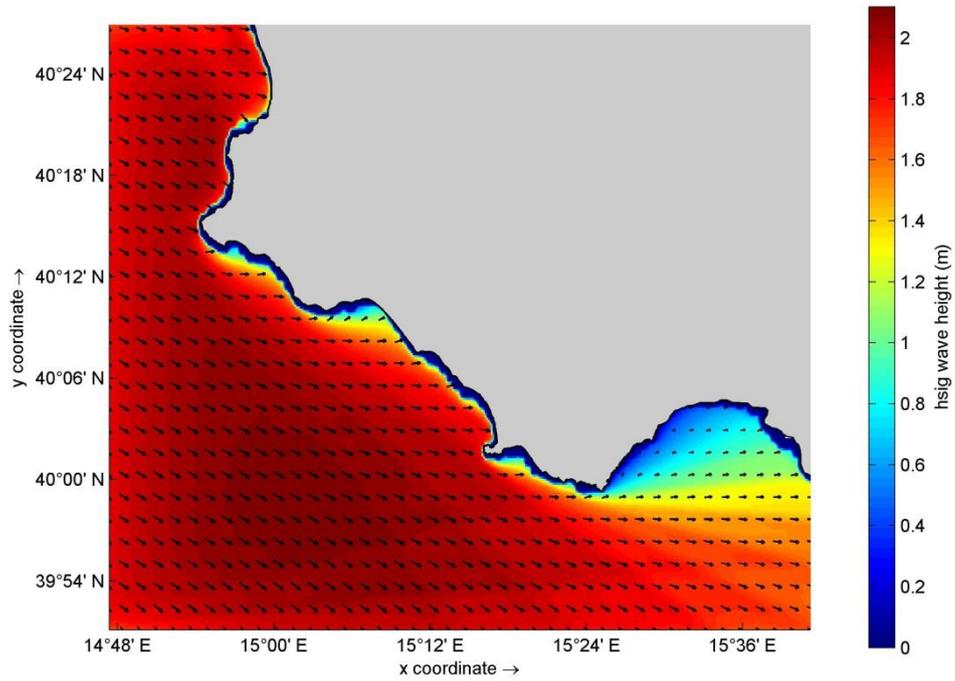


Figura 15 Campo d'onda del settore costiero del Cilento risultante dalla seconda simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s = 1.9\text{m}$; $T_p = 8.4\text{ s}$; $Dir = 295^\circ\text{N}$

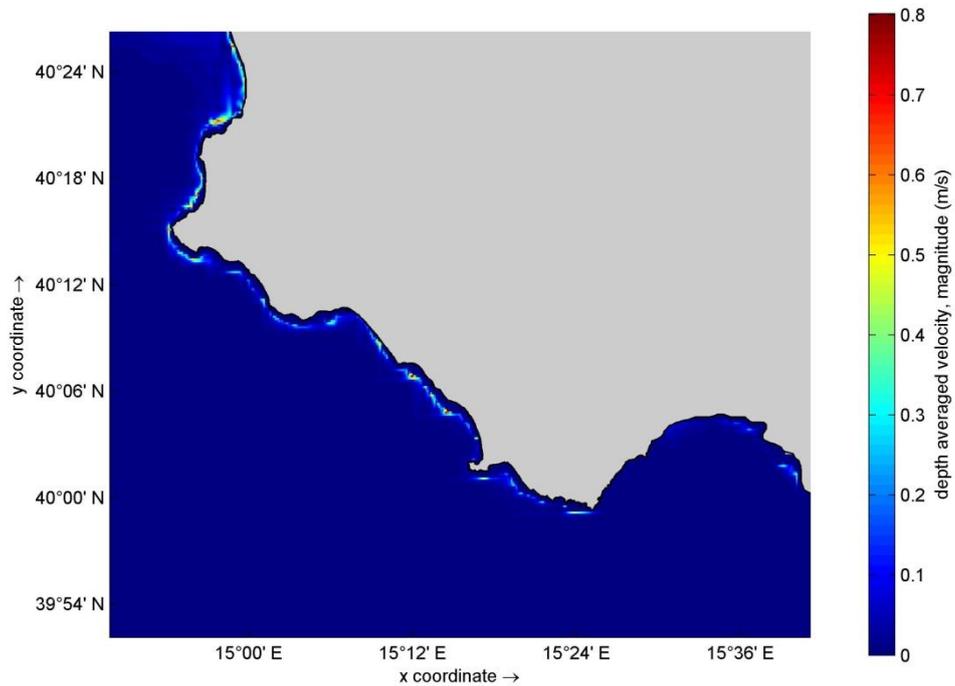


Figura 16 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la seconda simulazione per il parco del Cilento: mareggiata media proveniente da NW.

- Aree Marine Protette del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni - SIMULAZIONE III – mareggiata media da W-SW-

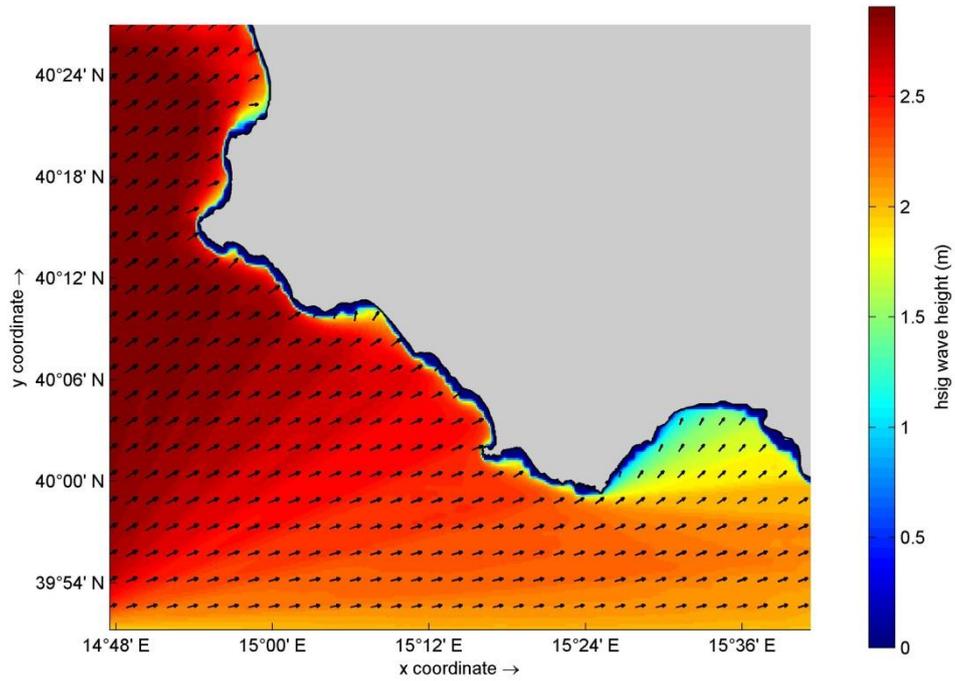


Figura 17 Campo d'onda del settore costiero del Cilento risultante dalla terza simulazione, con caratteristiche medie di onda a largo pari a $H_s = 2\text{m}$; $T_p = 8.2\text{ s}$; $Dir = 245^\circ N$

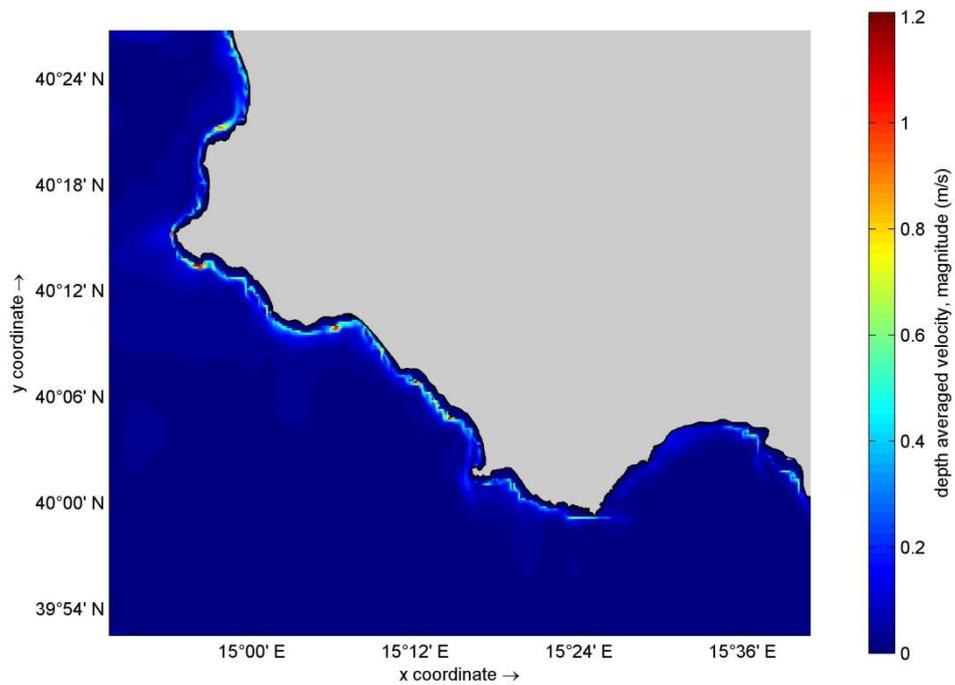


Figura 18 Risultante del modello idrodinamico FLOW per la terza simulazione per il parco del Cilento: mareggiata media proveniente da E-SE.

- Bibliografia

Booij, N., R. Ris and L. Holthuijsen, 1999. "A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation." *Journal of Geophysical Research* 104 (C4): 7649 – 7666.

Mendoza E.T. and Jimenez J.A., 2004. Factors controlling vulnerability to storm impacts along the Catalanian coast. *Proceedings International Conference of Coastal Engineering 2004, Lisbon*, pp. 3087-3099.

Ris, R., N. Booij and L. Holthuijsen, 1999. "A third-generation wave model for coastal regions, Part II: Verification." *Journal of Geophysical Research* 104 (C4): 7649–7666.